



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

# **ANÁLISIS DE ECONOMÍA CIRCULAR A RESIDUOS PLÁSTICOS.**

**Informe de Trabajo Profesional**

Que para obtener el título de

Ingeniero Químico

**Empresa**

anónima

**P R E S E N T A**

Eduardo de la Cruz Martínez

**Director del Trabajo**

Dr. Rodolfo Alberto Herrera Toledo

---

Ciudad de México

Febrero/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.

## Contenido

Glosario .....	2
Objetivo .....	3
Alcance .....	3
1. Justificación .....	4
2. Marco Teórico .....	9
2.1 Plásticos/polímeros .....	10
2.2 Economía Circular .....	13
2.3 Reciclado de plásticos .....	15
3. Perfil de estudios y mi práctica profesional .....	21
4. Experiencia profesional: Ingeniero de Producto y Procesos. ....	28
4.1. Proyecto .....	31
4.1.1 Planteamiento .....	32
4.1.2 Gestión de proyecto .....	34
4.1.2.1 Diagrama de flujo de procesos .....	38
4.1.2.2 Mapeo de desarrollo y diseño .....	39
4.2 Producción .....	40
4.2.1 Bases de diseño .....	40
4.2.2 Desarrollo de formulación de película y diseño de impresión .....	41
4.2.3 Desarrollo de película termo encogible .....	42
4.2.4 Extrusión de película termo encogible. ....	43
4.2.5 Impresión de diseño en película termo encogible. ....	44
4.3 Reporte de operación .....	45
4.3.1 Antecedente .....	46
4.3.2 Extrusión .....	46
4.3.3 Impresión .....	48
4.3.4 Formado .....	50
4.4 Resultados y conclusiones del proyecto .....	54
5. Análisis de la economía circular aplicada a residuos plásticos .....	56
6. Propuesta de mejora: Plan de estudios con base a la experiencia adquirida como IPP. ....	59
7. Referencias .....	65

## Glosario

**Proceso:** Conjunto de actividades enlazadas lógicamente y sistemáticamente entre sí que parten de una o más entradas para su transformación, generando salidas en forma de servicios o productos.

**Procedimiento:** Es un método compuesto por pasos claros y objetivos realizado bajo las mismas condiciones, comprendido por un inicio y un final para el cumplimiento de una actividad.

**Operador:** Persona con las habilidades necesarias para la realización de actividades relacionadas con maquinarias o tecnología que implican la repetición y destreza física.

**Insumo:** También conocido como materia prima, usado para la elaboración de un producto cuando este es sometido a transformaciones a través de un proceso.

**Película flexible/película plástica:** Nombre técnico designado al plástico de carácter flexible, usado para el empaquetado de detergentes, pastas, alimento para mascota o bolsas plásticas.

**Termo encogible:** Son películas plásticas transparentes, hechas con la combinación de varias resinas de polietileno de baja densidad, que se encogen al ser sometidas a una fuente de calor, por lo que reducen su tamaño, usadas para el embalaje de productos.

**Embalaje:** Término usado para el empaquetado de productos agrupados en unidades para su manipulación, transporte y almacenaje.

**Túnel de acogimiento:** Es un equipo industrial conformado por un túnel de calefacción (resistencia eléctrica) montado sobre o alrededor de un sistema de transporte. Usado como técnica de embalaje al aplicar un termo encogible alrededor del producto a empaquetar, someterlo a calor en el túnel y lograr el encogimiento de la película.

**Dummies:** Nombre técnico asignado al empaquetado de productos cuya formación radica en filas y columnas envueltos por un material para embalaje.

## Objetivo

Mostrar al lector de esta tesina acerca del desarrollo de un nuevo producto del sector plástico usado para el empaquetado de bebidas embotelladas a través de la gestión de proyectos a nivel industrial y lograr la aprobación del cliente con la entrega del producto solicitado cumpliendo las especificaciones solicitadas en tiempo y forma con el apoyo de las áreas operativas involucradas, equipos industriales para la transformación y materia prima, en un plazo de 5 meses.

## Alcance

Las actividades de la gestión redactada inician con la minuta levantada en la sesión efectuada para la definición de las condiciones contractuales acordadas con el cliente y terminará con el reporte de especificaciones y las conclusiones del producto entregado los cuales se describen en los apartados 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

Por fines legales y haciendo cumplir el contrato de confidencialidad firmado por el redactor de esta tesina el contenido, redacción y datos presentados no violan de forma alguna el contrato efectuado con la empresa donde desarrollé el proyecto; evitando el uso de formatos corporativos, colocando condiciones operativas de bases literarias y reportes de investigación, evitando el uso de resultados para cálculos en condiciones de operación y presentando resultados directamente de reportes de carácter propio y sin fines de lucro.

## 1. Justificación

Actualmente los plásticos representan una parte de nuestro consumo diario, ya sea en productos del hogar, alimentos, electrodomésticos, piezas mecánicas, entre otros. Sin embargo, son estas mismas necesidades las que provocan un impacto al medio ambiente siendo como principal razón, la falta de conciencia y la poca educación sobre el reciclado.

Un estudio, publicado en PLOS ONE, informa sobre la producción universal de gases de efecto invernadero (metano y etileno) es generado por plásticos expuestos a la luz solar. Entre los plásticos evaluados se encuentra el polietileno de baja densidad (LDPE) siendo este el polímero sintético más producido y desechado a nivel mundial y emisor más prolífico de ambos gases. Además, se descubrió que la tasa de emisión de los gases de los gránulos vírgenes de LDPE son mayores a las de gránulos reciclados o recuperados. Los restos de LDPE que se encuentran en el océano también emiten gases de efecto invernadero cuando se exponen a la luz solar. Este estudio sustenta los efectos que el plástico tiene sobre el calentamiento global aunado a esto, un informe elaborado por el Banco Mundial e investigadores de las universidades de Columbia y de la ciudad de Nueva York (CUNY) y el Instituto Potsdam para la Investigación del impacto Climático, destaca que algunos de los países más afectados serán Bangladesh, Etiopía y México siendo obligadas a 143 millones de personas a emigrar dentro de sus países de aquí a 2050 provocado por la escasez de agua, las malas cosechas o el aumento del nivel del mar. Sin embargo, sí se pueden plantear acciones para evitar o reducir el impacto. Las investigaciones sugieren que mediante una acción que incluya iniciativas para

reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y una sólida planificación del desarrollo a nivel de los países se podrá evitar según el Banco Mundial, el flujo migratorio del 80% de los 143 millones.

*“Rigaud, Kanta Kumari; de Sherbinin, Alex; Jones, Bryan; Bergmann, Jonas; Clement, Viviane; Ober, Kayly; Schewe, Jacob; Adamo, Susana; McCusker, Brent; Heuser, Silke; Midgley, Amelia. 2018. Groundswell : Preparing for Internal Climate Migration. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29461>.”*

El plástico no solo afecta de manera indirecta la calidad de vida de las personas, sino que su perjuicio también es de forma directa, un estudio científico de Corea del Sur y Greenpeace East Asia alerta de una situación mucho más grave de lo previsto: el 90% de la sal de mesa esté llena de micro plásticos que ingerimos al sazonar nuestra comida.

Este estudio publicado en la revista Environmental Science & Technology se basa en la hipótesis de que las sales marinas de las grandes marcas pueden ser el mejor indicador para hallar micro pasticos en el medio ambiente. Se investigaron 39 marcas de sal diferentes producidas en lugares diferentes del mundo los resultados asumían que en promedio de 18 de 21 muestras de sal marina analizadas contenían restos plásticos. Solo tres marcas estaban limpias: Una procedente de Taiwán (sal marina refinada), otra de China (sal de roca refinada) y una de Francia (sal marina no refinada), siendo Asia el punto de contaminación de plásticos a nivel mundial.

*Ji-Su Kim Ji-Su Kim Department of Marine Science, College of Natural Sciences, Incheon National University, Academy-ro 119, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Republic of Korea More by Ji-Su Kim , Hee-Jee Lee, Seung-Kyu Kim\*, and Hyun-Jung Kim. (2018). Global Pattern of Microplastics (MPs) in Commercial Food-Grade Salts: Sea Salt as an Indicator of Seawater MP Pollution. Sep 2020, de American Chemical Society Sitio web: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b04180>*

Frente a esta situación y los antecedentes que dieron lugar a la emergencia climática y ambiental declarada el 28 de noviembre de 2019 las grandes empresas

buscan nuevas alternativas de crecimiento con la necesidad de reducción de residuos, expansión de mercado con campañas ambientales, adición de mezclas de material reciclado/recuperado en nuevas formulaciones usados en la industria plástica, proyectos basados en materiales reciclados que generen valor agregado a la compañía y sobre todo ganancias materializadas en ahorros y reducción de costos.

Es en este periodo de necesidad donde nace el término de economía circular, en voz de Manfred Hackl, CEO de Erema GmbH *“Es posible que todas las partes implicadas en Europa, la industria, los fabricantes de maquinaria, las empresas que gestionan residuos, muestren como establecer sistemas de recogida, como implementar los pasos individuales y como todas las partes pueden trabajar juntas. Entonces podría crearse un modelo de negocios adecuado para vender esta tecnología a modo de servicio”*.

Hackl M. (12/08/2019).

*La economía circular como una oportunidad de exportación.*

*Plastics Technology MÉXICO.*

Recuperado de <https://www.pt-mexico.com/art%3%adculos/la-economia-circular-como-una-oportunidad-de-exportacion>

Frente al enfoque de una economía circular, nace la opción de plantear una alternativa para procesar materiales de base plástica que pueden considerarse como desecho y reincorporarlo en un nuevo proceso o bien, al mismo. Ocasionando que el valor de los productos y componentes se mantengan el mayor tiempo posible dentro de la economía, creando valor. El modelo también supone la creación de empleos, promover la innovación proporcionando ventajas competitivas y aportando



protección a las personas y al medio ambiente, aunado a esto, la economía circular promueve la;

- **Mejora en la seguridad de suministros** de materias primas reduciendo la dependencia de las importaciones. El mantenimiento del valor de los productos a lo largo del tiempo o la vuelta de los residuos a la economía como materiales secundarios de alta calidad, reducirá la demanda de materias vírgenes y, como consecuencia, la dependencia de las importaciones.
- **Mejora del impacto ambiental.** Disminuir la extracción de materias primas, reducir el consumo de combustible fósiles, alargar la vida de los productos, recuperar y reciclar materiales, etc., harán que los impactos ambientales que se producen en todas las etapas de la vida de un producto disminuyan.
- **Innovación y crecimiento económico.** Los nuevos modelos de negocio y las nuevas tecnologías favorecen la innovación y crearán más valor económico de los recursos naturales.

Un producto reciclado y/o recuperado no conservara intactas cada una de sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, por otra parte, hay ciertas limitantes que determinan la cantidad en porcentaje de producto de desecho a utilizar en un nuevo producto y metodologías que cuantifican las propiedades del material posterior a su procesamiento.

Para obtener un producto útil para el uso humano a partir de material de desecho, es necesario desarrollar una fórmula plástica adecuada que incluya en un cierto

porcentaje; resina reciclada o recuperada, resina virgen y aditivos con el objetivo de igualar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de un producto elaborado con una formulación de resina 100% virgen. La clave de una formulación eficiente es el equilibrio de resina reciclada o recuperada y resina virgen, así como la cantidad estequiométricamente indicada de aditivos que ayuden a lograr el rendimiento esperado.

La metodología para este caso será el hipotético-deductivo derivado de la posibilidad de sustitución de un producto con material con base 100% virgen por una mezcla de resinas poliméricas y algún otro compuesto evaluando el comportamiento final y el impacto generado en términos económicos. Este método consiste en la recopilación de información bibliográfica, recolección de muestras y su caracterización (La evaluación de sus propiedades), generación de rutas de procesamiento del material de acuerdo con el tipo de polímero a procesar, clasificación de compatibilidad con respecto a la estructura del polímero y finalizando con la generación de pellets para su uso en extrusión.

## 2. Marco Teórico

Hace unos 70 años, el plástico se convirtió en un producto de masas. Según cálculos de la universidad de California, se han producido 8,300 millones de toneladas desde entonces. Y de acuerdo con un estudio, en 1950 sólo se producían 2 millones de toneladas de plástico, pero en 2017 esta cifra había alcanzado los 348 millones de toneladas. La cantidad de residuos plásticos está aumentando y la cuestión de cómo gestionarlos con responsabilidad es cada vez más urgente, citando un párrafo del artículo lanzado el 15 de marzo de 2019 “**Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso**” por la Organización Nacional de las Naciones Unidas en su portal <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961> “Cada minuto se compran un millón de botellas de plástico y, al año, se usan 500,000 millones de bolsas. Ocho millones de toneladas acaban en los océanos cada año, amenazando la vida marina. La asamblea medioambiental de la ONU ha terminado con una declaración en la que más de 200 países se comprometen a reducir el uso de plásticos de aquí a 2030” en el mismo artículo menciona que; “El sexto informe Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, la evaluación más exhaustiva y rigurosa sobre el estado del planeta, advierte de que millones de personas podrían morir prematuramente a causa de la contaminación del agua y del aire para 2050 a menos que se tomen medidas urgentes”, La basura y el uso ilimitado de los recursos no solo perjudican el medio ambiente, sino que además frenan el crecimiento económico.

