

EVALUACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PVC Y LOS
FTALATOS POR MATERIAS PRIMAS ATOXICAS EN LA PRODUCCIÓN DE UN
BORRADOR DE GOMA CONVENCIONAL A ESCALA LABORATORIO

ZULLY NATALIA VERA PEÑA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2020

EVALUACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PVC Y LOS
FTALATOS POR MATERIAS PRIMAS ATOXICAS EN LA PRODUCCIÓN DE UN
BORRADOR DE GOMA CONVENCIONAL A ESCALA LABORATORIO

ZULLY NATALIA VERA PEÑA

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2020

Nota de aceptación

Ing. Felipe Correa Mahecha
Jurado

Ing. Orlando Castiblanco Urrego
Jurado

Bogotá D.C., Mayo 2020.

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Iván Ramírez Marín

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a la autora.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la sapiencia, paciencia, dedicación, salud y fortaleza para afrontar los obstáculos presentados a los largo de este proyecto.

Asimismo, al Sr. VICTOR OJEDA, presidente de la empresa I.D.E.A.S por permitirme realizar las prácticas necesarias en la experimentación en el laboratorio, brindarme los recursos necesarios y la motivación en los obstáculos presentados en el proceso.

A la Ing. DIANA FONSECA de la empresa Parabor por brindarme todo el apoyo en las pruebas que se realizaron y lo materiales que se necesitaron durante el proyecto.

A la empresa QUALA S.A, gerente, jefes, colegas y colaboradores por darme su apoyo, consejos, brindarme el tiempo y la oportunidad de sacar adelante este proyecto de grado.

A los DOCENTES DEL COMITÉ DE PROYECTOS, por guiarme y corregir de manera clara y continua en este proceso.

Finalmente, quiero agradecer desde mi corazón a mi familia y amigos, por estar cada día pendiente de mí y de mi trabajo, porque sin su apoyo y motivación no hubiera sido posible salir adelante a diario, gracias a su confianza y fuerza para crecer como persona y profesional. Infinitas gracias a mi compañero de vida por soportar conmigo todo los obstáculos presentados en este proyecto, brindarme su amor incondicional, paciencia y siempre apoyarme para no desfallecer.

Gracias a quienes de alguna u otra manera aportaron a cada paso de este proyecto, por sus oraciones, consejos y energía, muchas gracias. Y sobre todo infinitas gracias a todos los que estuvieron conmigo siempre en este proceso.

CONTENIDO

	pág
RESUMEN	17
INTRODUCCIÓN	23
OBJETIVOS	25
1. GENERALIDADES	26
1.1 GENERALIDADES DEL BORRADOR	26
1.1.1 Tipos de borradores.	26
1.2 PROCESO DE MANUFACTURA	28
1.2.1 Inyección	28
1.2.2 Laminado de gomas	29
1.2.3 Extrusión.	29
1.3 MATERIAS PRIMAS DE UN BORRADOR	30
1.4 PLASTIFICANTE	32
1.4.1 Ftalatos	32
1.5 PPA	33
1.6 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	34
1.6.1 Diagrama de la línea de producción de borradores.	35
2. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	38
2.1 MATERIAS PRIMAS QUE SE BUSCAN SUSTITUIR EN EL BORRADOR CONVENCIONAL	38
2.1.1 Resina base.	38
2.1.2 Plastificantes.	45
2.1.3 Materias primas seleccionados por revisión bibliográfica.	46
2.1.4 Análisis de dureza de las materias primas.	49
2.1.5 Costo de materias primas sustitutas.	52
2.2 MATRIZ DE SELECCIÓN	53
3. ELABORACIÓN DEL BORRADOR CON EL ELASTÓMERO SELECCIONADO	55
3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL	55
3.1.1 Ejecución experimental.	56
3.1.2 Pruebas de caracterización del borrador.	58
3.1.3 Análisis y resultados.	63
4. COSTOS DE LA ELABORACIÓN DEL BORRADOR LIBRE DE PVC Y FTALATOS	66
4.1 COSTOS VARIABLES	66
4.2 COSTOS FIJOS	66
4.3 COMPARACIÓN DE COSTOS VARIABLES	68
5. CONCLUSIONES	71

6.	RECOMENDACIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA	73
	ANEXOS	78

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Formulación de un borrador convencional.	50
Tabla 2. Cantidad de materias primas utilizadas en las probetas.	50
Tabla 3. Resultados de prueba de dureza.	52
Tabla 4. Costo de materias primas	53
Tabla 5. Niveles de puntuación a los resultados de dureza.	54
Tabla 6. Escala para los costos de la materia prima.	54
Tabla 7. Matriz de selección de alternativas.	54
Tabla 8. Composición de un borrador sin PVC	55
Tabla 9. Composición de probetas con diferente concentración de elastómero.	57
Tabla 10. Resultados de dureza de las probetas con elastómero TPE.	64
Tabla 11. Formulación libre de PVC y Ftalatos.	65
Tabla 12. Costo de elaboración del borrador libre de PVC y Ftalatos.	67
Tabla 13. Costos variables de un borrador convencional.	68
Tabla 14. Costos variables del borrador libre de PVC y Ftalatos.	68

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Propiedades y estructura de las clasificaciones de elastómeros termoplásticos.	39
Cuadro 2. Plastificantes usados en la industria.	45
Cuadro 3. Equipos empleados para pruebas físicas.	63

LISTA DE ESQUEMAS

	pág
Esquema 1. Analisis de dureza	51
Esquema 2. Prueba de abrasión.	60
Esquema 3. Prueba de borrarabilidad.	61
Esquema 4. Prueba de migración.	62

LISTA DE IMÁGENES

	pág
Imagen 1. Goma moldeable.	26
Imagen 2. Goma de borrar de miga de pan.	27
Imagen 3. Goma de plástico duro.	27
Imagen 4. Goma de borrar tinta y lápiz Pelikan.	28
Imagen 5. Proceso de inyección en polímeros.	28
Imagen 6. Extrusora de tubos de PVC.	30
Imagen 7. Pellets de PVC.	31
Imagen 8. Estructura PVC.	31
Imagen 9. Molécula de ftalato.	33
Imagen 10. Localización de la empresa.	34
Imagen 11. Estructura de EVA	44
Imagen 12. Morfología compuesto TPE.	47
Imagen 13. Pellets de TPE.	47
Imagen 14. Estructura del compuesto TOR	48
Imagen 15. Pellets de TOR	48
Imagen 16. Estructura del TR	49
Imagen 17. TR en pellets	49
Imagen 18. Probetas realizadas en el laboratorio.	50
Imagen 19. Durómetro Shore A.	51
Imagen 20. Extrusora Monohusillo referencia Eurotecno E4535.	57
Imagen 21. Probetas realizadas con TPE.	58
Imagen 22. Prueba de borraridad a las probetas con TPE.	64

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Hoja de seguridad del sbs	79
Anexo B. Hoja de seguridad del TR.	80
Anexo C. Hoja de seguridad del TOR.	81

LISTA DE ABREVIACIONES

PVC	Policloruro de Vinilo.
TOR	1,5-ciclo-octadieno.
TPE	Elastómero de estireno-butadieno-estireno.
TPS	Almidón termoplástico.
SBS	Elastómero de estireno-butadieno-estireno.
SEBS	Elastómero de estireno-etileno-butadieno- estireno.
SIS	Elastómero de estireno-isopreno-butadieno-isopreno.
SEPS	Estireno-etileno-propileno-estireno.
PHR	Partes por resina – caucho.
PPA	Ayudas de proceso.

GLOSARIO

AYUDANTE DE PROCESO: es una mezcla encontrada en el mercado compuesta por diferentes productos que dentro de su funcionalidad actúan como lubricante, humectante y estabilizante térmico.¹

BORRABILIDAD: es la prueba donde se evidencia la calidad del borrado, esta se realiza utilizando el borrador para eliminar marcas específicas de grafito.²

BORRADOR: objeto de goma utilizado para eliminar grafito en diferentes superficies principalmente papel.³

CARGA: es el compuesto que le proporciona cuerpo y compactación al borrador.⁴ Para las formulaciones de borrador se utiliza el carbonato de Calcio.

COPOLÍMERO: polímero conformado por dos monómeros.⁵

DADO: es un tipo de molde que controla la forma del material extruido, este se ubica al final del equipo de extrusión.⁶

DIOXINAS: son sustancias químicas tóxicas derivadas de los compuestos organoclorados.⁷

DUREZA: es la resistencia que un cuerpo opone a ser rayado o penetrado por otra. Esta dada en unidades de SHORE A o D para materiales flexibles.⁸

ELASTÓMERO: son materiales formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos ligeramente reticulados, con características de alta elongación y

¹ ARISMEDI, Johan,RUIZ,Cindy. Desarrollo de una propuesta para la producción de borradores libres de policloruro de vinilo (pvc), en la empresa Pelikan Colombia S.A.S.[en línea]. Proyecto de grado para el título de ingeniero Químico.Universidad de América. Bogotá D.C. 2019.[Consultado el 20 de septiembre de 2019]. Disponible en:

² Ibid.p.20

³ PEREZ,J.,GARDEY,A.Definición de borrador.[en línea].2016.[Consultado el 18 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://definicion.de/borrador/>.

⁴ ARISMEDI,J.RUIZ,C.Op.Cit,p.20.

⁵ Textos científicos.Copolímeros y terpolímeros.[en línea]. 2005.[Consultado el 18 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/copolimeros>.

⁶ Todo en polímeros. Procesos de extrusión.[en línea].[Consultado el 20 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-extrusion/>.

⁷ CRUZ,A.,MORENO,G.,LARA,M.Toxicología de las dioxinas y su impacto en la salud humana.[en línea].Revista de medicina veterinaria N°19.Fecha de publicación: 26 de febrero de 2010.[Consultado el 20 de septiembre de 2019]. Disponible en:http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n_19/n19a07.pdf.

⁸ MEXPOLIMEROS.Dureza.[en línea].[Consultado el 20 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/dureza.html>.

flexibilidad.⁹

MIGRACIÓN: es la acción que tiene el humectante para salir del borrador y quedar impregnado en una superficie.¹⁰

PELETIZADO: es un proceso que consiste en llevar una materia o mezcla de materiales a gránulos, trozos o cortado en pequeñas partes (material reciclado).¹¹

PIGMENTO: es una sustancia que da color en un medio en el cual es insoluble, por lo cual debe ser dispersado sobre el medio.¹²

RESINA BASE: es el compuesto que se ingresara a la formulación responsable de borrar.¹³

RESISTENCIA EN VERDE: es la resistencia mecánica a la aglomeración previo a las operaciones de prensado y sintetizado.¹⁴

TERPOLÍMERO: polímero conformado por tres bloques (monómeros).¹⁵

VULCANIZACIÓN: es el proceso mediante el cual se adiciona azufre a proceso de fabricación de borradores para curarlo, generando elasticidad, y resistencia a la intemperie.¹⁶

⁹ JUAREZ, D.BALART,R.FERRADIZ,S.GARCIA,D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia.[en línea].2012, p. 1-22.[Consultado el 18 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/08/2.clasificacion-elastomeros.pdf>.

¹⁰ ARISMEDI,J.RUIZ,C.Op.Cit,p.20.

¹¹ MALMA,Antonio.Peletizado de polímeros.[en línea].2013.[Consultado el 20 de septiembre de 2019].Disponible en: <https://es.slideshare.net/antonioEgoavilmalma/peletizado-de-polmeros>

¹² BELTRAN,M.MARCILLA,A.Tipos de plásticos.Tecnología de polímeros.[en línea].p,79.[Consultado el 24 de septiembre de 2019].Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>

¹³ ARISMEDI,J.RUIZ,C.Op.Cit,p.20.

¹⁴ MORRAL,F.JIMENO,E.MOLERA,P.Metalurgia de los polvos.En: Metalurgia general II.Vol 2.ISBN: 84-291-6073-6.Barcelona.Editorial Reverté S.A.2004.977-1021.

¹⁵ Textos científicos.Copolimetros y terpolimeros.[en línea]. 2005.[Consultado el 18 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/copolimeros>.

¹⁶ Desqbre.La vulcanización del caucho.[en línea].[Consultado el 24 de septiembre de 2019].Disponible en: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/descubrimientos/la-vulcanizacion-del-caucho/>.

RESUMEN

Actualmente los borradores de la empresa I.D.E.A.S se elaboran a partir de PVC y plastificantes, estos dos productos presentan efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana, sin embargo, el desempeño del producto es bueno y los costos son bajos.

En los mercados europeos implementaron normativas que eliminan los productos que contengan PVC en su composición. Al querer llegar a este mercado se hace necesario reemplazar estos componentes por otros que no tengan implicaciones con el medio ambiente ni representen un riesgo a la salud pero conservando la misma calidad que tienen los borradores del PVC.

Para esto se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar que materias primas sustituyen tanto a los ftalatos como el PVC, seguidamente se seleccionó un elastómero termoplástico por medio de una matriz de selección, se estableció una formulación para el nuevo borrador libre de PVC y ftalatos y por último se realizó una estimación de costos de elaboración del borrador libre de PVC y Ftalatos.

En conclusión, es posible sustituir el PVC y los ftalatos totalmente como materia base (resina base) en la fabricación de borradores, para esto se utiliza un elastómero que posee las propiedades similares al caucho garantizando una calidad de borrado.

Palabras clave: borrador, PVC, Ftalatos, elastómeros, dureza, extrusión.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la evaluación de la sustitución parcial o total del PVC y los ftalatos por materias primas atóxicas en la producción de un borrador de goma convencional. Las materias primas tóxicas en un borrador son el PVC y los ftalatos, para su sustitución se debe entender cuál es su función y sus principales características. El PVC es utilizado como base de la goma de borrar (constituye el 20-30% del borrador) y es ampliamente implementado por que resiste el desmoronamiento y no rasga el papel de la manera en que un borrador tradicional podría hacerlo basado en goma abrasiva. Además son fáciles de cortar y de moldear con un cuchillo, proporcionando piezas pequeñas y bordes afilados para borrar los detalles finos.

Actualmente a las empresas dedicadas a los borradores de goma no se les está exigiendo un cambio inmediato de sus procesos dado que; se están atacando los materiales plásticos que cruzan con alimentos porque son los de mayor consumo y por ende mayor tasa de residuos contaminantes. Con la intención de incursionar en el mercado de las multinacionales, la empresa I.D.E.A.S busca ftalatos sean competir en dicho mercado con la idea de un borrador atóxico, en el cual el PVC y los reemplazados de los componentes que tiene un borrador convencional por materias primas atóxicas.

Para dar más flexibilidad (borradores más blandos) y durabilidad al producto se le adiciona Ftalatos, el cual es un ácido nocivo para la salud del ser humano porque tienen efectos tóxicos importantes (no de forma aguda, sino con el paso del tiempo), concretamente en el sistema hormonal", argumenta Luis Domínguez-Boada, profesor de toxicología de la facultad de Medicina de la Universidad Las Palmas de Gran Canaria.¹⁷

Otra alternativa de solución es competir con un borrador de miga de pan como los que produce la empresa Alemana Faber-Castell, que son amigables con el medio ambiente, el único inconveniente de este borrador es que su cantidad de residuo aumenta al entrar en contacto con el papel al momento de borrar y que si no se elimina en su totalidad este residuo antes de volver a escribir genera una mancha en el papel; según bibliografía revisada, sin embargo la empresa I.D.E.A.S entraría a competir con una empresa muy consolidada y reconocida como es Faber- Castell y no se logrará el objetivo planteado de incrementar las ventas.

En Colombia, la industria dedicada a la fabricación de borradores tiene alta competencia en el mercado. Por ende estas empresas buscan diariamente ser líderes del mercado y reaccionar ante los cambios de las demás organizaciones; al

¹⁷ EL MUNDO. Ftaltos, los toxicos que no desaparecen.[en línea].Madrid.La entidad.[Consultado el 26 de septiembre de 2019].Disponble en: https://www.elmundo.es/salud/2014/01/16/52d80d7922601_dbc498b456b.html

igual que el cambio ambiental del planeta.

Actualmente la empresa ideas fábrica 192.000 unidades de borrador al año y no realiza exportaciones. Debido a que el 14 de Mayo China deja de exportar borradores a Estados Unidos por un incremento de aranceles, es donde se encuentra la oportunidad de incursionar en las exportaciones a una potencia mundial pero para ello se debe garantizar que el borrador no contenga Ftalatos debido a que el producto deja de ser atractivo por estar prohibida esta sustancia en los elementos en contacto con niños. Por lo tanto esta idea emprendedora va enfocada a un fin comercial para incrementar el número de clientes y por ende sus ventas.

Por lo tanto es de vital importancia que las empresas se incorporen en el papel de cuidar el medio ambiente y poner a sus equipos de investigación y desarrollo a crear nuevos materiales, procesos amigables con el medio ambiente, atóxicos y que suplan las necesidades de la sociedad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la sustitución parcial o total del PVC y los ftalatos por materias primas atóxicas en la producción de un borrador de goma convencional a escala laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar las materias primas que sustituyen al PVC y los ftalatos.
- Establecer las formulaciones con las materias primas atóxicas que reemplace el PVC y los Ftalatos a través de un desarrollo experimental.
- Determinar los costos de elaboración del borrador con las materias sustitutas.

1. GENERALIDADES

El desarrollo de una propuesta para la sustitución del PVC y Ftalatos (plastificante) como materia prima de los borradores, requiere conocer previamente la temperatura de trabajo, dureza, estructura del PVC, incluyendo propiedades, clases y todas las variables que se ven involucradas en el proceso de fabricación, de igual forma para los ftalatos se necesita entender porque se utiliza y las diferentes propiedades que este otorga al producto.

Igualmente se requiere una revisión bibliográfica de las diferentes posibilidades que por su similitud pueden ser una alternativa para el reemplazo del PVC y los ftalatos, conociendo la disponibilidad en el mercado y sus propiedades.