## 2.1 Plásticos/polímeros

De acuerdo con la definición, un polímero es un material formado por muchas unidades denominadas monómeros unidas en forma estructural en largas cadenas macromoleculares formadas esencialmente de Carbono e Hidrógeno, aunque pueden llegar a incluir otro elemento. Tomando como base esta definición, se denomina plástico a aquel material que sintetizado artificialmente son utilizados para la fabricación de productos de uso cotidiano por su capacidad para ser moldeados.

Existen dos grandes clasificaciones de los polímeros, para nuestro estudio se analizará solo una rama, los polímeros de origen sintético en específico el polietileno de baja densidad el cual es producido a partir de un monómero de gas natural al que denominaremos, monómero de partida el cual se une a través de reacciones de polimerización que pueden ser: Por adición o por condensación.

De acuerdo con lo anterior, en la figura 2.1 se presenta el esquema de un monómero de etileno el cual funge como el monómero de partida. Si este monómero es sometido a procesos de polimerización la cadena de cada uno de sus extremos aumentaría por la integración de más cadenas monoméricas derivando en un polímero de polietileno como se muestra en la figura 2.2. La complejidad de un polietileno va más allá de la polimerización, dependiendo del tipo de aplicación que se requiera será el tipo de polietileno que se requerirá en esta

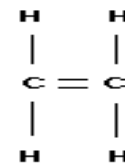


Figura 2.1: Estructura química de un etileno

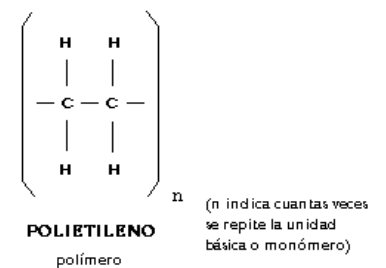


Figura 2.2: Estructura química de un polietileno

situación se manejan dos tipos de polietileno en dependencia de su densidad; Polietileno de Alta densidad (PEAD) y polietileno de baja densidad (PEBD) la diferencia radica en el tipo de ramificación que se tenga producto de la polimerización, como se observa en la figura 2.3 el polipropileno de baja densidad es un tipo de polímero ramificado que se caracterizará por ser un sólido flexible, poco cristalino y de bajo peso molecular contando con las siguientes propiedades:

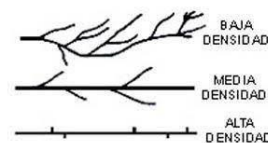


Figura 2.3: Ramificación de polipropileno

Datos extraídos de Ficha Técnica XXX-XX DOW Chemical				
Sigla	Densidad	Temperatura de fusión	Grado de cristalinidad	Reacción de polimerización
PEBD	0.915 – 0.930	98 - 115	42 - 62	Radical libre

Mecanismo de reacción con catalizador Ziegler-Natta (Radical libre), este tipo de catalizador se caracteriza por su uso en olefinas (hidrocarburos de doble enlace Carbono-Carbono) bajo métodos de baja presión (debajo de 35 kgf/cm<sup>2</sup>) y que cumplen con las siguientes características:

- a) Reducen los átomos del metal de transición a una forma activa.
- b) Inician a cabo la transferencia de cadena
- c) Activan y estabilizan los enlaces formados
- d) Protegen al catalizador de las impurezas

A continuación, se describe el mecanismo de reacción en las figuras 2.4 y 2.5 respectivamente a partir del catalizador:  $\text{TiCl}_4$  reducido con  $\text{EtMgI}$  y Tolueno +  $\text{Bu}_2\text{N}_2\text{O}$  a  $-30^\circ\text{C}$ , luego se trata con calor y se usa con  $\text{Et}_3\text{Al}$  + ansiato de etilo.

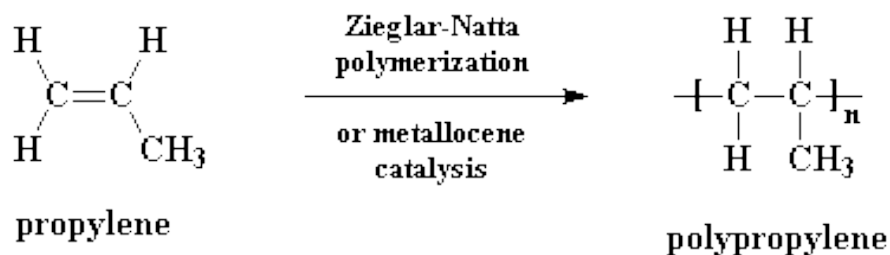


Figura 2.4: Fase inicial de reacción

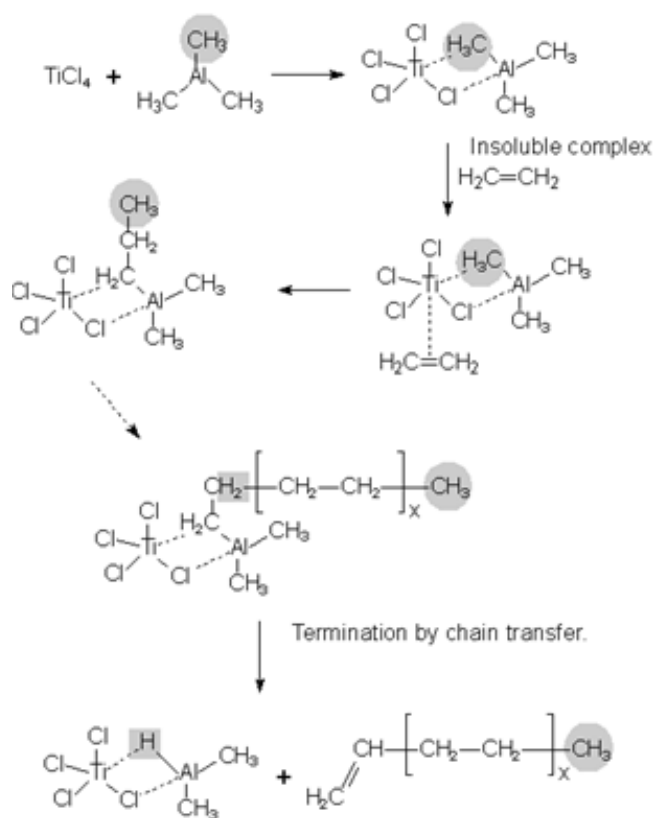


Figura 2.5: Fase intermedia y final de reacción

El polietileno de baja densidad es procesado de diferentes formas: Inyección, Soplado Extrusión y Rotomoldeo. Su transparencia, flexibilidad, tenacidad y economía hace que esté presente en una diversidad de envases, solo o en conjunto

con otros materiales y en varias aplicaciones tales como: Bolsas de supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. películas para: Agro, envasado automático de alimentos y productos industriales, Streech film, base para pañales desechables, bolsa para sueros, tubos y pomos, entre otros.

## 2.2 Economía Circular

En estos últimos años del siglo XXI se ha hablado del gran impacto que han tenido los plásticos para el desarrollo humano desde la elaboración de productos de un solo uso para empaquetado de alimentos y envasado de bebidas hasta su uso en aparatos ortopédicos y tejido sintético, una infinidad de productos derivados de plásticos se han procesado y con ello un nuevo problema surge y condena al medio ambiente al declive y extinción. Los plásticos son un material de carácter especial debido a su composición, no solo son materiales desechables, de un solo uso sino que pueden ser procesados y reincorporarse en un nuevo producto. Por muchos años dominó un modelo económico enfocado a la extracción, producción y desperdicio sin embargo este modelo está llegando al límite de su capacidad física y con ello nace una nueva alternativa; “Economía circular”, cuyo principal objetivo es la redefinición del crecimiento e impactando positivamente los beneficios para la sociedad lo cual implica la disociación de actividades económicas que involucren el consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño respaldada por la transacción a fuentes renovables de energía y creando un capital económico, natural y social a partir de tres principios: Eliminar residuos y contaminación desde el diseño, mantener productos y material en uso, regenerar sistemas naturales.

El fundamento de la economía circular deriva de la siguiente concepción: *“El valioso material básico utilizado para un producto se procesa al final de su vida útil para que pueda ser reutilizado”*, a partir de esto podemos decir que, los ciclos técnicos recuperan y restauran productos, componentes y materiales mediante estrategias de reutilización, reparación, remanufacturado o reciclaje.

Basándonos en este modelo económico es como nace el proyecto expuesto en este informe de trabajo profesional, cuyo objetivo basado en la economía circular es integrar una parte proporcional del material recuperado producto de mermas generadas en procesos de extrusión de resina de polietileno de baja densidad en las líneas de producción de la empresa y el diseño de una formulación que combine la resina recuperada con resina virgen y obtener un producto que cumpla con las características solicitadas por el cliente, con esto aseguramos que lo que se pudo haber considerado como desecho industrial tenga un nuevo uso minimizando con ello impactos económicos, operativos y ambientales materializados en:

1. Aumento de costos de producción por el uso de nueva resina en el producto
2. Disminución de emisiones de gases de efecto
3. Disminución de gastos excedentes por desperdicios de materia prima
4. Disminución de gastos en el tratamiento de desecho
5. Mejora en la eficiencia operativa por el uso racional de materia prima

Así como la obtención de resultados inmediatos como; la adaptación de la línea de producción enfocada a un nuevo producto con el modelo de economía circular y la satisfacción del cliente al cubrir una de las necesidades solicitadas que es el uso de material posconsumo para la elaboración de su producto.



### 2.3 Reciclado de plásticos

En la actualidad existen más de 200 acrónimos que designan algún tipo de plástico y más de 70 que distinguen mezclas o aleaciones, mucho del nombre de los plásticos están normalizados, sin embargo, el nombre de algunos plásticos, así como sus modificaciones, se asigna en muchas ocasiones por los fabricantes o surgen durante su procesamiento, la clasificación de los polímeros ayuda a delimitar las condiciones de proceso y la aplicación final que tendrá de acuerdo con las propiedades del material a usar.

El uso de polímeros para la producción de productos plásticos es muy común en cada uno de los países del mundo por lo que la norma oficial mexicana PROY-NMX-E-057-SCFI-2003 declara: *Este Proyecto de Norma Mexicana establece y provee una forma práctica y útil de abreviar los nombres técnicos de compuestos plásticos. Incluye sólo aquellas abreviaturas establecidas por el uso, y su propósito es evitar el empleo de más de una abreviatura para un solo término de un plástico, con lo cual se pretende que no haya confusión al hacer referencia a determinada abreviatura de un plástico o algún término relacionado. Y es empleada para abreviaturas de términos relacionados con el plástico, con base en las normas: ASTM D 1600-99 (Standard Terminology for Abbreviated Terms Relating's to Plastics), ISO 1043-1:2011 (Plastics – Symbols, and abbreviated terms – Part 1: Basic Polymers, and their special characteristics), ISO 1043-2:2000 (Plastics-Symbols, and abbreviated terms – Part 2: Fillers, and reinforcing materials), ISO 1043-3:2015 (Plastics-Symbols, and abbreviated terms – Part 3: Plasticizers) y*

*Citando: La SPI (Sociedad de la Industria del Plástico) designó un triángulo formado por tres flechas como el código de clasificación para materiales reciclables.*

Estas cláusulas normativas establecen la clasificación e identificación de los diferentes plásticos que circulan en México y facilitar el reciclamiento designando un número acorde al volumen de material donde el 1 lo ocupaba el material con mayor volumen y flechas que simbolizan que el material puede ser reciclado, de esta forma los materiales se identifican de la siguiente manera:

1. Polietileno Tereftalato (PET)
2. Polietileno de Alta Densidad (HDPE)
3. Policloruro de Vinilo (PVC)
4. Polietileno de Baja Densidad (LDPE)
5. Polipropileno (PP)
6. Poliestireno (PS)
7. Otros

Para la identificación se coloca el acrónimo del plástico junto con un número dentro de un triángulo estructurado por tres flechas indicando su facilidad de reciclado.

El polímero usado en el proyecto es el polietileno de baja densidad cuyas siglas son LDPE (por sus siglas en inglés, **Low Density Polyethylene**) con clasificación 4.



Otra de las especificaciones que definen la eficacia del proceso de reciclado y tratamiento de desechos es su **comportamiento térmico** que ayudará a establecer la ruta de procesamiento del plástico para su transformación. El concepto principal de esta propiedad es la temperatura

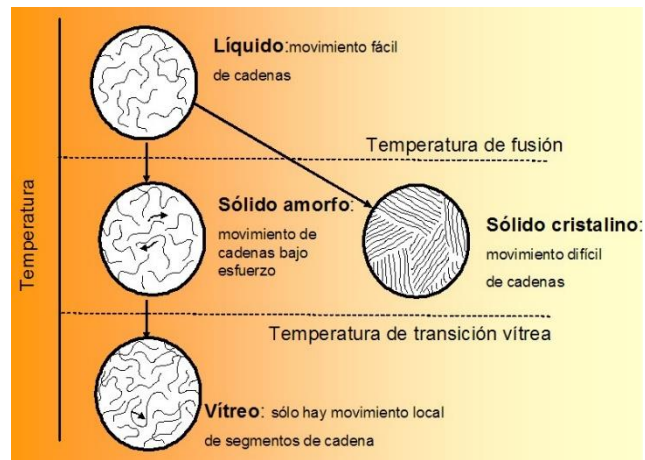


Figura 2.6: Esquema de temperaturas y comportamiento del plástico

porque influye en el comportamiento viscoelástico en el aspecto de influir en los enlaces que conforman la estructura sólida del polímero. Cuando la temperatura

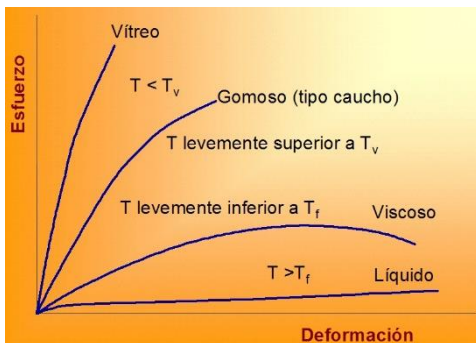


Figura 2.7: Rangos de temperatura

aumenta los enlaces se desenrollan teniendo lugar un flujo con menos resistencia a la tensión, es decir, el polímero adquiere un estado más moldeable. En la figura 2.6 observaremos el comportamiento del polímero en dependencia de la temperatura y de la

estructura, grupo funcional y de la cadena del polímero. Sin embargo, al observar la figura 2.7 encontramos que, a muy altas temperaturas, los enlaces de la cadena principal pueden destruirse, el polímero se quema o carboniza denominada como la temperatura de degradación, limitando la utilidad del polímero y representa la temperatura superior en el que el polímero puede ser usado de forma eficiente.

Cuando la temperatura lineal es alta la viscosidad es baja, por lo que las cadenas pueden moverse con facilidad incluso sin fuerzas externas, y si se aplica una tensión, el polímero fluye prácticamente sin que exista deformación elástica, al descender la temperatura podemos llegar a la temperatura de fusión en el que el polímero se vuelve rígido.

Caso contrario, al disminuir la temperatura la deformación elástica crece y disminuye la viscosidad, el polímero se va rigidizando, proporcionando mayor valor de resistencia y de módulo de elasticidad con menor alargamiento. Conforme disminuye la temperatura del polímero en estado rígido o vítreo, la viscosidad es tan baja que solo se permite movimiento muy localizado de pequeños grupos de la cadena, no se produce deslizamiento. Por debajo de la temperatura vítrea el polímero se vuelve frágil y duro, comportándose de manera parecida al vidrio cerámico. El grado de cristalinidad es un parámetro importante en la deformación de polímeros. Algunos polímeros se cristalizan cuando se enfrían a temperaturas inferiores a la de fusión. En la cristalización influyen varios factores: tipo de monómero, resultando más difícil a medida que se complica la estructura monomérica, el enfriamiento rápido evita la cristalización y facilita la estructura vítrea, y el grado de deformación del polímero que tiene lugar entre la temperatura de fusión y la vítrea propicia la cristalización enderezando las cadenas y conduciéndolas a una estructura paralela.

A partir de estos criterios definidos, el polímero a usar en el proyecto deberá considerar la tabla 2.1:

<b>Polímero</b>	<b>TF(°C)</b>	<b>Tv(°C)</b>
Polietileno de baja densidad	115	-120

Tabla 2.1: Puntos críticos de temperatura

En un caso práctico realizado por un grupo de investigadores del departamento de ingeniería química de la universidad nacional de Colombia en coordinación por Tim Osswald (Professor Polymer Engineering Center Mechanical Engineering University of Wisconsin-Madison, Madison, USA) se estudió el comportamiento y desarrollo de materiales poliméricos que permitan su reutilización y reciclaje, volviendo a ser parte del ciclo económico. Considerando aspectos importantes como el proceso de degradación que sufren estos materiales durante su síntesis, procesamiento, uso y reprocesamiento, de estos procedimientos, el reprocesamiento es el de mayor cuidado, dado que puede dar lugar a la degradación térmica, degradación termo-oxidativa o degradación mecánica, que afecta la estructura de los polímeros y las propiedades de los materiales con los que se mezclan, dando como consecuencia una reducción en la vida útil del producto terminado. El objetivo de su estudio es *validar el análisis de cambio de color, como una herramienta confiable y rápida, para establecer cuantitativamente la degradación térmica de polímeros. Para ello se determina la degradación térmica de siete polímeros reprocesados cinco veces en extrusión, inyección y extrusión/inyección, y se evalúa el efecto del número de reprocesamientos (o ciclos de procesamiento).*

Las siguientes tablas 2.2 y 2.3 describen el comportamiento de los polímeros al ser sometidos a procesos de extrusión e inyección:

Parámetro	HDPE-IG	HDPE-EG	LDPE	PLA	PS	PMMA	PP
T. cilindro 1, °C	180	180	180	180	180	180	200
T. cilindro 2, °C	190	190	190	190	190	190	205
T. cilindro 3, °C	200	200	200	200	200	200	210
T. cilindro 4, °C	210	210	210	205	210	210	215
T. brida, °C	220	220	220	210	220	220	220
T. homogenización 1, °C	220	220	220	210	220	210	220
T. homogenización 2, °C	220	220	210	210	210	210	220
T. homogenización 3, °C	220	220	210	210	210	210	220
T. alimentación, °C	28	28	29	29	27	28	27
Vel. del tornillo, rpm	20	20 y 80	30	30	30	30	30
Restricción	10	10	10	10	10	10	10

Tabla 2.2: Condiciones de operación en el proceso de extrusión para cada polímero

En la siguiente tabla se observa que el PC, PS y PMMA son polímeros amorfos (A), por lo tanto, no reportan la temperatura de cristalización, mientras que los otros materiales son semicristalinos (SC). Además, los polímeros HDPE, PC, PS y PP, son grado inyección (GI), el HDPE y PLA son grado extrusión (GE), mientras que el LDPE y el PMMA son grado extrusión/inyección (EI).

Parámetro	HDPE	HDPE	LDPE	PLA	PS	PMMA	PP
Temp. de transición vítrea, °C	-113	-111	-105	63	98	100	-25
Temp. de ablandamiento, °C	129	131	112	210	—	102	172
Temp. de cristalización, °C	113	118	98.3	—	—	—	118
Grado del polímero	GI	GE	IE	GE	GI	EI	GI
Grado de Cristalinidad	SC	SC	SC	SC	A	A	SC
Índice de Fluidéz, g/10 min	37	0.38	2	6	6	16	2.5

Tabla 2.3: Caracterización general de los polímeros

A partir de lo anterior podemos establecer que el polietileno de baja densidad usado en el proyecto cumple con lo necesario para ser usado y procesado para la elaboración del producto solicitado por el cliente.

### **3. Perfil de estudios y mi práctica profesional**

Como Ingeniero Químico que ingresa al campo laboral en la industria plástica es de suma importancia tener bases firmes en materias como termodinámica, transferencia de calor e ingeniería de reactores para comprender la complejidad que implica el procesamiento de resinas poliméricas y su uso en la manufactura de productos plásticos, dentro de la industria plástica. El puesto desempeñado en la organización para la que presto mis servicios es la de Ingeniero de producto y proceso cuya principal descripción establece la elaboración de nuevos productos y la gestión de rutas de proceso para su producción una vez que han sido aprobados. Uno de mis objetivos es garantizar productos extruidos que cumplan con las especificaciones del Sistema de Gestión de Calidad de la empresa para la que presto labores con el apego a la norma internacional ISO 9001:2015 y su enfoque en procesos cumpliendo con la cláusula 8.3 Diseño y desarrollo de los productos y servicios donde mi deber como ingeniero de producto y procesos es asegurar que un nuevo producto quede establecido, implementado y mantenga un proceso adecuado para asegurar la posterior provisión de productos solicitados con el cliente. Como Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza mi formación académica fue completa y amplia brindándome herramientas necesarias para mi ingreso a la industria como es la gestión de proyectos sustentados en la materia de LTP de 4to a 9no semestre, Ingeniería Económica para la elaboración de propuesta de costo beneficio, Dinámica y Control de Procesos e Ingeniería de Procesos que me sirvieron como base para la elaboración de rutas de producción y control para un nuevo producto e Ingeniería

Industrial para cumplir con los requerimientos legales y reglamentarios para la liberación de un nuevo producto.

En resumidas cuentas, el mapa curricular sustentó mis inicios en la industria haciendo que mi desempeño en el campo laboral comenzara bien.

Uno de los proyectos que se me presentan y por lo que nace esta tesina es la elaboración de un termo encogible con impresión flexográfica para el empaquetado de jugos requerido por una organización sumamente reconocida en el país cuya producción requiere un volumen mensual de 87 toneladas mensuales, una de las necesidades del proyecto es que el cliente requiere un termo encogible con un porcentaje de material reciclado para incluir en el mercado una línea ecológica. Este proyecto se me es asignado teniendo como tiempo de respuesta 5 meses para la propuesta, pruebas industriales y licitación.

Los dos principales retos a los que me enfrente fueron dos: La etapa de formulación y extrusión.

En la formulación de una mezcla que incluyera las porciones de resina recuperada y resina virgen que igualara a las propiedades de un termo encogible con resina 100% virgen consideré un factor crítico, el contenido de estabilizador en la fórmula: los estabilizadores son productos químicos añadidos a formulaciones plásticas con el objetivo de inhibir o retardar la degradación del material con esto se busca cumplir las expectativas del uso final. En el caso del termo encogible compuesto por polietileno de baja densidad debo asegurar que el producto se mantenga íntegro en la etapa de semiterminado para su uso en impresión para asegurar el cumplimiento de las características adecuadas para su funcionalidad. Para ello consideré que



todos los polímeros comerciales contienen un paquete de aditivos que constan de una combinación de compuestos diseñados para proporcionar la estabilidad necesaria que asegura la fusión del polímero sin degradarlo. Las resinas contienen aditivos que mejoran el rendimiento final, debido a que los compuestos varían, algunos llegan a contener estabilizadores UV, agentes de nucleación, agentes antiestáticos, agentes antimicrobianos, colorantes y retardantes a la llama con la inclusión de cierto nivel de lubricación y cierto grado de estabilizador contra la degradación térmica.

También consideré que una vez que comienza la termo oxidación, se produce una reacción en cadena que acelera la degradación. La exposición a luz solar, rayos UV y luces artificiales puede traer consigo efectos adversos en la vida útil de los productos plásticos (**Foto degradación:** *Ocurre cuando la radiación UV descompone los enlaces químicos en un polímero, causando finalmente grietas, marcas, cambios de color y la pérdida de propiedades físicas. Se crean moléculas de radicales ( $R^*$ ) que son altamente reactivas, y crearán un radical carboxilo ( $ROO^*$ ). Este radical reaccionará con otra cadena polimérica virgen para crear un ácido carboxílico y un nuevo radical polimérico. Este ciclo se repite una y otra vez y forma el primer ciclo de oxidación).*

Estas consideraciones son de vital importancia, de no haber considerado estas especificaciones en la etapa de formulación, el producto que elabore no serviría por las siguientes razones:

- El producto presentaría degradación visualizada en el cambio de coloración del termo encogible

- Fracturas en la película plástica por lo que la tinta de impresión no se fijaría correctamente sobre el sustrato
- Olores desagradables producto de la degradación
- Transmisión de grasas lo que contaminaría el producto a empaquetar
- Rendimiento pobre del termo encogible para su uso en empaquetado
- Capacidad de sellado deficiente

Estas principales razones harían que el cliente declinara en la licitación perdiendo con ello ventas, dinero y prestigio.

La otra etapa inicial que consideré es la extrusión para ello analicé el tipo de material a procesar siendo el más adecuado el Polietileno de baja densidad y la selección de antioxidantes los cuales se incorporan al material con dos propósitos: Permiten al material sobrevivir a las altas temperaturas y esfuerzos de cizalla del proceso; además para proporcionar la estabilidad necesaria para que la pieza cumpla con los requisitos de aplicación.

Sin embargo, la cantidad de estabilizador dependerá de las condiciones del proceso, más notablemente de la temperatura de fusión y del tiempo en el que el material permanezca dentro del equipo de extrusión (tiempos de residencia). Basándome en Ingeniería de reactores, transferencia de masa y la experiencia de los operadores de los equipos de extrusión indico que; bajas temperaturas de fusión y tiempos de residencia más cortos producen productos con mayor estabilidad por lo que serán capaces cumplir con su aplicación sin sufrir daños o degradación. Caso contrario, si las temperaturas son más elevadas o se alargan los tiempos de residencia, la pieza extruida no será capaz de cumplir las demandas de la aplicación

por lo que se degradarán o dañarán. Para esto consideré el esquema de procesamiento de materiales poliméricos para un análisis más amplio del efecto gradual que pueda sufrir durante esta etapa.

Otro factor que consideré en esta segunda etapa es la historia térmica del material debido que no debo de pasar por alto que trabajo con materiales que han sufrido procesos anteriores por tratarse de material recuperado debido a esto consideré datos de tiempo de inducción de oxidación (OIT) con lo cual medí la vida útil del producto en campo, derivado de la estabilidad oxidativa del mismo, es decir a partir del historial térmico que considera cantidad de reprocesamientos que ha tenido la resina, condiciones operativas a la que se ha enfrentado y formulación original se recalcula su tiempo de inducción arrojando con ello un nuevo tiempo de vida útil que será considerado para establecer la nueva fecha de caducidad del producto una vez que esta sea incorporada a la nueva formulación.

Por tratarse una formulación con una proporción de resina derivada de materiales que han sido reprocesados tengo que asumir como un posible riesgos que el materiales exhiban cierto grado de agotamiento en sus antioxidantes debido a que esto dependerá de las condiciones de operación del producto, de esta forma, asignaturas como Dinámica y Control de procesos e Ingeniería de Procesos, conforman la parte de entender y comprender cada una de las operaciones que involucran el procesamiento del plástico así como el enfoque basado en riesgos que se debe asumir al trabajar con este tipo de materiales así como los cambios que este pueda sufrir.