1.1 GENERALIDADES DEL BORRADOR

En los años 70 se utilizaba el látex como materia prima del borrador, debido a sus desventajas de poca estabilidad en los cambios de clima, olor desagradable en su descomposición y un proceso adicional de vulcanización para evitar las dos desventajas anteriores, el proceso de fabricación de los borradores realiza un cambio en su formulación en los años 90 reemplazando el látex por el policloruro de vinilo (PVC) cuya materia prima sigue primando actualmente.

1.1.1 Tipos de borradores. A continuación se enuncian las clases de borrador que se encuentran en el mercado:

- **Goma moldeable:** es una goma plástica que permite darle la forma que se necesite, dado que esta permite ser transformada, estirada o aplanada. Esta no se desase al ser frotada contra el papel.¹⁸

Imagen 1.Goma moldeable.



Fuente: CROMARTIR. Goma moldeable lyra.[en línea]. Disponible en: <https://www.cromarti.cl/lyra-goma-moldeable-con-caja> .Consultado 3 de abril 2019.

¹⁸ Ecured.Goma de borrar.[en línea]. 2011.[Consultado el 14 de abril de 2019].Disponible en: https://www.ecured.cu/Goma_de_borrar

- **Goma de miga de pan:** son buenos para trazos suaves. Se elabora con un caucho sintético poco flexible, generan viruta al momento de emplearse, de esta forma eliminan el grafito del papel. Son débiles y no daña la superficie del papel.¹⁹

Imagen 2.Goma de borrar de miga de pan.



Fuente: BARNA ART.goma de borrar milan 4020 ..[en línea]. [Consultado 5 de abril 2019]. Disponible en: <https://www.barna-art.com/gomas-de-borrar-copy/milan-goma-de-miga-de-pan-modelo-4020>

- **Gomas de plástico duro:** tiene una textura más dura, es un material que perdura dado que se desgasta menos. Es perfecta para trazos suaves y medios. Produce tiras pequeñas, es similar a la miga de pan, pero no produce tanta viruta.²⁰

Imagen 3.Goma de plástico duro.



Fuente: BARNA ART.Gomas de borrar. ..[en línea]. [Consultado 5 de abril 2019] Disponible en <https://www.barna-art.com/gomas-de-borrar>.

- **Gomas de borrar tinta:** en su composición este material es más abrasivo, es decir, desgarrara la capa más superficial del papel arrastrando la marca de tinta. Su principal desventaja es que daña el trozo del papel donde se encuentra la tinta que se borra.²¹

¹⁹ Ibid.

²⁰ Ibid.

²¹ Ibid.

Imagen 4.Goma de borrar tinta y lápiz Pelikan.



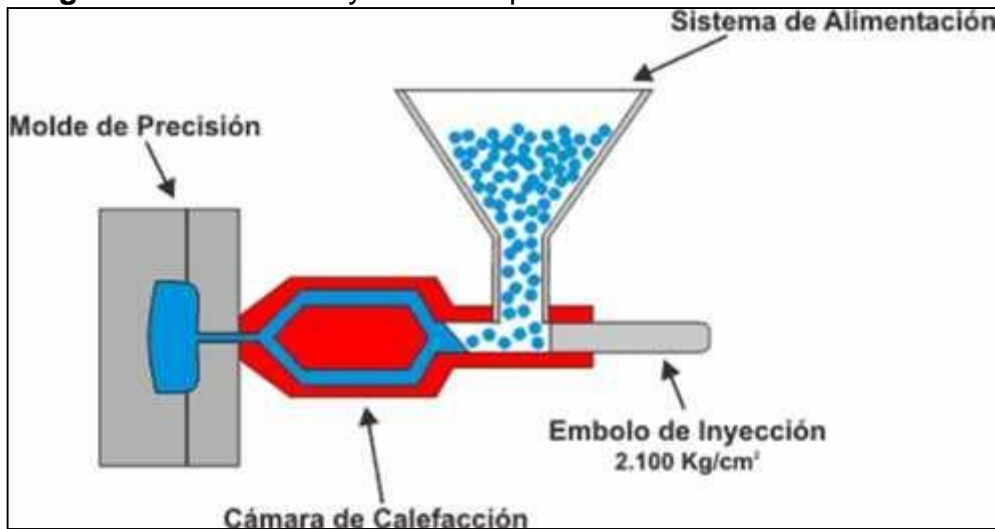
Fuente: PELIKAN. Borrador BR 40 para tinta.[en línea]. [Consultado 5 de abril 2019]. Disponible en: <https://papeleria-tecnica.net/gomas-para-tinta-china/>.

1.2 PROCESO DE MANUFACTURA

Los plásticos o polímeros son la materia prima para elaborar borradores, y tienen 3 procesos de fabricación.

1.2.1 Inyección. Es un proceso semicontinuo, consiste en ingresar el material peletizado en una tolva, este lo llevara a un cilindro donde se calentará, allí hay un tornillo sin fin que empuja el material para ser inyectado a alta presión en un molde y así darle forma, para luego ser refrigerado. Este proceso es utilizado en la fabricación de artículos versátiles o con geometrías complejas.²²

Imagen 5.Proceso de inyección en polímeros.



Fuente: TEXTOS CIENTÍFICOS. Proceso de Inyección.[en línea]. [Consultado 25 de agosto 2019]. Disponible en: www.textoscintificos.com/polimeros/moldeado.

²² GARRIDO,P.LOPEZ,E.ZARANDIETA,F.Tecnicas empleadas para la fabricacion de los plásticos.[en línea].[Consultado el 25 de agosto de 2019].Disponible en: http://contenidos educarex.es/mci/2009/43/TEMA2/tcnicas_empleadas_en_la_fabricacin_de_los_plsticos.html

1.2.2 Laminado de gomas. Es un proceso continuo a través de rodillos que se encuentran en serie y presentan un perfil de temperatura dependiendo del tipo de material. Se homogeniza el material por medio de cuatro rodillos, se genera una pasta uniforme dependiendo del rodillo que proporciona un espesor determinado²³; al obtener las láminas, son llevadas a un proceso de moldeo por compresión con un molde precalentado, allí se aumenta el espesor del material al añadir en el molde varias laminas, debido a que por la temperatura y la presión el material obtiene la forma requerida por el molde.²⁴

1.2.3 Extrusión. Proceso que se puede llevar a cabo de forma directa e indirecta; donde el polímero, entra a una cámara de compresión en la cual se encuentra un tornillo que lo transporta, funde y lo comprime obligándolo a salir a través de una boquilla (dado), con las especificaciones del perfil que se desea.

El proceso de extrusión en la forma directa, el material va en la misma dirección del tornillo, considerando así que la mezcla se desplaza con respecto a la cámara de compresión durante el proceso y la presión se da en función de la longitud del material.

La extrusión indirecta, donde el dado se encuentra ensamblado en una bomba hidráulica el cual al generar la presión lleva a cabo la extrusión de acuerdo con la cantidad de material que se encuentre en el contenedor.

Las extrusoras más empleadas en la industria contienen uno o dos tornillos (husillos), que rotan dentro de un tambor a altas temperaturas, generando así la presión y el moldeo para las diferentes aplicaciones.

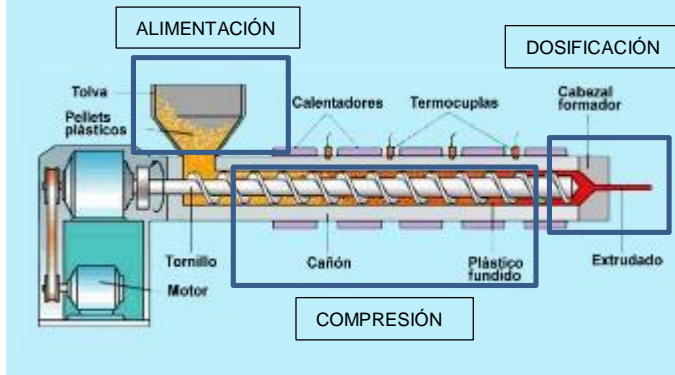
El proceso consta de tres zonas: alimentación, donde se recibe los gránulos (pellets) provenientes de la tolva, y se conducen en sentido del canal del husillo; compresión, en la cual se reduce la densidad de la mezcla retirando los excesos y dosificación donde se bombea el material líquido a través del dado para que adquiera la forma de la boquilla.²⁵

²³ TORRES, Fernando. Polímeros: Proceso de manufactura y diseño. Parte 1: Termoplásticos. Revista de Química. Vol. 13, N° 1. Manchester, Reino Unido: Universidad de Manchester Instituto de Ciencia y Tecnología (UMIST), 1991. p. 1- 14.

²⁴ TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS.Moldeo por compression.[en línea].2011.[Consultado el 25 de Agosto de 2019].Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-compresion.html>

²⁵ WYPYCH, George. Handbook of Plasticizers. Segunda Edición, Toronto.Editorial ChemTec Publishing.2012. p. 50-110.

Imagen 6. Extrusora de tubos de PVC.



Fuente: TECNOLOGÍA DE LOS PASTICOS. Extrusora de materiales plásticos.[en línea]. [Consultado 20 de agosto 2019]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

El proceso de extrusión es el método actual de fabricación de borradores y se emplean las siguientes materias primas.