Conocer el desgaste sufrido en nuestro material con reproceso permite la generación de una propuesta que reforzará los estabilizadores desgastados debido a que estos dotan al producto final de las características mecánicas, físicas y químicas necesarias para su funcionamiento y uso final. Los estabilizadores son parte importante de la formulación en el proceso de extrusión por lo que consideré los pesos moleculares en relación con la mezcla final de la fórmula y la retención de aditivos lograda mediante el procesamiento de materiales en el extremo inferior de la gama de temperaturas de fusión. Por otra parte, para maximizar la cristalización y minimizar los esfuerzos en la extrusión de película plástica se consideró un procesamiento con temperaturas altas.

Entender y conocer la ruta de procesamiento de película plástica, las propiedades del producto y el uso final que se le dará me ayudan en la comprensión y búsqueda de la mejor opción para el cliente, esto combinado con mis conocimientos en la rama de la Ingeniería Química me dan un panorama tanto teórico como práctico del procesamiento de plásticos y todo lo que ello implica.

Como resultado final de las etapas descritas con anterioridad se elaboró una película plástica con un 50% de material recuperado el cual será usado en las siguientes etapas del proyecto generando un diseño de impresión que será plasmado sobre la película que por fines técnicos comenzaremos a identificarla como el sustrato.

En esta parte de mis actividades el sustrato que elaboré con ayuda del área de extrusión deberá cumplir con características de dimensión para su uso en equipos

de impresión proporcionando el área adecuada y las condiciones necesarias para su uso por lo cual solicité un tratamiento previo sobre la película.

El sustrato debe de tener un tratamiento conocido como tratamiento corona que es aplicado sobre el área de impresión para asegurar que la tinta se fije sobre ella posteriormente debe cumplir ciertas dimensiones para su manipulación en el equipo de impresión y ciertos requerimientos al tratarse de un producto con un uso en específico por lo que solicité un tratamiento de corte para ajustar las dimensiones y cumplan con las especificaciones para su uso en el equipo de impresión.

Una vez que la película plástica cumple con las características adecuadas para la impresión consideré los tiempos en los que la película comenzará su proceso de impresión y formación de producto terminado, la cual dependerá del tipo de producto esperado. A partir del producto esperado determiné el número de operaciones unitarias a las que será sometido el sustrato, para esto el perfil de Ingeniería Química vira a la planeación, organización y elaboración de producto. Una vez asumidos tiempos de procesos de impresión y formación, comienza la labor en materia de producción, durante esta etapa evalúe la materia prima a usar en el procesamiento, por lo que consideré; tintas, resinas de laminación, barnices para recubrimientos, solventes y Core.

El proceso de impresión dará como resultado el producto terminado para entrega con el cliente por esta razón como Ingeniero de Producto y Procesos me asegure de que el producto cumpliera con cada una de las especificaciones solicitadas, tanto en calidad de película como en impresión por lo que mi responsabilidad fue la toma de decisiones, interpretación de resultados, lectura y elaboración de planos,

redacción de textos explicativos, elaboración de bases de cálculo para la evaluación de la cantidad de materia prima a utilizar así como asegurar que el producto final cumpla con los criterios aplicables de la norma de calidad ISO 9001:2015, buenas prácticas de manufactura y buenas prácticas de documentación.

El cumplimiento de mis actividades y responsabilidades en el proyecto se fundamenta con conocimientos prácticos y capacitaciones dentro de la planta, así como aspectos teóricos adquiridos en proceso de formación académica como Ingeniero Químico egresado de la FES Zaragoza y cuyos conocimientos se consolidan y se evalúan con la aplicación en campo y el desempeño en tiempos de respuesta para un proceso y la entrega final del producto.

Es así como se combina el perfil de un Ingeniero Químico y el puesto de un Ingeniero de Producto y Procesos dentro de la industria plástica y de manufactura.

#### **4. Experiencia profesional: Ingeniero de Producto y Procesos.**

La organización en la cual presté mis servicios es una industria del sector plástico y de manufactura dedicada a la fabricación de:

película impresa usada en el empaquetamiento de productos alimenticios como: Granos, pastas, alimento para animales, lácteos y jabón.

película termo encogible usada en el embalaje de productos embotellados.

Streech usado en embalaje y transporte

Sacos de Rafia usados para el almacenamiento de granos, fertilizantes, alimento de animales, entre otros.

Uno de los propósitos de la organización encaminada al departamento de Desarrollo de nuevos productos es la búsqueda constante en la innovación y el posicionamiento de mercado, así como el mantenernos como una de las mejores empresas mexicanas. Uno de los servicios brindados por la organización es la innovación por medio del departamento de Desarrollo de nuevos productos del cual soy integrante como Ingeniero de Producto y Proceso.

Dentro de mis responsabilidades en este departamento es la evaluación de los posibles productos a elaborar en la organización que salen del catálogo de línea y aquellos productos que ya se elaboran en la planta, pero se busca la mejora del producto en temas de sustentabilidad, optimización de recursos, ahorro, automatización de procesos, aumento de efectividad operativa o reducción de tiempos y costos. Otra de las responsabilidades principales es la gestión de los procesos de fabricación, en esta etapa el objetivo principal es el cumplimiento de tiempos, optimización de los recursos, coordinación entre las operaciones del procedimiento, calidad del producto semiterminado y terminado, control de equipos operativos y el aseguramiento de los requisitos del cliente.

Estas dos actividades principales definen el perfil de un Ingeniero de Producto y procesos, frente al proyecto que se me ha asignado para la gestión

Desde mi ingreso al área de operaciones en el departamento de Desarrollo de nuevos productos hasta la fecha en que se me asignó el proyecto de una película sustentable he coordinado y finalizado 7 proyectos, durante la ejecución de este proyecto estaban en mi responsabilidad otros 3 proyectos simultáneos, cada uno de

estos proyectos involucran un producto diferente con características, aplicación y condiciones de fabricación y operación diferentes. Una de las razones que me motivó a enfocar este informe de trabajo en el proyecto de sustentabilidad es el hecho de que los resultados esperados son muy ambiciosos, desde el punto de vista económico el volumen de compra por parte del cliente que requiere del producto es grande y representa un impacto comercial enorme debido al tamaño de la empresa cliente y la importancia que esta tiene en el mercado, otro de los puntos fundamentales es el tema de sustentabilidad y del modelo económico que conlleva como lo es la economía circular permitiéndome entrar en diversas juntas comerciales y operativas para fijar los términos del proyecto, fechas de conclusión, cumplimientos normativos y sobre todo el desarrollo de una nueva formulación para la elaboración de una película con un porcentaje de resina recuperada y tratada.

Ser Ingeniero de Producto y Procesos en una organización es abrir demasiadas puertas al desarrollo profesional permitiéndome tocar puertas en licitaciones, visitas a las plantas de los diferentes clientes para saber y entender el uso que se le dará a los productos que ellos solicitan así como la innovación y mejora de productos proponiendo resultados y atendiendo a las necesidades que se presenten siendo como principal función la gestión de proyectos y la coordinación operativa para lograr los resultados solicitados.



#### 4.1. Proyecto

Como se ha expresado con anterioridad la presente tesina está basada en un proyecto solicitado por un cliente, cuya solicitud es una propuesta de película termo encogible con un porcentaje de recuperado que cumpla con las especificaciones físicas, mecánicas y químicas para el uso en dos de sus plantas de producción. El proyecto fue presentado ante la organización de la que soy parte como Ingeniero de Producto y Procesos y asignada a mí para su gestión y producción teniendo un periodo de 2 meses para presentar la propuesta física en la licitación que se llevará a cabo en donde el cliente decidirá si la propuesta satisface sus necesidades y se realiza la compra.

Dentro de los requisitos del cliente es una película con un porcentaje de material reprocesado para ser usado en el embalaje de jugos con empaque de cartón con un contenido de 44 piezas de jugos de 125 ml y un diseño de impresión en la película que cubra totalmente el contenido del producto, para esto el cliente proporcionó planos y especificaciones de sus Departamento de Ingeniería y Proyectos y fichas técnicas de su Departamento de Calidad mismas que por razones de confidencialidad no pueden ser mostradas en esta tesina.

Estos documentos me sirvieron para generar bases de producción y especificaciones para las condiciones de operación en la fabricación del producto

Una de las necesidades surgidas por el consumo excesivo de los recursos naturales del planeta es la generación de materiales sintéticos, sin embargo, no es únicamente el hecho de sustituir polímeros naturales con polímeros sintéticos

también es hablar de la aplicación del material y compaginar el uso del material con el polímero que servirá de materia prima para la elaboración del producto.

El cliente solicitaba: Una película termo encogible de polietileno de baja densidad con calibre de 200 gauges, ancho de 47,8 cm y un largo de 67.0 cm con un área de impresión de 42.8 cm de ancho y 42.6 cm de largo, alturas de fotoceldas de 1.5cm con ancho de 1 cm.

Debido a que el material tendrá la función de empacar productos de consumo humano este debe de cumplir con normatividad ASTM, ISO y FDA.

Estas especificaciones proporcionadas por el cliente, propiedades mecánicas descritas en las fichas técnicas compartidas y aspectos normativos son las bases que tomé para el desarrollo del proyecto que a continuación se describe:

#### **4.1.1 Planteamiento**

La primera junta tuvo lugar en las instalaciones del corporativo de la empresa para la que trabajo el día 2 de nov del 2019 cuyos participantes fueron el Director Comercial y el Gerente Comercial Zona Centro así como la empresa cliente representada por el Director de Operaciones y el Director Comercial, el objetivo de la junta fue la discusión de una relación comercial en donde el prospecto a cliente consume un volumen promedio de 12 toneladas mensuales y con posibilidades de duplicar el volumen a medida del avance en relación proveedor-cliente.

La necesidad consiste en una película termo-encogible con un porcentaje de producto recuperado dentro de su composición y adicional a esto, impresa en calidad flexográfica. Al tratarse de una película con un porcentaje de material recuperado se establece como un producto que sale de nuestro catálogo de línea,

pero por el tipo de película y los requisitos de propiedades mecánicas, físicas y químicas se trata de un proyecto con factibilidad de producción y es considerado como un proyecto de sustentabilidad con un modelo de economía circular.

Uno de los principales objetivos específicos es la plena satisfacción del cliente con el ofrecimiento de un producto que cubra sus necesidades.

Otra consideración que tomé para la ejecución del proyecto es conocer al cliente, por lo tanto, realice una vista industrial a su planta de producción para conocer y estudiar el equipo en el que se usaría el producto que ellos solicitaban. El cliente, es una empresa del ramo alimenticio cuyo mercado radica en la elaboración y envasado de jugos en diversas presentaciones, nuestra participación dentro de su cadena de valor es ofrecerles un producto que será usado en su sistema de empaquetado final donde el producto un jugo de 125 ml en envase de cartón rectangular sea empaquetado en forma de Dummies con una estructura de 4 x 11 que en el proyecto radica en la elaboración de una película termo-encogible con un porcentaje de recuperado y que aporte las mismas propiedades mecánicas de una película natural (llamémosle natural a aquella película plástica que en su composición no cuenta con un porcentaje de material recuperado, reprocesado o reciclado) así mismo esta película contará con las dimensiones y diseño adecuado en temas de impresión, cumpliendo con los estándares de calidad por los que se rige la empresa para la se prestó servicio.

El inicio de este proyecto fue detonado por una junta establecida por los colaboradores del área comercial y el cliente, en esta reunión los términos definidos

fue la elaboración de una película impresa termo-encogible con un porcentaje de recuperado dentro de la composición de la película, esta junta fue llevada a cabo el día 2 de Nov del año 2019 y culminada con la alta de una minuta en la cual incluiría los acuerdos de ambas partes, una vez definida la forma de actuar por parte de la empresa un personal encargado del área de ventas emitió una Orden de Desarrollo y un Pedido de Muestra, estas solicitudes y minutas levantadas fueron mi indicativo de proceder con el proyecto.

Mi forma de actuar en este proyecto es la identificación de la necesidad que sufragarán al cliente, en este caso dos aspectos principales son; Película e impresión.

#### 4.1.2 Gestión de proyecto

El siguiente diagrama de Gantt no solo está pensado en el cumplimiento de cada una de las actividades en determinado tiempo y en el control de cada una de ellas sino está basado en una metodología llamada “DMAIC” enfocada a la estadística de errores y la localización de puntos críticos. La metodología define los siguientes criterios **Define, Measure, Analyze, Improve and Control**, cada uno de estos puntos está enfocado a la selección de un proyecto definiendo las características de manera grupal y validando la ruta del proyecto evaluada por medio de un mapeo de cadena de valor logrando con ello la depuración en un diagrama de Gantt evitando con ello la sobrecarga de actividades.



Imagen 4.1.: Descripción de metodología SMART

Para lograr y establecer objetivos y el cumplimiento de estos dentro del proyecto se usó otro método conocido como “SMART” (ver imagen 4.1) el cual tiene como acrónimo **Specific, Measurable, Archievable, Realistic, Time**, este método es aplicado y descargado en cada una de las entradas y salidas de las actividades manejadas, así como en el personal responsable de la tarea.

A continuación, se muestra los objetivos específicos en la tabla 4.1 establecidos para la definición y ejecución de actividades en el diagrama de Gantt.

**Objetivos específicos:**

Objetivos	¿Qué?	¿Cuánto?	¿Cómo?	¿Con qué?	¿Cuándo?
1	Caracterizar la muestra del producto del cliente	con un +/- 5% de variación	a través de la edición de los parámetros	apoyados del área de laboratorios de calidad y sus equipos de medición	En un plazo no mayor a los 7 días
2	Proponer una formulación para una película termoencogible de carácter ecológico	con un volumen total que satisfaga la necesidad en producción	realizando los cálculos necesarios, probando materia prima y condiciones de operación	haciendo uso de los equipos de laboratorio, equipos industriales y equipos piloto	en un plazo no mayor a los 31 días
3	Fabricar las muestras de película	produciendo los kg solicitados por el cliente	realizando los cálculos necesarios para la producción completa	con ayuda del área de película coextruida y sus equipos de extrusión	en un plazo no mayor a los 21 días
4	Someter a impresión la película termoencogible	produciendo los kg solicitados por el cliente	Realizando los cálculos operativos correspondientes para una correcta impresión	apoyados del área de película impresa y el uso de sus equipos de impresión y corte	en un plazo no mayor a los 12 días
5	Fabricar los Dummies	solicitados en la orden de producción	sometiendo a la película liberada por producción a un procedimiento de formado	haciendo uso de un túnel de encogimiento	en un plazo no mayor a los dos días

Tabla 4.1: Tabla de objetivos

Con respecto al establecimiento de los puntos críticos del proceso (ver tabla 4.2) y el uso de la metodología DMAIC señala en el diseño del diagrama de Gantt la ruta crítica del proyecto donde los puntos de corte del flujo en días indican el punto crítico de la gestión donde se puede presentar riesgos materializado en retrasos de tiempos de gestión u operación generando con ello la tabla 4.2 y los diagramas 4.1 y 4.2.



Imagen 4.2: Ejemplo visual de punto crítico de gestión

PROYECTO: Desarrollo de un película termo encogible con porcentaje de recuperado							
Días reales	Estatus	Nombre de la tarea	Duración (días)	Inicio	Fin	Costo	Recursos humano
4	Vo.	<b>Estudio, diseño y formulación</b>	8	11/4/2019	11/14/2019		
1		Evaluación de película muestra	2	11/4/2019	11/6/2019		
1		Diseño de impresión y formulación	3	11/7/2019	11/12/2019		
2		Elaboración de ruta de proceso	5	11/13/2019	11/20/2019		
4	Vo.	<b>Producción de película</b>	12	11/15/2019	12/3/2019		
1		Calculo de cantidad de muestras	1	11/13/2019	11/14/2019		
2		Extrusión de película (Elaboración de muestras)	6	11/14/2019	11/22/2019		
1		Pruebas de laboratorio	2	11/22/2019	11/26/2019		
1		Evaluación de desempeño y liberación.	3	11/26/2019	11/29/2019		
6	Vo.	<b>Impresión y conversión</b>	16	12/4/2019	12/26/2019		
3		Procedimiento de impresión y corte	7	12/4/2019	12/13/2019		
2		Empaquetado, pruebas y liberación.	2	12/16/2019	12/18/2019		
1		Pruebas en equipo industrial y túnel de encogimiento.	3	12/19/2019	12/24/2019		
		Balance costo - beneficio	Total de días	h. persona	% ahorro de servicios		Total
			70	105	10%		43

Tabla 4.2: Tabla preliminar de gestión y recursos

Gantt										Octubre					Noviembre			
Actividad	Fecha de inicio	Fecha de termino	Departamento	Responsable	Entradas	Salida	01 a 05	06 a 12	13 a 19	20 a 26	27 a 02	03 a 09	10 a 16	17 a 23	24 a 30			
Reunión con el cliente	02/10/2019	04/10/2019	Ventas	Director de Ventas	Cita de reunión	Minuta												
Evaluación de muestras del cliente	07/10/2019	09/10/2019	DNP Laboratorio CC	Jefe de CC Ingeniero de Producto y procesos	Muestra física Minuta	Resultados de laboratorios												
Generación de especificaciones	10/10/2019	14/10/2019	Operaciones	Ingeniero de Producto y Procesos Gerente de PCOEX Gerente de PIMP	Resultados de laboratorio fichas de especificación del cliente	hoja de especificaciones												
Entrada de orden de producción	16/10/2019	16/10/2019	Ventas	Asesor Comercial	Hoja de especificaciones	Solicitud de muestra APP 0727 y pedido SAP 87847/87848												
Elaboración de plano mecánico	04/10/2019	18/10/2019	Pre-prensa	Diseñador Master	Orden de desarrollo del pedido 0727 y plano de referencia	Plano mecánico y placas de impresión												
Elaboración de película plástica	21/10/2019	02/11/2019	PCOEX	Jefe de PCOEX	Orden de desarrollo del pedido 0727, solicitud de producción FOR ING 09	Doc. de liberación de calidad, hoja de traspaso de almacén, hoja de especificación de material y operación												
Impresión de película plástica	04/11/2019	16/11/2019	PIMP	Jefe de PIMP	Orden de desarrollo del pedido 0727, plano mecánico autorizado, placas de impresión, solicitud de producción FOR ING 01, FOR ING 03	Doc. de liberación de calidad, hoja de traspaso de almacén, hoja de especificación de material y operación												
Liberación de material	21/10/2019	17/11/2019	Control de Calidad	Supervisor de CC	Hoja de especificaciones de material semiterminado y terminado	Certificado de calidad												
Elaboración de dummies	21/11/2019	21/11/2019	DNP	Ingeniero de producto y procesos	Certificado de calidad y hoja de operación	hoja de especificaciones y operación												
Entrega de producto al cliente	23/11/2019	24/11/2019	Ventas	Director de Ventas	Certificado de calidad, hoja de especificaciones, documento de salida de planta.	Hoja de entrega de material												
Evaluación final	25/11/2019	29/11/2019	Operaciones	Ingeniero de Producto y Procesos Gerente de PCOEX Gerente de PIMP	Hojas de ingeniería, certificados de calidad, hojas de especificación y operación.	Documento general de proyecto.												

Diagrama 4.1: Gestión de proyecto

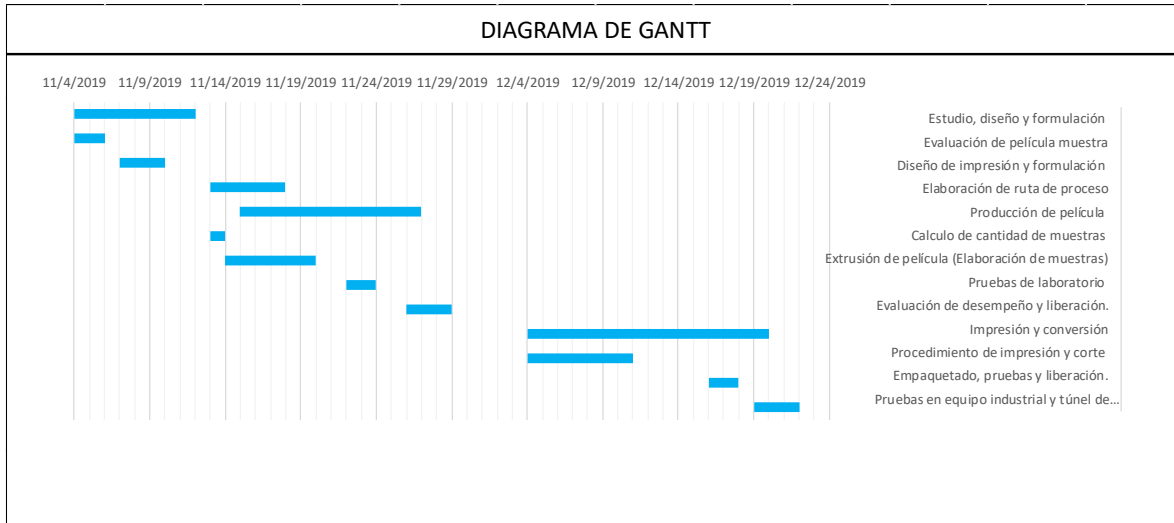
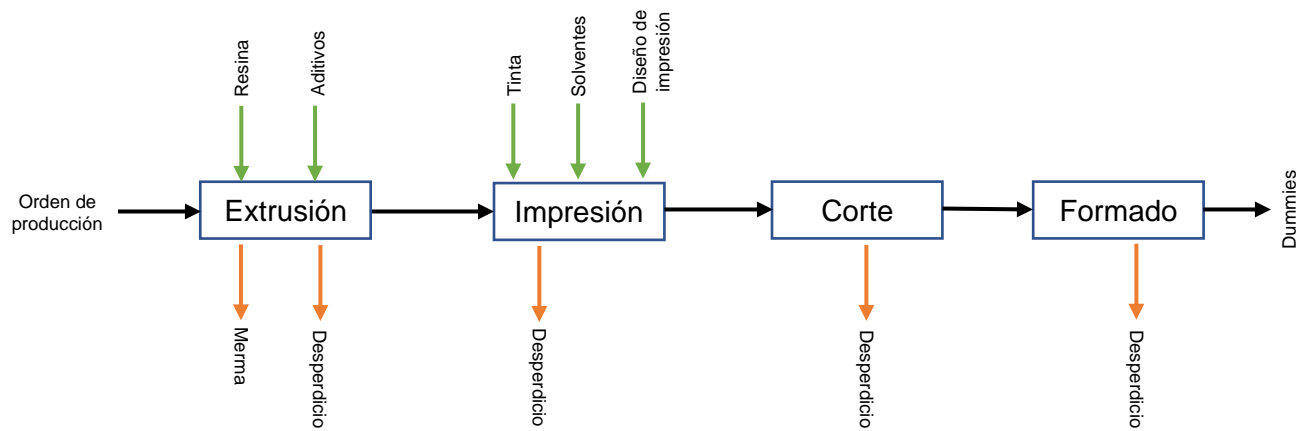


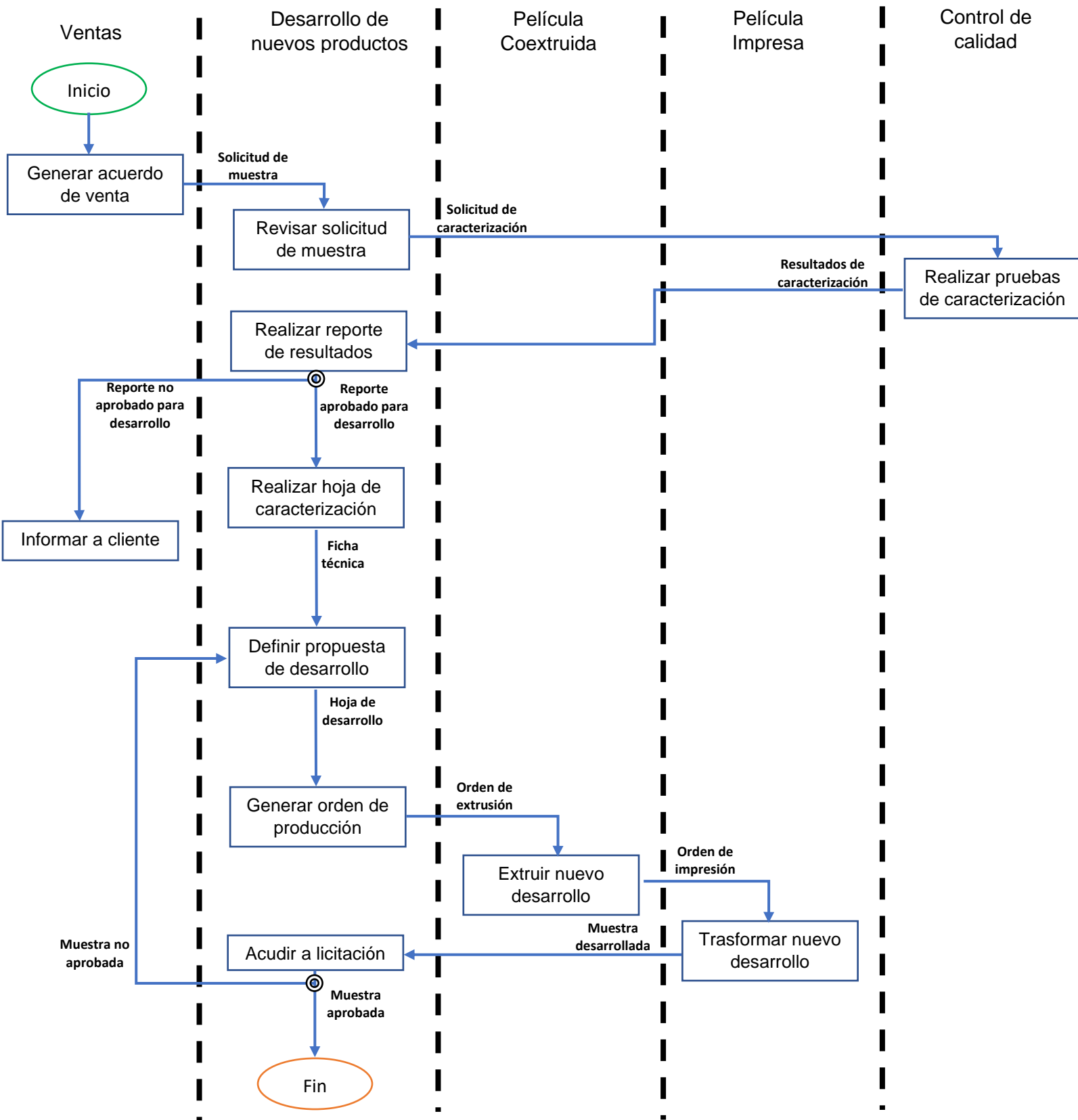
Diagrama 4.2: Plan de gestión

#### 4.1.2.1 Diagrama de flujo de procesos





### 4.1.2.2 Mapeo de desarrollo y diseño



## 4.2 Producción

A continuación, se describen los criterios para la producción del producto solicitado y las operaciones, actividades y recursos usados para la fabricación así como los procedimientos involucrados.