1.3 MATERIAS PRIMAS DE UN BORRADOR

Un borrador convencional está compuesto por PVC, ftalatos, carbonato de calcio, pigmento, humectante y estabilizantes.

1.3.1 Policloruro de vinilo (PVC). El PVC es considerado el termoplástico más antiguo y fue el reemplazo del caucho natural en el aislamiento de cables; este es un polímero polar que contiene cristales en su estructura, presenta una temperatura de transición vítrea de 80°C, que se reduce con el plastificante, permitiendo que el material sea versátil.²⁶

²⁶ CHAUDHARY, BI; LIOTTA, CI; COGEN, JM; GILBERT, M. Plasticized PVC. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2001 1-3p

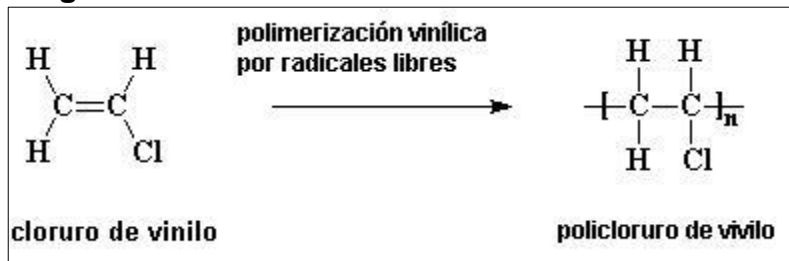
Imagen 7. Pellets de PVC.



Fuente: POLYMER PVT LTD.PVC pellets. [en línea]. [Consultado el 5 de abril 2019.].Disponible en: <http://www.pvcfootwearcompounds.com/pvc-pellets.html>

Se obtiene a partir de la polimerización del cloruro de vinilo, el cual es un monómero que mediante una reacción de adición en donde se lleva a cabo la apertura del doble enlace permite la vinculación de una nueva molécula homónima, aumentando su peso molecular y la rigidez de la estructura para obtener el polímero.

Imagen 8. Estructura PVC.



Fuente: TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Polimerización del cloruro de vinilo. [en línea]. [Consultado el 23 de marzo de 2020].Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/pvc.html>.

- **Propiedades.** El PVC se puede mantener en fase sólida al agregarle diferentes aditivos o puede ser completamente flexible, debido a la versatilidad del compuesto.

La durabilidad es uno de los factores que hace al PVC debido a su estructura molecular, donde el cloro genera que sea altamente resistente a las reacciones oxidativas, por lo cual, se emplea para tuberías con una vida útil de 35 años.

El desarrollo de un material termoplástico depende de la viscosidad de este, el PVC con una viscosidad $10^3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ²⁷ no es adecuado para procesos de inyección que

²⁷ BURKLE.Materiales plásticos.[en línea]. [Consultado el 29 de marzo de 2020].Disponible en:https://www.buerkle.de/files_pdf/wissenswertes/propiedades_de_materiales_plasticos_es.pdf.

deben ser $>10^3$ Pa.s por tanto, se emplea en procesos de extrusión por su estabilidad térmica.

El PVC es compatible con sustancias como alcoholes alifáticos, hidrocarburos alifáticos, ácidos débiles, fuertes y álcalis, por ser amorfo; cuando se asocia con otros componentes le genera flexibilidad, elasticidad, resistencia al impacto, anticrustantes, prevención del crecimiento microbiano y retardante de llama.²⁸

Existen dos clases de PVC, rígido y flexible, para la elaboración de borradores se utiliza el PVC flexible que es un PVC plastificado, apto para componentes moldeados, al mezclarse con plastificantes.

1.4 PLASTIFICANTE

Esta sustancia le otorga flexibilidad a un material plástico o un elastómero, facilitando su procesamiento, reduce la viscosidad del fluido, disminuye la temperatura vítrea o el módulo elástico del fluido.²⁹ La temperatura vítrea (T_g) es la temperatura en la cual un polímero amorfo transforma sus propiedades de rígido y quebradizo a flexible y blando.³⁰

Se clasifican en: ésteres, ftalatos, parafina cloradas, Adipato, maleatos; de acuerdo a su composición química.

1.4.1 Ftalatos. Son ésteres derivados del ácido ftálico, los cuales son usados en diversos procesos como alimentos, farmacéutico, perfiles y entre otros; estos son de alta eficiencia y empleados en proporciones muy bajas con respecto a la resina, base del producto.³¹

Las aplicaciones dependen directamente de la química de estos, se emplea como aditivo de plásticos flexibles, especialmente en PVC, representan el 92% de los plastificantes empleados en el mundo, divididos en cuatro grupos: el dietil-hexil-ftalato (DEHP) con un 51%, ftalato de diisodécilo (DIDP) con el 21%, ftalato de diisononilo (DINP) con un 11% y por último el di-2-etilhexilo (DEHP) más conocido como ftalato de dioctilo (DOP) con un 17%, estos tipos de aditivos son utilizados por su versatilidad y la capacidad de adaptarse a los diferentes materiales, sin alterar sus propiedades.³²

²⁸ PATRICK. Stuart.; PVC Compounds and processing. Vol 2.Number 3.2004.ISBN 1-85957-472-6. p.3-4.

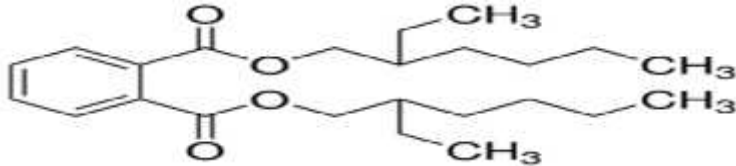
²⁹ BELTRÁN, MI y MARCILLA , A. Op.Cit.,p.65

³⁰ MEXPOLIMEROS.Temperatura de transición vítrea.[en línea],[consultado el 23 de marzo de 2020].Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/tg.html>.

³¹ Ibid.

³² BUSTAMANTE, Patricia. LIZAMA, Beatriz. OLAÍZ, Gustavo. VÁZQUEZ F.; Ftalatos y efectos en la salud. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 17, N° 4. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2001. p. 208-215

Imagen 9. Molécula de Ftalato.



Fuente: MERCK. Diethyl phthalate. [en línea]. [Consultado 5 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/d201154?lang=en®ion=CO>

El uso de Ftalatos ocasionan daños en el medio ambiente, durante la vida útil y al momento de convertirse en residuo³³, la toxicidad depende del peso molecular; algunos son adsorbidos por afluentes y suelos; también llegan a presentar problemas en los seres humanos (embarazadas), afectándolos en la etapa de gestación, pueden generar problemas pulmonares a los operarios que se ven involucrados en el procesamiento de este material.

1.5 PPA³⁴(*Polymer Process Aids*)

Estos ayudantes se encuentran en muy bajas concentraciones, alrededor de 100 a 1000 ppm, se añaden en el masterbatch con presencia del 2- 3%³⁵ y se agregan para modificar y mejorar las propiedades físicas y de manufactura. Algunos ayudantes son³⁶:

- **Carga:** Se agrega para permitir la producción de un gran volumen de polímero con una cantidad pequeña de resina.
- **Lubricantes:** se agrega para facilitar el procesamiento y mejorar la apariencia del producto final.
- **Colorantes:** Se adiciona un compuesto que no se deteriore con los efectos de la intemperie, firme a la luz, temperatura y ambiente.
- **Retardadores de llama:** se agrega para reducir la inflamabilidad del producto.

³³ GREENPEACE. Ftalatos (Esteres de ftalatos). [en línea].2003.[Consultado 20 de Agosto de 2019].Disponible en <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/ftalatos-esteres-de-ftalato.pdf>.p.1-4

³⁴ LINGUEE. Polymer Process Aids. [en línea]. [Consultado 20 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.linguee.cl/ingles-espanol/traduccion/polymer+production+aids.html>.

³⁵ ERASMO, D. ¿Que son los aditivos auxiliares para procesamiento de polímeros?.[en línea] .2004. [Consultado 25 de mayo 2019].Disponible en <http://www.plastico.com/temas/Que-son-los-aditivos-auxiliares-para-procesamiento-de-polimeros+3031683>.

³⁶ MATERIALES POLIMÉRICOS Y COMPUESTOS. Curso de fundamentos de ciencia de materiales.[en línea].[Consultado 30 de agosto 2019]. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_8.html

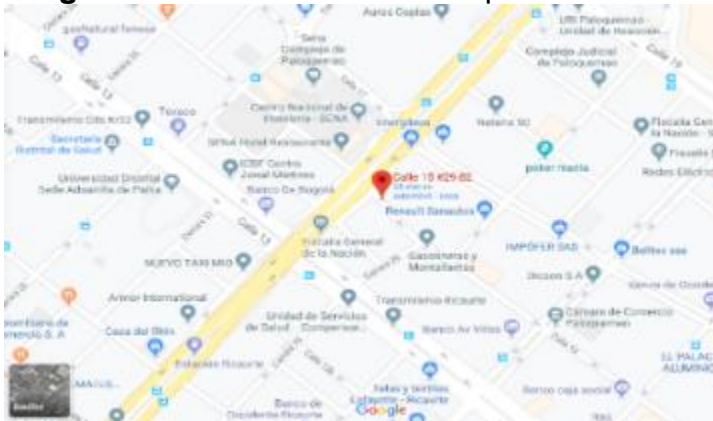
- Estabilizante térmico: Impide la degradación del polímero.
- Estabilizantes UV: Afirman el color, prologan su duración, evitando el amarillamiento.
- Antioxidantes: Protege contra el deterioro del ambiente como calor, luz y agentes orgánicos.³⁷
- Encadenante transversal: optimiza el proceso de producción, mejora las posibilidades de reciclado.

1.6 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa I.D.E.A.S. es una microempresa que se dedica a la elaboración de borradores, cableado de PVC, argolladoras y juguetes para mascotas. Está ubicada en la Calle 15 #29-82, cerca al centro comercial Calima.

Actualmente la empresa cuenta con una línea de producción de borradores que elabora 192.000 unidades anuales, una línea de argolladoras que produce de acuerdo a demanda (aproximadamente 200.000 unidades anuales) y una línea tercerizada de inyección para la fabricación de juguetes para perros de 120.000 unidades anuales.

Imagen 10. Localización de la empresa.

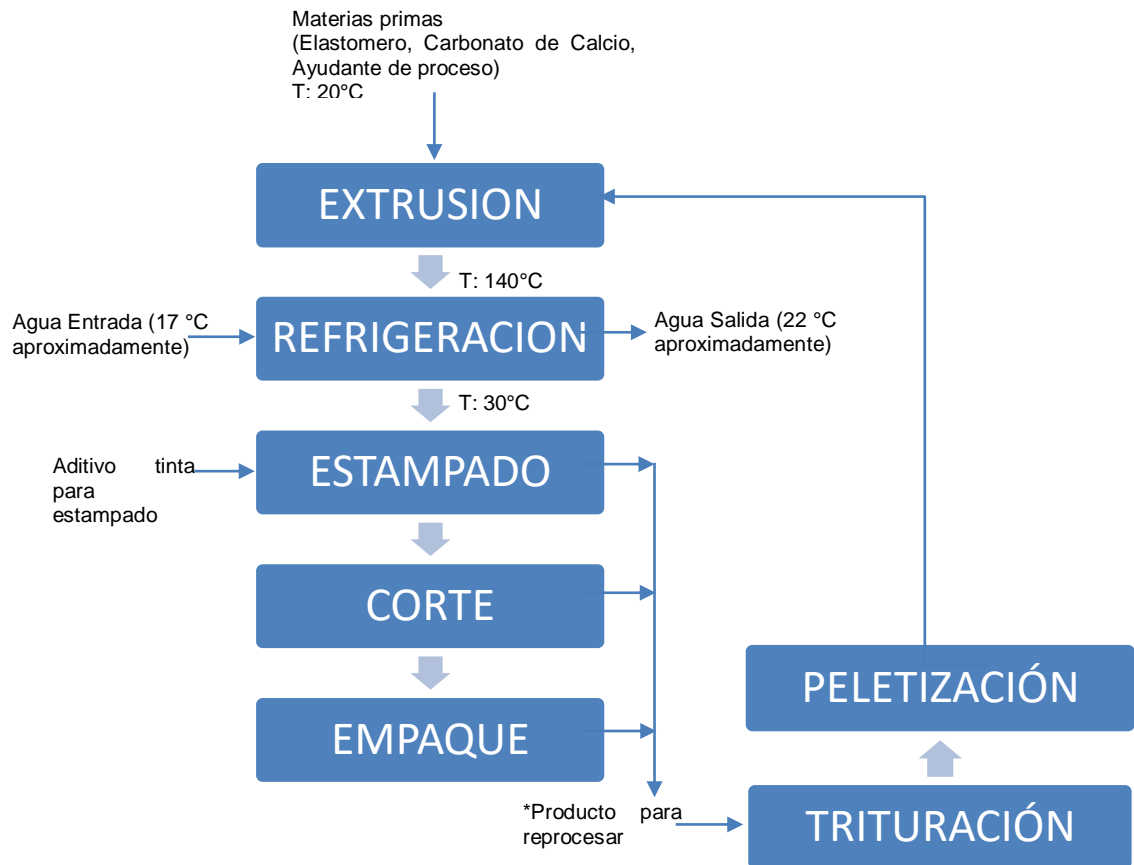


Fuente: IDEAS.google map. [En línea].[Consultado 29 de Septiembre 2019]. Disponible en: [google.com/maps/place/Ci.+15+%2329-82,+Bogotá@4.614976,-74.0927988,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e3f996e4ad5c10b:0x6e42dbde664a44f8!8m2!3d4.6148923!4d-74.0906101](https://www.google.com/maps/place/Ci.+15+%2329-82,+Bogotá@4.614976,-74.0927988,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e3f996e4ad5c10b:0x6e42dbde664a44f8!8m2!3d4.6148923!4d-74.0906101).

³⁷ HERRERA, F. Ciencia de los polímeros. Aditivos en polímeros [en línea].[Consultado 20 de mayo 2019]. Disponible en [http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polímeros/TEMA02_Aditivos %20en% 20los %20 polimeros .pdf](http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polímeros/TEMA02_Aditivos%20en%20los%20polimeros.pdf).

I.D.E.A.S, cuenta con 8 años de experiencia en el Ecuador y 1 año en Bogotá generando productos de calidad. Actualmente en su oferta de productos se encuentra, con una línea de producción de borradores, los cuales son elaborados a partir de PVC, resina base, ftalatos plastificante y otros aditivos.

1.6.1 Diagrama de la línea de producción de borradores.



Fuente: elaboración propia.

*El producto para reprocesar es todo aquel que no cumpla con las especificaciones en la unidad de extrusión y dureza. Este producto pasa a un proceso de trituración y peletización realizado por medio de un tercero.

- **Extrusión.** Se emplea una extrusora que cuenta con un sistema monohusillo en forma de espiral fabricado en acero inoxidable y garantiza un perfil de velocidad constante y un flujo de material continuo.

El equipo cuenta con cuatro zonas de calentamiento conformadas por resistencias incorporadas que permiten rangos de temperatura entre (80-170)°C, estas

temperaturas varían de acuerdo a la dureza del material utilizado. El equipo cuenta con una tolva de alimentación que desemboca en un cilindro que incrementa su temperatura al atravesar las cuatro zonas, el material se compacta, pasa al dado (proceso de moldeo) y sale por un molde de un diámetro de 1cm.

- **Refrigeración.** Este proceso se lleva a cabo en un canal de refrigeración que está hecho de acero inoxidable, empleando como refrigerante agua a temperatura ambiente. La refrigeración permite la reducción de temperatura al producto, debido a que sale del proceso de extrusión a una temperatura aproximadamente de 140°C y se requiere a una temperatura de (27-30) °C para continuar con el proceso de estampado. Para lograr esta disminución de temperatura se garantiza el flujo constante de agua suministrada al canal a una temperatura de entrada de 17°C y de salida de 22°C
- **Estampado.** Se emplea un sistema de marcado o estampado, el cual cuenta con almohadillas que son cargadas de tinta, mediante rodillos, para efectuar un marcado tanto en la cara superior como inferior del borrador, también tiene un sensor de movimiento en donde se establece la longitud del borrador a estampar y posteriormente a cortar.

El proceso se realiza a temperatura ambiente con tinta permanente de secado rápido. Este aditivo es suministrado por un proveedor de la empresa.

- **Corte.** Se realiza mediante una guillotina mecánica la cual cuenta con un sensor de luz, que registra la posición del marcado previamente realizado, para seccionar el borrador a la longitud de la referencia elaborada.
- **Empacado.** Consiste en el armado de las unidades por corrugado según la presentación a comercializar, se realiza de forma manual por el operario de la empresa.

En la actualidad la empresa quiere exportar el producto llegando a mercados europeos en donde se manejan normas como la REACH³⁸, que establece que los productos hechos a base de polímeros para uso cotidiano deben estar libres de PVC y plastificantes.

La empresa busca establecerse en el mercado, aumentar su oferta de productos a nivel nacional e internacional y para ello es necesario innovar en sus productos como el borrador y sustituir las materias primas que impiden la exportación del mismo como lo son el PVC y los ftalatos.

³⁸ LA COMISION EUROPEA.Diario oficial de la unión Europea.Reglamento (UE) 2015/1125 de la comisión de 10 de Junio de 2015.Contenido máximo de hidrocarburos aromáticos políclicos en katsuobushi (bonito seco) y determinados arenques del Báltico ahumados.Bruselas.2015. 1-4.

Por lo tanto, se requiere el desarrollo de proyecto de investigación en el cual la metodología contemple una revisión bibliográfica de posibles sustitutos, un desarrollo experimental para establecer la formulación y por ultimo una estimación de costos de elaboración para compararlo frente a los borradores del mercado. Para esto se requieren conocimientos sobre propiedades de materiales, métodos de obtención de polímeros, análisis de datos, conceptos generales de interacción fisicoquímica y procesos químicos. Adicional a esto entender el proceso de elaboración de borradores que realiza la empresa IDEAS. Estos requerimientos son los impartidos a los estudiantes de Ingeniería Química de la Fundación Universidad de América y a la práctica de este proyecto en la empresa IDEAS.

2. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Este apartado del capítulo consiste en la selección de materias primas partiendo de una revisión bibliográfica de compuestos que presentaron similitudes al PVC y los ftalatos. Inicialmente, se identificó la función del PVC y los Ftalatos en un borrador y sus principales características. Seguidamente se realizó una pre selección de materias primas por revisión bibliográfica, se fabricaron probetas de esas materias primas para hallar su dureza por medio del procedimiento que describe la ASTM D2240. Por último, estos valores de dureza y el costo de la materia prima serán los criterios que ingresarán a la matriz de selección para determinar las materias primas a utilizar en el segundo objetivo de este proyecto.

2.1 MATERIAS PRIMAS QUE SE BUSCAN SUSTITUIR EN EL BORRADOR CONVENCIONAL

El borrador de goma convencional según la formulación de la empresa IDEAS está compuesto por 45% m/m de PVC y Ftalatos, 50% m/m de carbonato de calcio y el 5% m/m el restante de materias primas (lubricante, humectante, estabilizante térmico, ayudante de proceso y color). Para realizar la búsqueda de materiales similares al PVC y los ftalatos se tuvo en cuenta las principales características y funciones de estas materias primas descritas en el capítulo anterior.

Por lo tanto es necesario identificar materiales elastómeros termoplásticos, con resistencia a la oxidación, versatilidad, flexibles y fácil manejo para ser utilizados en procesos de extrusión. Con estas características se encuentran las siguientes opciones:

2.1.1 Resina base. Este material es el encargado de generar el borrado en el producto, por ello, se busca un material flexible como el caucho natural y así evitar el uso de plastificantes (el plastificante se usa para transformar un material rígido a flexible), debe ser un material de fácil manejo y resistente a la temperatura para ser procesado por extrusión. Las propiedades a tener en cuenta son la dureza, temperatura de proceso y resistencia a la intemperie o agentes orgánicos.

Es recomendado utilizar un copolímero de tres bloques o de dos, entre los cuales debe existir un elastómero de tipo butadieno y un elastómero acrílico.³⁹

Teniendo en cuenta estas especificaciones se buscan elastómeros termoplásticos, los cuales presentan un comportamiento elástico y al elevar su temperatura se vuelven blandos y moldeables. El producto puede ser reprocesado y reciclado en

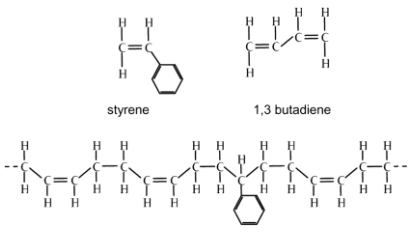
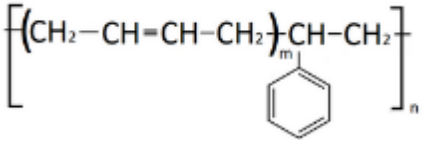
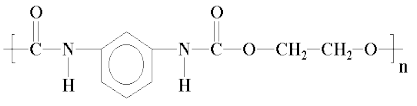
³⁹ WIPO. Composición del borrador libre de PVC .[en línea]. Inventores: SONG, Ha-Kyoung, KANG, Sung-Cho, KANG, Gwan-Ho. Fecha de solicitud: 31/03/2010. Corea. Patente de investigación. WO/2011/122719. Fecha de publicación: 06/10/2011. [Consultado el 18 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://patentscope .wipo. int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011122719>.

su totalidad⁴⁰ minimizando la merma del proceso. Los métodos más frecuentes para su transformación son la extrusión e inyección.⁴¹

La clasificación de los elastómeros termoplásticos se centran en estas principales familias: estirénicos (SBCs o TPE-S), olefínicos (TPOs o TPE-O), vulcanizados termoplásticos (TPVs o TPE-V), poliuretanos termoplásticos (TPUs o TPE-U), copoliésteres (COPEs o TPE-E) y copoliámidas (COPAs o TPE-A).⁴²

A continuación, se presenta el Cuadro 1 donde se relaciona los diferentes tipos de elastómeros plásticos con sus principales propiedades y estructura.

Cuadro 1. Propiedades y estructura de las clasificaciones de elastómeros termoplásticos.

Elastómeros termoplásticos	Estructura	Estructura (ilustración)	Dureza Shore A	Temperatura de servicio (°C)
TPEs	Estireno y butadieno	 <p>The illustration shows the chemical structures of styrene and 1,3-butadiene, and their copolymer structure. Styrene is shown as a vinyl group attached to a benzene ring. 1,3-butadiene is shown as a diene with two double bonds in a 1,3 configuration. The copolymer structure is a long chain of carbon atoms with alternating single and double bonds, incorporating both styrene and butadiene units.</p>	30A-75D	-70 a 120
TPOs	PP, etileno, propileno	 <p>The illustration shows the chemical structure of a polypropylene copolymer, represented as $[(CH_2-CH=CH-CH_2)_m-CH(CH_3)-CH_2]_n$, where the $CH(CH_3)$ group is attached to a benzene ring.</p>	60A-75D	-40 a 120
TPUs	Poliuretano	 <p>The illustration shows the chemical structure of a polyurethane, represented as $[-C(=O)-NH-C_6H_4-NH-C(=O)-O-CH_2-CH_2-O-]_n$, where the C_6H_4 group is a benzene ring.</p>	60A-85D	-70 a 120


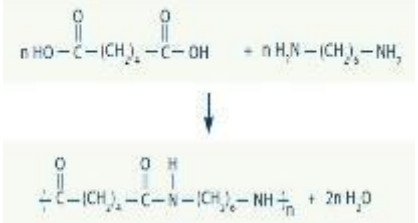
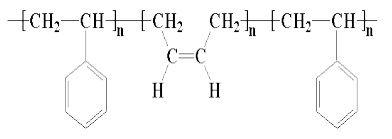
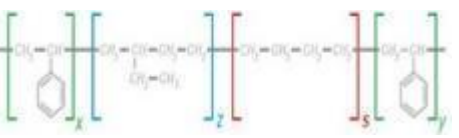
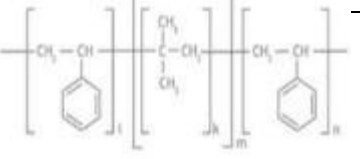
Fuente: elaboración propia.

⁴⁰ SALMAN, A. MUHAMMAD, A. Thermoplastic elastomeric (tpe) materials and their use in outdoor electrical insulation. [en línea]-2011. [Consultado el 20 de Octubre de 2019]. Disponible en: http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_12911/02_amin.pdf

⁴¹ JUAREZ, D. BALART, R. FERRADIZ, S. GARCIA, D. Op. Cit, p. 18.

⁴² JUAREZ, D. BALART, R. FERRADIZ, S. GARCIA, D. Op. Cit, p. 10-17

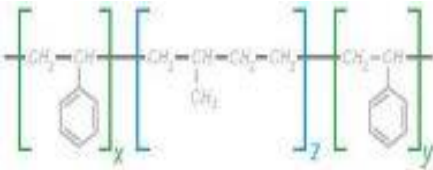
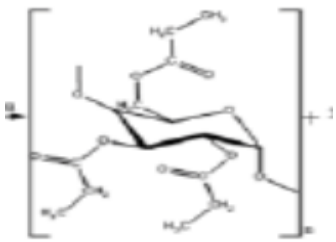
Cuadro 1. (Continuación)

Elastómeros termoplásticos	Estructura	Estructura (ilustración)	Dureza Shore A	Temperatura de servicio(°C)
COPEs	Copolíester(flexible y rígido)		90A-72D	-65 a 125
COPAs	Poliamida con grupos extremos de ácido carboxílico y un diol de poliéter		60A-75D	-40 a 170
SBS	Poliestireno, polibutadieno, poliestireno		30 A-40 D	-50 a 70
SEBS o TR	SBS sin la insaturación de la cadena de polibutadieno. (proceso de hidrogenación)		30 A-40 D	-50 a 70 ⁴³
SIS	Estireno, isopreno, estireno		30 A-40 D	150 a 230

Fuente: elaboración propia.

⁴³ JIRI, George. Handbook of Thermoplastic Elastomers. Plastics design library. Segunda Edición, 2004. p.175-185. ISBN:978-0-323-22136-8

Cuadro 1. (Continuación)

Elastómeros termoplásticos	Estructura	Estructura (ilustración)	Dureza Shore A	Temperatura de servicio(°C)
SEPS	Estireno, etileno, propileno, estireno		00 A-70 D	-30 a 100
TPS	Almidón de yuca+ plastificante+ TPE		30A-75D	-70 a 120

Fuente: elaboración propia.

- **Estirénicos (SBCs o TPE-S).** Son copolímeros de bloque cuya estructura está basada de estireno y butadieno, suaves al tacto, resistentes a la ruptura, tienen alta elasticidad y baja dureza (valores de Shore A).⁴⁴ Los estirénicos poseen la siguiente clasificación:
 - **Estireno-butadieno-estireno (SBS):** es un copolímero de bloque, que se obtiene mediante la polimerización de una mezcla de estireno y butadieno en donde el estireno le otorga la durabilidad al polímero y el butadieno le da características similares al caucho.⁴⁵

Teniendo en cuenta la información suministrada por la hoja de seguridad del Anexo A de este documento, estos materiales no presenta riesgo ni toxicidad para el ser humano.