### 4.2.1 Bases de diseño

Para el proyecto y desarrollo de producto solicitado por el cliente se presentaron los siguientes requerimientos en cuanto a diseño de película ver imagen 4.3.

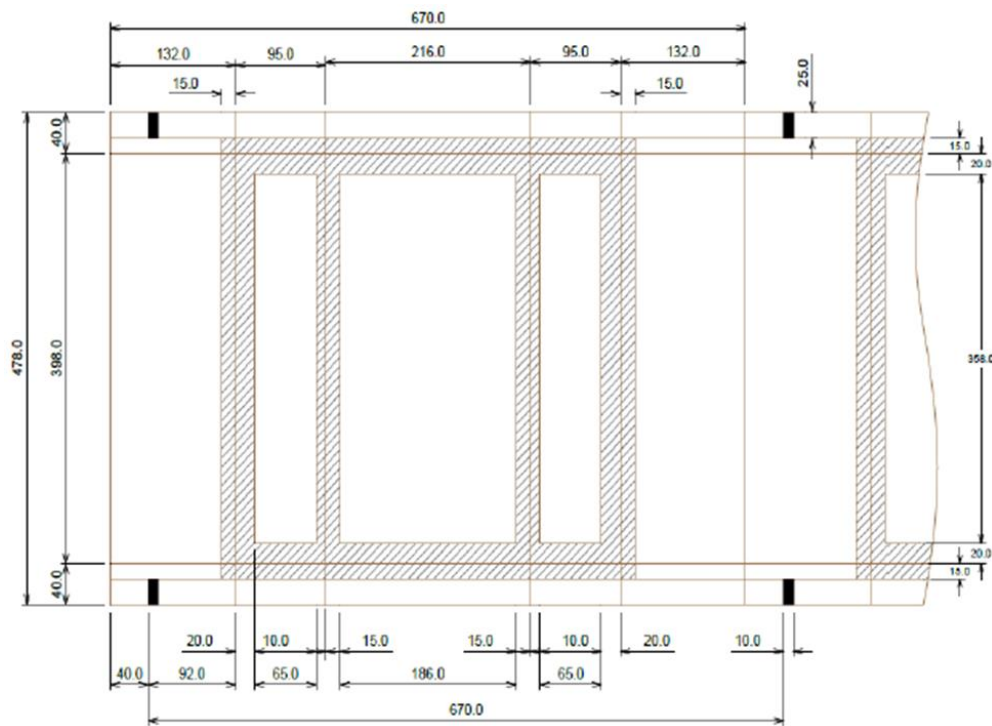


Imagen 4.3: Plano de diseño de impresión

La película solicitada requiere por parte de los clientes las siguientes especificaciones ver tabla 4.3:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MATERIAL	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Material	Película Termoencogible
Estructura	Polietileno de baja densidad
Calibre total	0.00250 in $\pm$ 0.00015 in (0.0635 mm $\pm$ 0.00381 mm)
% Encogimiento	Longitudinal: 65% $\pm$ 5 % Transversal: 35 % $\pm$ 5%
Peso de la Bobina	Máximo 30 kg (66.13 lb)
Diámetro del Core	3" $\pm$ 1/8" (76.2 mm $\pm$ 3.175 mm)
Diámetro de bobina	Máximo 600 mm (23.622 ")
Sentido del embobinado	A favor del sentido de la máquina como lo indica la Figura 2
Tintas	CMYK + AZUL 280 + VERDE 361
Empalme	Máximo 1 por bobina (debe igualarse el arte en el empalme de película, utilizar cinta transparente para realizar la unión)
Impresión	Reverso

Tabla 4.3: Características del material

Otras especificaciones solicitadas por el cliente y que por fines de confidencialidad se evita la presentación de la descripción:

- COF
- Resistencia al corte
- Tratamiento corona
- Impacto al dardo
- Telescopio
- Resistencia a la tensión
- Elasticidad del punto de rompimiento
- Marcado de registro
- Carlín
- Ondulación

#### 4.2.2 Desarrollo de formulación de película y diseño de impresión

A partir de una muestra de producto y las fichas técnicas de la película termoencogible usada por el cliente se realizó una caracterización y estudios comprendida por la entrega de la muestra al área de calidad donde se realizaron los siguientes estudios en el laboratorio:

- a) Elongación
- b) Rezagado
- c) Encogimiento
- d) Difracción
- e) Resistencia al corte
- f) COF
- g) Marca de registro

#### **4.2.3 Desarrollo de película termo encogible**

En esta parte del proyecto defino las características del producto a partir de una serie de interrogantes;

- Tipo de aplicación: que incluye, ¿sobre qué producto se trabajar?, del cual se define un empaquetado de 44 productos del cliente con dimensiones de 5cm de ancho, 9 cm de alto y 2cm de espesor aproximadamente. Por lo cual el acomodo se realiza en un 11X4, es decir; 4 filas de 11 productos.
- Existen especificaciones del cliente: Para ello, es el cliente quien proporciona datos sobre el producto deseado en carácter de dimensiones, propiedades ópticas, propiedades mecánicas y demás, estas son aceptadas siempre y cuando el cliente sea la persona que indique estas necesidades.

En este proyecto, la empresa cliente proporcionó información acerca de las dimensiones finales de la película que solicita, así como un porcentaje de material recuperado que quería que formara parte de su producto.

- Tipo de película; En esta situación yo como persona encargada del proyecto recabo toda información pertinente para definir con ello el tipo de uso que se

le daría a la película y derivado de esto generé una propuesta para el cliente, adecuada a sus necesidades.

La propuesta consiste en un termo-encogible 503R cuya formulación radica en proporcionar altas propiedades mecánicas que soporten esfuerzos aplicados en el producto formado y junto con ello una inclusión del 50% de material recuperado en la formulación.

- Características mecánicas: Estas son propiedades que definen al producto, es decir, son variables que identifican a la película para su funcionalidad tales como, elongación, tensión a la ruptura, curva de sello.

#### **4.2.4 Extrusión de película termo encogible.**

Para la extrusión de la película trabajé con el equipo de Película coextruida que es un área en la planta encargada de la extrusión de película trabajando un tipo de extrusión en capas.

Para elegir la película correcta es necesario realizar varias interrogantes como:

- Uso: En este aspecto se debe ser concreto ya que a partir de esta interrogante partirá todo por lo que se considera el destino del producto que se le ofrecerá al cliente siendo el embalaje de bebidas embotelladas el uso que se le dará a la película solicitada.
- Aplicación: Es muy diferente el uso que la aplicación, uno se encarga del destino del producto que se ofrece mientras que el otro se refiere al requerimiento a cubrir hablando en términos de propiedades mecánicas, físicas y químicas. Si se desea cubrir una necesidad mecánica (Firmeza,

elasticidad o resistencia al esfuerzo o a la temperatura, etc.) o físicas como apariencia.

Estas son las principales interrogantes por cubrir y ofrecer una película con la calidad y funcionalidad adecuada al cliente, estas propiedades el cliente las especifica en la ficha técnica compartida en las juntas realizadas y que se presentan en la sección de resultados de esta tesina.

#### **4.2.5 Impresión de diseño en película termo encogible.**

En esta parte del proceso defino el tipo de impresión y las características sobre la cual se trabaja en el sustrato. El equipo de película impresa ayudo en esta parte del proyecto y se propuso una impresión de calidad flexográfica con un tipo de impresión reverso y una figura de embobinado 4 y consideré las siguientes operaciones unitarias para el resultado final; impresión, corte, laminado, formado.

- Corte: Esta parte del procedimiento se condicionó para la operación las medidas de la película. El proyecto presentó una película cuyo ancho fue menor al manejado en el proceso de impresión por lo tanto procedí a realizar los cálculos pertinentes para definir un ancho máximo que cubra con las especificaciones operativas de máquina considerando; Fuerza de embobinado, velocidad de impresión, diámetro de bobina, metros de película y metros de película solicitadas por el cliente, merma y cantidad de película para calibración cumpliendo con el objetivo de dar un producto con el peso y las dimensiones solicitadas por el cliente.

Otra de las condiciones es que, si el producto en etapa de semiterminado pasará al proceso de laminado, en este carácter hay dimensiones a tomar en

cuenta ya que requerirá la consideración de 3cm de película adicional dividida en 1.5cm a cada extremo de la película laminada por temas de residuos emergentes de la resina usada en el procesamiento.

- Laminado: El proyecto no requirió de laminación, pero para mantener los conocimientos se deberá tomar en consideración lo siguiente: hay ocasiones en que las películas requieren una capa adicional que asegure la integridad de la impresión, la firmeza de la película una vez aplicada al producto del cliente o bien una barrera extra que proteja al producto que contendrá. En este sentido el laminado de película es adecuado para cubrir esta necesidad, sin embargo, hay parámetros operativos que debe de cubrir tales como ancho mínimo y máximo, tipo de sustrato en el que se laminará y aplicación final del producto.
- Formado: Para esta parte del proceso solo hay una condición, si el cliente requiere que la película se le envíe formada o no, es decir, si la película se le enviará en forma de bobina o bien en forma de paquete o bolsa para uso directo bajo el uso de mano de obra adicional (Personal operativo).

### **4.3 Reporte de operación**

Con cada uno de los criterios manejados anteriormente y reuniones realizadas con personal de áreas de ventas y el cliente, sirvieron para definir lo siguiente.

El cliente solicitó una película termo-encogible con especificaciones en tema de dimensión y áreas de impresión, haciendo hincapié en la sustentabilidad por lo que se acuerda un producto conformado con un 50% de material recuperado y el armado de Dummies con un formato en 11X4 para un paquete de 44 productos del cliente

por parte de la empresa para la que presto servicios y bajo la dirección de operaciones coordinado por el autor de esta tesina como Ingeniero de producto.

El proceso lo estructuré en cuatro procedimientos principales: extrusión, impresión, corte y formado.

#### 4.3.1 Antecedente

El cliente solicita 4 Dummies con dos tipos de película con composición diferente, una de las cuales contendrá un 50% de material recuperado mientras que la otra tendrá la composición normal de una película 503R para esto se elaborarán 8 bobinas de 25kg cada una como producto final en el área de película impresa y su posterior uso en el túnel de encogimiento ver tabla 4.4.

Características del producto final acorde a la orden de pedido 87847/87848						
Tipo de película	Formulación	Diseño de impresión	Ancho	Repetición	Calibre	Otros
Termo	503R	OD-0727-IC	40 cm	96 cm	250 gauges	Figura de embobinado 4
Termo	503R 50% de recuperado	OD-0727-IC	40 cm	96 cm	250 gauges	Figura de embobinado 4

Tabla 4.4: Características

#### 4.3.2 Extrusión

Para la elaboración de 2 bobinas de 25kg con un 50% de recuperado y 2 bobinas de 25 kg con formulación normal se procede a la solicitud de película al área de película extruida por medio de una orden con código de material MUESTRA-PCOEX generando el documento FOR ING 09 para solicitud de película al área de película extruida se toman en cuenta la cantidad de producto final a entregar al cliente y las dimensiones.



Para la solicitud de película a esta área se deben de tomar en cuenta: Formulación, cantidad de ajuste en máquina Varex 5, cantidad de ajuste en impresión Prima Flex, ancho mínimo y máximo de extrusión, la película será sometida a impresión, tipo de producto a empacar, número de carriles de impresión, calibre, metros por rollo, kg por rollo, número de rollos, tipo de Core, almacén, numero de pedido, solicitado a y solicitado por, así como fechas de entrega como producto semiterminado, entrega de pedido para embarque y entrega a cliente.

Para la solicitud de cantidad de película en masa (kg por bobina) y en longitud (m por bobina) es de vital importancia usar un sistema de cálculo basada en la cantidad de producto a entregar, densidad de la resina para la elaboración de película, calibre y ancho de la película. A partir del ancho de película se calcula el número de bajadas por arranque en la Varex 5 y con base a ello la cantidad de merma y desperdicio especulado en la producción.

A continuación, se describe en la tabla 4.5 algunas de las características del rollo maestro y los aspectos solicitados al área de película coextruida, por fines de confidencialidad se omiten algunas características y los formatos originales del producto sin embargo no están lejos de la solicitud del formato FOR ING 09.

GENERALIDADES		CARACTERÍSTICAS DE PELÍCULA			ROLLO MAESTRO	
<b>TIPO DE PELÍCULA</b>	Formulación	Ancho	Repetición	Calibre	Kg por bobina	m por bobina
<b>TERMO</b>	503R	80 cm	96 cm	250 gauges	50 kg	1273 m
<b>TERMO</b>	503R 50% de recuperado	80 cm	96 cm	250 gauges	50 kg	1273 m

Tabla 4.5: Descripción de película

Posterior al proceso de extrusión, el rollo maestro es enviado al área de película impresa bajo la dirección de almacén SBPS y por medio de una orden de traspase por medio del sistema SAP y una vez que el Departamento de Calidad haya hecho la inspección debida y liberado el material para su uso.