⁴⁴ JUAREZ, D.BALART,R.FERRADIZ,S.GARCIA,D. Estudio y análisis de los polimeros derivados del estireno-butadieno. Revista de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia.[en línea].2013, p.1-17.[Consultado el 18 de septiembre de 2019].Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2013/02/estireno-butadieno.pdf>

⁴⁵ Ibid, p.8

De acuerdo a la resolución No. 0001 del 8 de enero de 2015, expedida por el Consejo Nacional de Estupefacientes este producto químico puede ser utilizado y comercializado libremente.⁴⁶

- **Estireno-etileno-butadieno-estireno (SEBS):** Es un copolímero como el SBS al cual se le ha realizado un proceso de hidrogenación (eliminar la insaturación de la cadena de polibutadieno) con el fin de mejorar su temperatura de trabajo, resistencia al medio ambiente y oxidación, manteniendo las mismas propiedades mecánicas del SBS.⁴⁷

Respecto a sus propiedades, presenta buena resistencia a diferentes agentes orgánicos como la luz, calor y ambiente, es un material versátil, fácil de procesar debido a la flexibilidad que presenta por la ausencia de dobles enlaces (saturación de la cadena).

- **Estireno-isopreno-butadieno-estireno (SIS):** es un copolímero conformado por estireno, isopreno (2-metil-1,3-butadieno) y estireno, el contenido de isopreno varía del 15 al 40%; cuando el contenido de isopreno es bajo su comportamiento mecánico es similar al caucho vulcanizado.⁴⁸

Adicional a esto las propiedades de dureza y temperatura de trabajo dependen del porcentaje de isopreno de su composición, sin embargo estos elastómeros termoplásticos presentan buena resistencia, baja viscosidad y baja dureza (valores de Shore A).⁴⁹

- **Estireno-etileno-propileno-estireno (SEPS):** es un copolímero que se produce por la hidrogenación parcial y selectiva del SIS. Su comportamiento es similar a un caucho sin vulcanizar, presenta mejor estabilidad térmica frente a la interperie y resistencia al aceite a comparación del SIS, pero tiene menor rendimiento mecánico. Es un material flexible, resistente al calor y a los rayos UV.⁵⁰
- **Olefinicos (TPOs o TPE-O).** Son una mezcla de polipropileno con caucho (etileno-propileno) producidos por reacción en una secuencia de reactores

⁴⁶ MINISTERIO DE JUSTICIA DE COLOMBIA. Control para el manejo de sustancias y productos químicos.[en línea].2018.[Consultado 20 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/CCITE/DOCUMENTO%20CONCEPTUAL%20V8%20\(Enero%202002%20-2018\).pdf](http://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/CCITE/DOCUMENTO%20CONCEPTUAL%20V8%20(Enero%202002%20-2018).pdf).

⁴⁷ JUAREZ, D.BALART,R.FERRADIZ,S.GARCIA,D. Estudio y análisis de los polimeros derivados del estireno-butadieno.Op.Cit,p 8.

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ Ibid.

⁵⁰ POLYMER PROPERTIES DATABASE. Styrene-ethylene-propylene-styrene thermoplastic elastomer (SEPS) [en línea].[Consultado 20 de octubre de 2019].Disponible en: <http://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/SEPS.html>.

(polimerización de los alquenos como etileno, propileno, buteno, isoprenos y penteno⁵¹). Este material presenta flexibilidad, resistencia a la temperatura y aditivos, su dureza debe ser mayor a 75 Shore A, en rangos menores los compuestos migran a los dados o piezas moldeadoras.⁵²

- **Vulcanizados termoplásticos (TPVs o TPE-V).** Son mezclas de polipropileno con caucho reticulado, aceites y rellenos producidos por un proceso de vulcanización dinámica donde el polímero se une en cadenas tridimensionales formando una red, lo cual le confiere rigidez. Es suave, resistente al aceite y a la grasa.⁵³ Presenta características de flexibilidad, baja compresión y fácil procesamiento.⁵⁴ Tiene propiedades similares a los elastómeros termoestables pero requiere proceso de vulcanización (curado de la mezcla) por lo cual se descarta su aplicación para el desarrollo de este proyecto.
- **Poliuretanos termoplásticos (TPUs o TPE-U).** Son copolímeros formados por un segmento largo de poliéster lineal y uno corto de uretano. Sus propiedades dependen de la longitud de las cadenas y el tipo de poliéster utilizado, no es fácil de procesar, sin embargo presentan buena resistencia a la intemperie excepto a la luz UV, no son amarillentos ni transparentes. Por último poseen rigidez y no son fáciles de procesar.⁵⁵
- **Copoliésteres (COPEs o TPE-E).** Son cauchos de alto rendimiento fabricados a partir de bloques flexibles de poliéster y bloques rígidos de poliéster. Tienen un procesamiento versátil, su dureza varía al modificar la relación de los bloques de poliéster y presentan mayor resistencia térmica que el TPE-O, TPE-S y TPU. Son alto costo, alta resistencia al desgaste, buena capacidad de recuperación, facilidad para la coloración y utilizan en procesos de inyección.⁵⁶
- **Copoliamidas (COPAs o TPE-A).** Se producen por una reacción de una poliamida que lleva grupos extremos de ácidos carboxílicos y un dió de poliéster en presencia de un catalizador. Presentan buena resistencia al calor hasta 170°C, alta resistencia a ruptura y dureza, baja densidad, buena resistencia química y a la abrasión.⁵¹ Es uno de los elastómeros más costosos y versátiles de esta clasificación y sus propiedades dependen del tipo de

⁵¹ MEXPOLIMEROS. Poliolefinas [en línea]. [Consultado 19 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.chemieuro.com/es/polymer-catalogue/polyolefines/>.

⁵² JUAREZ, D. BALART, R. FERRADIZ, S. GARCIA, D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos Op. Cit. p. 12

⁵³ | JUAREZ, D. BALART, R. FERRADIZ, S. GARCIA, D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos Op. Cit. p. 13

⁵⁴ Ibid.

⁵⁵ JUAREZ, D. BALART, R. FERRADIZ, S. GARCIA, D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos Op. Cit. p. 14

⁵⁶ JUAREZ, D. BALART, R. FERRADIZ, S. GARCIA, D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos Op. Cit. p. 15

poliamida, el tipo de polioli, la longitud y la cantidad de bloques.⁵⁷

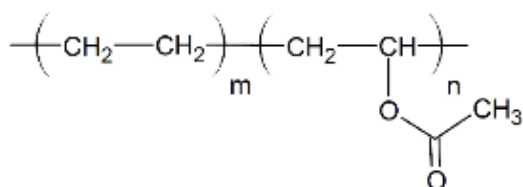
- **Otras resinas.** Existen otros materiales que no pertenecen a ninguna de las principales familias de los elastómeros termoplásticos pero presentan características que pueden servir como sustituyente del PVC.
- **Almidón termoplástico biodegradable (TPS):** es un material que se obtiene por la modificación estructural al granulo de almidón cuando es procesado con un bajo contenido de agua, plastificantes no volátiles y acciones mecánicas y térmicas (método conocido como automatización electro hidrodinámica o EHDA).

Este termoplástico es flexible, biodegradable pero inestable estructuralmente que ocasiona que sea frágil y poco resistente a la humedad.⁵⁸

- **Etileno acetato de vinilo (EVA/EBA).** Es un copolimero de etileno y acetato de vinilo, de estructura como se evidencia en la ilustración 11. Es un termoplástico elastico, permeabilidad al agua, propiedades ópticas y alta cristalinidad, por lo tanto puede ser utilizado como aditivo en procesos de extrusión y envases de alimentos.

Una de sus principales ventajas es el bajo costo, buena resistencia al agrietamiento por flexión y a la perforación, mejorando la capacidad de sellado de las olefinas y generalmente se polimeriza con estas o formando parte de una película multicapa.⁶⁵

Imagen 11. Estructura de EVA



Fuente: POLYMERDATABASE.copolimero de etileno y acetato de vinilo, disponible [en línea], < <https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/EVA.html>>, citado el 10/05/2020.

- **Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).** Es un terpolimero conformado por estireno acrilonitrilo y un compuesto elástico (butadieno). Presenta buena resistencia a la temperatura proporcionado por el butadieno, la resistencia química, mecánica y rigidez es otorgada por el estireno y el bloque de

⁵⁷ JUAREZ, D.BALART,R.FERRADIZ,S.GARCIA,D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos Op. Cit. p. 16

⁵⁸ VILLADA, Hector. Investigacion de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables.Informacion tecnológica.Vol. 19(2), 3-14 (2008).

acrilonitrilo le infiere rigidez, dureza y resistencia a ataques químicos. La principal desventaja es su elaboración y procesamiento al ser la más compleja a comparación de los plásticos comunes.⁵⁹

2.1.2 Plastificantes. Los ftalatos son los encargados de la transformar un material rígido en flexible principalmente el PVC. Teniendo en cuenta que la revisión bibliográfica de la resina base se realizó énfasis en materiales flexibles no se hace necesario la adición de plastificantes a la formulación del borrador. Es decir, con solo la sustitución del PVC por material flexible se estaría sustituyendo los ftalatos también.