### **4.3.3 Impresión**

Una vez que el rollo maestro es traspasado al área de película impresa en el almacén SBPS este será usado para el proceso de impresión acorde al diseño de impresión (plano mecánico) elaborado previamente en el área de pre-prensa de igual forma, en conjunto con planeación se programó las etapas de producción, tiempos, materia prima y equipos que se usarán durante la elaboración del producto. Antes de la generación del programa de producción mi trabajo comienza desde la definición del diseño de impresión en conjunto con pre-prensa es por ello que generé y envíe una orden para la elaboración de un plano mecánico que contendrá; fecha, MTRA o DSRO, cliente, producto, tipo de trabajo, diseño de referencia, tipo de impresión, sustrato, calibre, pigmento, medidas, fotoceldas y dimensión de fotoceldas, figura de embobinado, plano de referencia y una breve descripción del requerimiento. La elaboración del plano de referencia y la supervisión de su elaboración en pre-prensa es responsabilidad del Ingeniero de Producto y Procesos y el diseñador. Una vez obtenido el plano mecánico este es enviado al área de ventas y redireccionada al cliente para su aprobación por medio de una firma electrónica y/o física para su posterior uso en la elaboración de placas para impresión.

Como Ingeniero de Producto y Procesos los materiales detonantes para el proceso son el sustrato, el plano mecánico y las placas, y las tintas de inyección. Para la programación de la orden de muestra el IPP elaborará y entregará los formatos de orden de producción FOR ING 01 y FOR ING 03 referidas a las órdenes de producción para película impresa y orden de producción para conversión la cual concierne específicamente a laminación y corte siendo esta última el único procedimiento al que será sometida la película en esta sección del área. Los documentos contendrán la siguiente información, para el caso del FOR ING 01 contendrá, datos generales (cliente, producto, fechas, responsables y número de pedido/rastreo), especificaciones del rollo maestro es decir del sustrato principal, calibres y dimensiones en el área de impresión, lote SAP de material a ocupar, cantidad en kg de película a imprimir, número de diseño en este caso se trata del OD-0727-IC, figura de embobinado, lote de identificación "MTRA0727" y almacén receptor.

Para el FOR ING 03 en el corte los datos requeridos son datos generales (cliente, producto, fechas, responsables y número de pedido/rastreo), lote de material a cortar, dimensiones finales, tipo de Core, kg por bobina, tipo de empaquetado, figura de embobinado, almacén receptor SBMP y condiciones de entrega.

Una vez entregados los formatos de producción al departamento de PIMP bajo el control del Planeador de Ingeniería se procederá a la programación y a la entrega de copias de los formatos y planos mecánicos autorizados a los supervisores de cada área para la fabricación del producto en alguno de los turnos acorde al horario programado, es responsabilidad del Ingeniero de Producto y Procesos supervisar,

validad y autorizar la producción en conjunto con el Departamento de Calidad y cumpliendo con los estándares de calidad del producto especificadas en la ficha técnica del producto por tratarse de un producto de línea y en concordancia las normas de calidad ASTM e ISO 9001-2015 y 2200.

Los equipos usados en el proceso fueron Prima Flex y Garant obtenido finalmente 4 bobinas de 25kg donde, dos de las cuales están elaboradas con un 50% de material recuperado mientras que las dos restantes contendrán la formulación original de un 503R, el tipo de impresión usado fue una impresión frente con figura de embobinado 4 con ancho de 40 cm, una repetición de 96cm y un calibre de 250 gauges, embobinado en un Core de PP de 3" y embalado en cartón con Streech, se envía al almacén de embarques con certificado de calidad.

#### 4.3.4 Formado

Para esta sección de procesos se considera la formación de los Dummies de 4X11 con termo 503R impreso en el túnel de encogimiento (ver imagen 4.4) localizada en el área de PCOEX, la operación del equipo estará bajo mi cargo como Ingeniero de Producto y Procesos, a continuación, describo la forma de operación del túnel y la formación de los Dummies de manera manual.

Se decide trabajar de forma manual y no automática por la cantidad de producto final a elaborar ya que se requieren solo 4



BP802ALX 600R / BP802ALX 600R-P

Imagen 4.4

Dummies, dos con termo 503R de formulación normal y dos con 503R con 50% de material recuperado, trabajando en túnel de encogimiento de la marca Smipack (ver imagen 4.5).

## Especificaciones del equipo usado

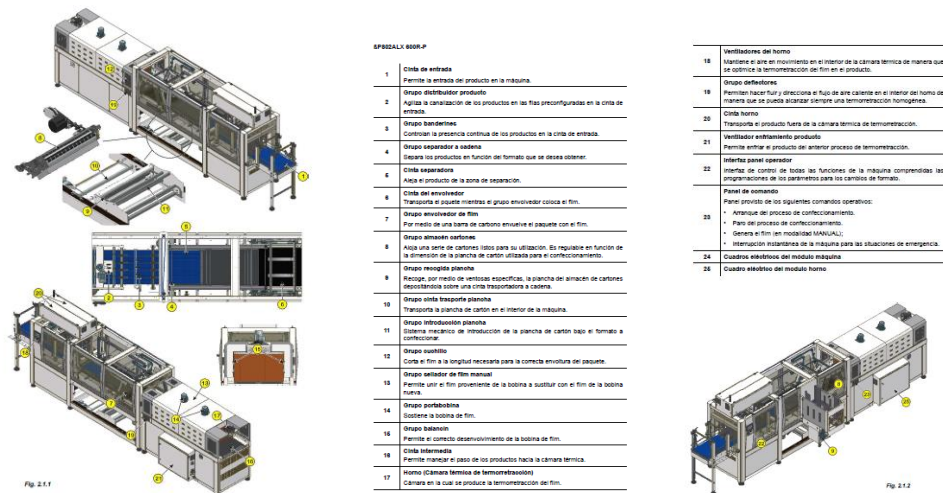


Imagen 4.5

### • Arranque.

Para el procedimiento de arranque del equipo es necesario revisar líneas de flujo de aire para la presión hidráulica generada la cual dará movilidad y tensión a las cadenas encaradas del movimiento de la banda de transporte de producto en el proceso de envoltura de película, revisión de líneas eléctricas para el encendido del equipo. Una vez revisados estos servicios procedemos al encendido del equipo girando la perilla en posición de encendido (esta perilla se localiza en la parte inferior derecha de la zona de horno del equipo), a su vez se libera el flujo de aire al equipo y se procede a la calibración.

- **Calibración.**

Una vez iniciado el sistema y la hidráulica del equipo este en correcto funcionamiento, se procederá a alinear los ejes del equipo y las bandas transportadoras del horno y el túnel, es decir, a la calibración del equipo. En el monitor del equipo se presionará el botón de arranque seguido del botón de operación y hasta que el monitor lo indique se oprimirá la pantalla en la zona de figura de equipo y el botón verde al mismo tiempo lo que accionará de manera automática los ejes del equipo, se mantendrá presionado hasta que el equipo permita el acceso al menú de opciones lo que indicará que el equipo está disponible para su operación.

- **Calentamiento del horno.**

Cuando el equipo esté disponible para operar se colocará el equipo en posición automática y se accederá al menú de horno para definir la temperatura operativa, en este caso será 190°C y una velocidad de banda del 50%, su velocidad máxima.

- **Operación.**

Una vez alcanzada la temperatura requerida en el equipo se procederá a su operación de manera manual por ende, en el monitor se deberá acceder a la sección de configuración y se colocará en modo manual, al hacer esto el equipo comenzará a trabajar rebobinando en la parte inferior la película de termo colocada previamente en los ejes de acción, se procederá al acomodo de los empaques en una alineación 4X11 y se presionará el botón de arranque, inmediatamente comenzará a correr la banda transportadora y las

bandas comenzarán a bobinar la película se supervisará que el corte de la película con la guillotina del equipo sea el correcto y la envoltura de los empaque sea el indicado, cuando esto sea corroborado y supervisado no es necesario interrumpir el proceso por ende el paquete envuelto pasará a la zona de horno donde por acción del calor generado dentro del horno comenzará el proceso de encogimiento y sellado de la película alrededor de los paquetes formando al final del túnel por la diferencia de temperaturas un paquete termo formado a la que se le llamará Dummies.

Cabe mencionar que el corte de la guillotina se realizará por medio del lector de fotocelda, cuando el lector de fotocelda registra la marca de fotocelda en la película por acción automática la guillotina cortará. Por otra parte, este corte será a lo largo de la repetición es decir de la alineación de 11. Al final del proceso se inspeccionó que las zonas de impresión cubrieran las especificaciones requeridas por el cliente, en caso de que la zonas de impresión tuvieran un desfase en el formado el proceso se tendría que repetir hasta lograr empatar las zonas de impresión con la formación 4X11 y si los resultados continuaran siendo erróneos y no cumplieran con los estándares de calidad como sellado, impresión, elongación, y resistencia durante una serie de pruebas se rechazará la muestra, se evaluará y se tomarán acciones correctivas que van desde la destrucción de la muestra hasta la elaboración de una nueva muestra con el histórico de la primera para evitar desperfectos. Sin embargo, el resultado fue el esperado, los Dummies elaborados con

ambas películas presentaron la misma calidad de impresión, resistencia, elongación y apariencia.

### **Liberación y envío**

Una vez generadas las muestras en forma de Dummies estas pasan a la zona de embarque donde el área de calidad tomó muestras finales para el resguardo y elaboración del certificado de calidad procediendo con la liberación en sistema en SAP con el cual el departamento de embarques procederá con la salida de planta de forma física y electrónica a través del sistema donde se supervisó la salida de planta hasta la entrega con el cliente por parte del Ingeniero de Producto y Procesos. La orden de salida contendrá la cantidad en kg, el estado físico del material, fecha y persona encargada de la entrega, así como el cliente y la dirección.

### **4.4 Resultados y conclusiones del proyecto**

Se entregaron cuatro Dummies con las características mecánicas y dimensiones requeridas por el cliente en una formación de 4X11 con película termoencogible 503R con 50% de recuperado y cuatro Dummies con formulación sin recuperado de los cuales el resultado de los análisis de calidad informan que ambas películas cumplen con los requisitos de calidad y las especificaciones de las fichas técnicas así como las dimensiones y áreas de impresión, por lo que se puede concluir que la formulación cuya composición lleva un 50% de material recuperado cumple con los estándares de calidad adecuados a las ASTM e ISO 9001:2015 y las especificaciones de fichas técnicas por lo que, como Ingeniero de Producto y Procesos y en sustento del departamento de calidad y operación manifiesto que la



película 503R50%R es apropiada para su uso como material de carácter ecológico y que conserva las especificaciones de un producto competente.

Mostrando como evidencia y resultados las siguientes propiedades del producto elaborado comparándola con las especificaciones solicitadas por el cliente, así como las condiciones de entrega (ver tablas 4.6 y 4.7).

<b>Tabla comparativa de características técnicas del material</b>		
	<b>Especificaciones del cliente</b>	<b>Propuesta desarrollada</b>
Parámetro	Descripción	Resultados
Material	Película Termoencogible	Película termoencogible 503R50%R
Estructura	Poliétileno de baja densidad	Formulación confidencial
Calibre total	0.00250 in +_ 0.00015 in (0.0635 mm +_ 0.00381mm)	0.0627 mm
% Encogimiento	Longitudinal: 65% +_ 5% Trasversal: 35% +_ 5%	Longitudinal: 62% Trasversal: 34%
Peso de la bobina	Confidencial por patente	Protegido por cliente
Diámetro del Core	Confidencial por patente	Protegido por cliente
Diámetro del embobinado	Confidencial por patente	Protegido por cliente
Tintas	Confidencial por patente	Negro
Empalme	Máximo 1 por bobina ( <i>debe de igualarse el arte en el empalme de película, utilizar cinta trasparente para realizar unión</i> )	1
Impresión	Reverso	Reverso
Tratamiento corona	38-40 Dinás	40 Dinás
Impacto al dardo	130-250 g	145 g
Telescopio	0%	0%
Marca de registro	Confidencial por patente	Confidencial
COF	Estático (lado no tratado) DM mín. Mín. 0.33 DT mín. Mín. 0.33 Dinámico: 0.16 - 0.23	Estático (lado no tratado) DM 0.43 DT 0.38 Dinámico: 0.18
Resistencia al corte	D. Máquina (g) 400 - 750 D. trasversal (g) 400 - 750	D. Máquina (g) 476 D. trasversal (g) 689
Resistencia a la tensión	DM (psi) 4,000 - 5,000 DT (psi) 4,000 - 5,000	DM (psi) 4,253 DT (psi) 4,787
Elasticidad al punto de rompimiento	DM 400% - 700% DT 600% - 900%	DM 546% DT 780%
Medidas de película	Confidencial por patente	Confidencial
Medidas de impresión	Confidencial por patente	Confidencial

Tabla 4.6

INSTRUCCIONES DE EMPAQUE, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	
<b>EMBALAJE</b>	Bobinas empaçadas en bolsa de polietileno, cajas de cartón, uniceł o papel Kraft, de tal forma que la película no sufra daños Máximo 3 camas de bobinas por pallet Colocar separadores entre cama y cama, de tal forma que la película ó Core no sufran daños Pallets envueltos firmemente con película stretch
<b>IDENTIFICACIÓN</b>	El embalaje deberá tener adherida la misma etiqueta que fue colocada en el interior del centro de cartón de la bobina. La etiqueta deberá contener los siguientes datos: ° Descripción de material ° Nombre del proveedor ° Tipo de material ° Lote y fecha de producción
<b>TRANSPORTE</b>	Protegido contra intemperie. A temperaturas no mayores a 35°C Evitar cualquier posibilidad de contaminación y daños físicos.
<b>ALAMCENAMIENTO</b>	En lugar cerrado a temperaturas menores a 35°C Protegido contra humedad y polvo Máximo 12 meses a condiciones normales de humedad y temperatura.

Tabla 4.7

## 5. Análisis de la economía circular aplicada a residuos plásticos

### PROCESO DE TRANSICIÓN



Fuente: Unión Europea, 2018.

Imagen 5.1

La economía circular puede ser usada como una estrategia económica aplicada a la cadena de valor de un producto en específico (ver imagen 5.1). En el caso de la

industria plástica, la implementación de una economía circular yace en la integración de material recuperado o reciclado dentro de la elaboración de un producto, esta integración puede ser hasta en un 100%. Dentro del margen de una economía circular es la búsqueda de alternativas de un producto una vez que termine su vida útil buscando siempre beneficios sociales, ambientales y económicos partiendo de la disminución del uso de los recursos, reducción de desperdicios y la limitación de consumo energético.

Para que un producto sea concebido dentro de la economía circular debe ser regido bajo varios principios y cayendo en los beneficios ya antes mencionados. Dentro de los aspectos de una economía circular está el hecho de que un producto debe ser rediseñado para considerar impactos medioambientales a lo largo del ciclo de vida del producto y se debe de integrar desde la concepción así mismo la inclusión de planes de acción para la organización industrial dentro de un territorio con la gestión optimizada de stocks y flujos de materiales, energías y servicios buscando la venta de un servicio frente a un bien. Con todo lo anterior se busca el esquema completo de un producto que involucra el segundo uso, la reutilización, la reparación, el reciclaje y la valorización, es decir se debe de buscar alternativas para reintroducir un producto que ya no corresponde a las necesidades iniciales del consumidor dentro del circuito económico esto puede ser mediante la reutilización del producto o de ciertas partes que todavía puedan funcionar para la elaboración del nuevo producto, dentro de la búsqueda de la reincorporación es el rescate de aquel producto que fue desechado es decir la reparación mediante el tratamiento previo

del residuo para su posterior aprovechamiento sin dejar a un lado el desperdicio que no se pueda reincorporar buscando alternativas en un aspecto energético.

Como Ingeniero de Producto y Procesos busco incorporar cada uno de los aspectos de una economía circular a un nuevo producto es decir un rediseño del producto. Para el caso práctico manejado con anterioridad, se incorpora un 50% de material recuperado de la composición total del producto final manejando una extrusión en tres capas A, B y C siendo las capas B y A las que contendrán este material recuperado, el material recuperado es producto del desperdicio generado en el proceso de extrusión, este material es almacenado y transportado al área de recuperado de la planta en donde personal capacitado selecciona y separa cada desperdicio que llega en carácter de PP, PE, PET, PVC según sea la clasificación posteriormente es limpiado de cualquier tipo de agente extraño y es procesado para politización.

Cuando el producto de desecho es procesado en forma de pellet este es enviado al área de extrusión donde en porcentaje y de acuerdo con una formulación es mezclado con adhesivos y compuestos cálcicos, así como material virgen si es necesario y posteriormente introducido al proceso de extrusión logrando así una película termo-encogible de tres capas con material recuperado que aporta las mismas propiedades mecánicas y físicas que un material con formulación normal.

Pensar en una economía circular no solo es buscar el beneficio de la empresa responsable de la fabricación del producto, sino también el beneficio social mediante la interrogación acerca de necesidades reales buscando con ello la lucha del cambio climático y limitar el impacto ambiental por el uso de recursos.

## 6. Propuesta de mejora: Plan de estudios con base a la experiencia adquirida como IPP.

### Uso del modelo COSO

**(Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway)** para la evaluación del mapa curricular y propuesta de mejora en el plan de estudios.

El modelo COSO está diseñado para proporcionar un grado de seguridad en cuanto a las consecuencias de objetivos dentro de la eficacia y eficiencia en una operación, confiabilidad financiera y cumplimiento de las leyes, reglamento y normas aplicables. A partir de estos fundamentos se toman los objetivos de cada una de las materias competentes a la carrera de Ingeniería Química en la FES Zaragoza y se adaptan para generar el siguiente modelo basado en los 5 componentes estándares por los que se rige el COSO:

1. Ambiente de Control
2. Evaluación de Riesgos
3. Actividades de Control
4. Información y Comunicación
5. Supervisión o Actividades de monitoreo.

Agrupando cada una de las materias a partir de sus objetivos y descargados en la siguiente matriz de interrelación con respecto a 4 de las principales direcciones de una organización (ver imagen 6.1).

Interrelación		Direcciones y áreas de una organización										
		Dirección de operaciones				Dirección de finanzas			Dirección comercial		Dirección Calidad	
Semestre	Materias	Procesos	Operaciones	Proyectos	Sistemas	Contaduría	Cuentas por pagar	Nominas	Ventas	Estrategias comerciales	Laboratorios	SGC
1er Semestre	Laboratorio de ciencia básica I											X
	Matemáticas I	X	X	X								X
	Química I											X
	Seminario de problemas socioeconómicos de México					X			X			
2do Semestre	Fisicoquímica I		X									X
	Laboratorio de ciencia básica II											X
	Matemáticas II	X	X	X								X
	Química II											X
3er Semestre	Bioestadística			X					X	X		
	Fisicoquímica II		X									X
	Química III											X
	Laboratorio de ciencia básica III											X
4to Semestre	Balace de masa y energía	X	X	X								
	Fenómenos de transporte	X	X	X								
	Química Industrial	X	X	X								
	Métodos numéricos	X	X	X		X						X
	Laboratorio y taller de proyectos								X	X		
5to Semestre	Flujo de fluidos		X									
	Separación mecánica y mezclado		X									
	Diseño de equipo			X								
	Laboratorio y taller de proyectos	X										
6to Semestre	Ingeniería de servicios	X	X									
	Ingeniería eléctrica		X									
	Trasferencia de calor	X	X									
	Laboratorio y taller de proyectos		X									
7mo Semestre	Termodinámica química		X									
	Diseño de equipos y separación			X								
	Trasferencia de masa	X	X	X								
	Laboratorio y taller de proyectos		X	X								
8vo Semestre	Ingeniería de reactores	X	X	X								
	Ingeniería de proyectos			X		X				X		
	Dinámica y control de procesos	X	X									
9no Semestre	Laboratorio y taller de proyectos			X		X				X		
	Ingeniería económica	X	X	X		X				X		
	Ingeniería de proyectos			X		X				X		
	Administración de proyectos			X		X				X		
9no Semestre	Laboratorio y taller de proyectos			X		X				X		

Tabla 6.1

Se evaluó cada Dirección con respecto a la cantidad de materias que lo involucran cantidad de materias por dirección entres el número total de materias expresadas en porcentaje de participación en la tabla de resultados (Ver tabla de resultados 6.1).

Evaluación	62%	10%	14%	14%
------------	-----	-----	-----	-----

Tabla de resultados 6.1

## Matriz COSO



Gráfico 6.1

La matriz es usada para el control interno de una organización, a partir de la evaluación. En la matriz de interrelación podemos concluir que:

Gran parte de las materias que comprenden el plan de estudios de la carrera de ingeniería química están encaminados a la competitividad en el área operativa, representando el 62% de la

ponderación arrojada, por ende, la matriz COSO (ver gráfico 6.1) estará direccionada a aquellas materias que estén dentro de este porcentaje, es decir:

- Matemáticas I
- Matemáticas II
- Balance de masa y energía
- Fenómenos de transporte
- Métodos numéricos
- Ingeniería de Servicios
- Transferencia de calor
- Transferencia de masa
- Laboratorio y taller de proyectos 7mo
- Ingeniería de reactores
- Dinámica y control de procesos
- Ingeniería económica

Son materias que tienen gran impacto dentro del área de operaciones por ser esenciales en dos o más departamentos, para reforzar estas materias es necesario tomar en cuenta la siguiente matriz COSO adaptada a las necesidades que ahora surgen al ingresar al mercado laboral y que generaran valor agregado a las materias ya definidas como importantes en la operación.

En la matriz contemplé tres necesidades esenciales; Liderazgo y manejo de personal, Efectividad, trazabilidad y materiales, que complementan los tres

principales objetivos estratégicos; Operaciones, informe y cumplimiento con que generé la tabla 6.2.

COSO	Operaciones	Informe	Cumplimiento	Materias a reestructurar
Ambiente de Control	Liderazgo y manejo de personal	Efectividad	trazabilidad y materiales	Matemáticas I
Evaluación de Riesgo				Matemáticas II
Actividad de Control				Métodos numéricos
Información y				Ingeniería de Servicios
Actividad de supervisión				Balance de masa y energía
				Fenómenos de transporte
				Ingeniería de reactores
				Trasferencia de calor
				Trasferencia de masa
				Dinámica y control de procesos
				Laboratorio y taller de proyectos 7mo

Tabla 6.2

## 6.1 Conclusión

Por tanto, la propuesta es que materias como matemáticas I, II y Métodos numéricos sean orientados a; **Ambiente de control especificado** por el método COSO con el impacto en **Operaciones, Informes y Cumplimiento** a partir de la propuesta de una política de **Liderazgo y manejo de personal, Efectividad y trazabilidad y materiales**, esta será la forma de lectura de cada una de las materias evaluadas.

Para las políticas propuestas y en mi experiencia como Ingeniero de Producto y Procesos empatados con mi formación como ingeniero químico en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza propongo lo siguiente en los tres factores de formación de los nuevos Ingenieros.

### 1. Liderazgo y manejo de personal.

Uno de los factores a los que me enfrenté dentro del área operativa es el manejo de personal sindicalizado, si bien mi preparación en el área de procesos y operaciones unitarias fue cumplida por materias como Ingeniería de procesos, proyectos, LTP y dinámica y control de procesos el aspecto de



liderazgo y manejo de personal es crucial para hacer funcionar cada aprendizaje debido al enfoque total del proceso. Un proceso no solo concierne a las operaciones unitarias, equipos, materia prima y servicios sino también a las personas encargadas de la operación, operadores, ayudantes generales, personal de mantenimiento, notificadores, trasportistas, personal de limpieza, no solo es el carácter de saber cómo funciona un proceso sino también que lo hace funcionar y las responsabilidades que maneja cada uno de los operarios es decir conocer la lista de verificación que rige el perfil del personal.

## 2. **Efectividad.**

Involucrar en cada una de las materias programas de efectividad, es decir, medir la velocidad de respuesta en aspectos de proyectos y trabajos con respecto a tiempos de entrega, calidad de la entrega y velocidad de respuesta ante un suceso inminente. Basado en mi experiencia, la efectividad es la velocidad de respuesta, y la calidad en conjunto con el tiempo lo que delimita la respuesta a un problema derivando en la solución, evitando con ello posibles riesgos al producto, equipo o el personal.

La efectividad es un aspecto sumamente importante para un Ingeniero en formación ayudando a forjar imaginación, razonamiento lógico e inteligencia emocional.

## 3. **Trazabilidad y materiales.**

En este sentido es conocer de manera general y particular el origen y el final de un producto, es decir, involucrar dentro del Plan de Estudios aspectos de

investigación y origen de los productos usando como base los diagramas de flujo de procesos. En cada etapa del proceso el producto sufre cambios registrados mediante un programa o documentos de Ingeniería, son esos documentos los que le dan el carácter al material es decir el registro de resultados de laboratorio en productos semiterminados y condiciones operativas con los que se trabajó el producto, número de equipo e incluso personal responsable, todo esto involucra una trazabilidad de producto dentro de planta. Un producto puede tener más de un lote durante la etapa de producción y un lote final, esto sirve también como forma de rastreo del producto para realizar acciones correctivas si así se requiriera.

Otro aspecto importante son los materiales ya que estos son los que le dan el carácter al material. Conocer, saber y reconocer los materiales que integran un producto es de vital importancia para la elaboración de una ruta de proceso, materiales como polímeros, metales, cerámicos y compuestos, son de vital importancia para postularse en la industria debido a que son las bases de una industria.

Todos los puntos anteriormente desarrollados son fundamentales, los debe conocer y manejar un Ingeniero Químico dentro de su formación educativa con el enfoque en procesos para lograr tener un panorama más amplio de la industrial en un aspecto laboral, y que se está desarrollando en el área de operaciones como Ingeniero de producto y procesos.

## 7. Referencias

- Gardner Business Media. (septiembre 2019). Economía Circular. *Plastics Technology México*, 4, 64.
- Mark Miodownik, Sarah Scarlett. (2015). *Stuff Matters: Exploring The Marvelous Materials That Shape Our Man-made World*. EE. UU.: Mariner Books.
- Luis Francisco Ramos de Valle. (1993). *EXTRUSION DE PLASTICOS: PRINCIPIOS BASICOS*. EE. UU.: Editorial Limusa.
- MARÍA NATALIA ORTEGA LEYVA. (2018). *Hablemos de plásticos y Economía Circular*. 2019, de *Plastic Technology México* Sitio web: <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/hablemos-de-plsticos-y-econom%c3%ada-circular>
- Josiane da R. Silvano, Sabrina A. Rodrigues, Juliano Marini, Rosario E. S. Bretas, Sebastiao V. Canevarolo, Benjamim de M. Carvalho y Luís A. Pinheiro, "Effect of reprocessing and clay concentration on the degradation of polypropylene/montmorillonite nanocomposites during twin screw extrusion", *Polymer Degradation and Stability*, Volumen 98, Número 3, 2013, pp. 801-808.
- Determination of Polymers Thermal Degradation by Color Change Analysis