Sin embargo, se realizó la revisión bibliográfica de los plastificantes en la industria y los utilizados como sustituyentes de ftalatos en biopelículas o PVC con resultados conformes para futuras investigaciones de otros autores.

Cuadro 2. Plastificantes usados en la industria.

Plastificante	Usos y propiedades
Esteres de ácido ftálico	Presentan una buena gelificación, volatilidad baja, propiedades eléctricas adecuadas y resistencia térmica.
Diisotridecil ftalato (DITDP)	Resistencia térmica superior de los 105°C.
Ftalatos alcoholes de cadena recta C ₇ H ₁₁	Baja volatilidad y conservación de propiedades a baja temperatura.
Esteres de ácido adípico y sebácico Adipato de diisodecilo (DIDA)	Presenta menor volatilidad a comparación del éster dioctílico (DOA, DOS).
Esteres de ácido poliglicólico	Es resistente a bajas y altas temperaturas (-30°C a 100°C), se le adiciona bisfenol para evitar la separación del plastificante de éster de oxoalcohol cuando se somete a estrés por calor.
Fosfato de tricresilo (TCP, TCF)	Presenta una alta resistencia al calor, propiedades eléctricas favorables, resistencia a la intemperie, retardante de llama, pero no se recomienda para ser usado en productos que entren en contacto con la piel.

⁵⁹ MASSÓ, Marc Propietats de la resina ABS, [en línea]. [consultado el 15 de noviembre de 2019]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex%20D%20ABS%20\(1\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex%20D%20ABS%20(1).pdf).

Cuadro 2. (Continuación)

Plastificante	Usos y propiedades
Esteres felinilicos de ácido sulfónico parafinico	Las propiedades plastificantes se encuentran entre el DOP y TCP.
Plastificantes oligomericos/poliméricos	Se utiliza para pastas (oligomericas) y extrusión, presenta baja volatilidad, alta resistencia térmica, compatibilidad con PVC principalmente en mezclas pero no presenta alta migración.
Aceite de soya epoxidado	Combina la función de plastificante y estabilizante.

Fuente. MURPHY, J. *Additives for Plastics Handbook*, Modifying Processing Characteristics: Couplings Compatibilizing Agents p168.

De los plastificantes usados en la industria del cuadro 2 la glicerina, el aceite epoxidado y la parafina se han desempeñado como un buen plastificantes en biopelículas según en las investigaciones de los autores NUÑEZ, Karina. (2007)⁶⁰ y RUIZ, Gladys.(2005).⁶¹

2.1.3 Materias primas seleccionados por revisión bibliográfica. Teniendo en cuenta que las diferentes alternativas descritas para la resina base son elastómeros termoplásticos de característica flexible no es necesario la adición de plastificantes por lo tanto al sustituir la resina base se sustituirán los ftalatos en simultaneo.

La patente de los inventores SONG, Ha-Kyoung, KANG, Sung-Cho, KANG, Gwan-Ho, composición de borrador sin PVC, recomiendan el uso de una resina base elastómera termoplástica compuesta por Copolímero de estireno, butadieno y estireno debido a su buen desempeño en la función de borrar (resultados similares al PVC), versatilidad al ser moldeable durante el calentamiento, facilidad de procesamiento por extrusión, resistencia a la intemperie u oxidación y contribución a la dureza requerida para el borrador. Por estas razones se realizará una sustitución total del PVC y ftalatos basado en los buenos resultados de la patente en cuestión.

Teniendo en cuenta lo anterior, las materias primas seleccionadas por revisión bibliográfica pertenecen a la familia de estirénicos de los elastómeros

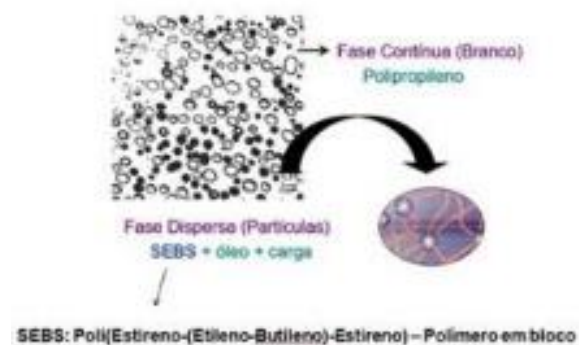
⁶⁰ NUÑEZ, K. Estudio de propiedades mecánicas del TPVs de EPDM/polipropileno/aceite parafinico. Revista Tecnica, vol.30, 2007, p445. Gale Onfile: Informe académico. [citado el 6 de marzo de 2019].

⁶¹ RUIZ, G. POLÍMEROS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. [En línea]. (2005). [Consultado el 8 de abril de 2019]. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys_RuizAviles_2005.pdf?sequence=2.

termoplásticos. Adicional a esto, se requiere que las materias primas estén en presentación pellets para que se puedan procesar en la extrusora de la empresa I.D.E.A.S que posee un monohusillo. De acuerdo a esto, se encuentran disponibles en el mercado las siguientes materias primas:

- **TPE.** Es un elastómero termoplástico con base polimérica PE (fase continua) y partículas de SEBS (fase dispersa) formando el copolímero estireno-etileno-butileno- estireno. Presenta dureza de 55-70 Shore A, buen desempeño en procesos de extrusión, alta adherencia con poliolefinas y pigmentos, proporciona estabilidad dimensional al no presentar dobles enlaces en su cadena (saturación) y no es una materia prima toxica según ficha de seguridad que se evidencia en el ANEXO A de este documento.

Imagen 12. Morfología compuesto TPE.



Fuente: PARABOR COLOMBIA.

Imagen 13. Pellets de TPE.

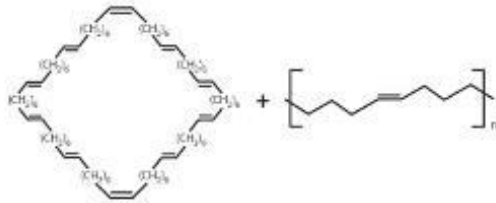


Fuente: elaboración propia.

- **TOR.** Es una poliolefina semicristalina, conocida como caucho transoctenamer

con una estructura basada en cicloocteno y un 80% de contenido de enlaces trans-dobles.⁶² Proporciona una resistencia verde excepcional que permite una gran estabilidad dimensional de las piezas sin curar (proceso vulcanizado) y aglomeración de agregados de humo negro, una viscosidad baja lo que permite que el compuesto fluya de manera más eficiente.⁶³

Imagen 14. Estructura del compuesto TOR



Fuente: EVONIK, síntesis y estructura TOR, disponible [en línea], < <https://www.vestenamer.com/product/vestenamer/en/pages/synthesis-and-structure.aspx>>, consultado el 19 de enero de 2020.

Imagen 15. Pellets de TOR



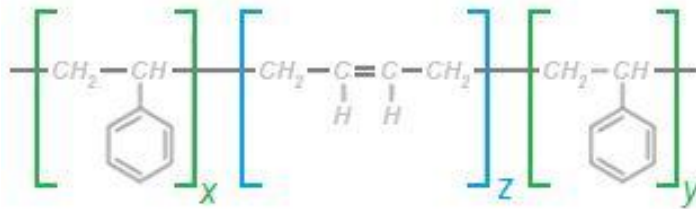
Fuente: elaboración propia.

- **TR.** Es un copolímero de estireno-butadieno-estireno de fácil manejo en procesos de inyección y extrusión. Presenta un intervalo de dureza de 40-85 Shore A, memoria elástica a altas y bajas temperaturas, resistencia a químicos como bases, ácidos, alcoholes, detergentes y trabaja a temperaturas hasta 200°C.

⁶² SPECIALCHEM, vestenamer 8012. [en línea]. [consultado el 19 de enero de 2020]. Disponible en: <https://polymer-additives.specialchem.com/product/a-evonik-vestenamer-8012>.

⁶³ EIGENMANN & VERONELLI, vestenamer 8012. [en línea]. [consultado el 19 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.eigver.es/news/global/vestenamer-8012/>, consultado el 19/01/2020.

Imagen 16. Estructura del TR



Fuente: MEXPOLIMEROS, TR thermoplastics rubber, disponible [en línea], <<https://www.mexpolimeros.com/tr.html>>, consultado el 19 de enero de 2020.

Imagen 17. TR en pellets



Fuente: elaboración propia.

Es importante conocer la dureza de estos materiales al entrar en contacto con el material con mayor porcentaje de participación en la formulación de un borrador que corresponde a la carga (carbonato de calcio), por lo tanto se realizaron probetas con estos materiales para determinar su dureza en el laboratorio.

2.1.4 Análisis de dureza de las materias primas. El análisis de dureza permite conocer la rigidez del material frente a esfuerzos moderados y el impacto del mismo frente a la superficie a borrar por lo tanto es necesario conocer la dureza de las materias primas seleccionados por revisión bibliográfica.

Para esto se realizaron 3 probetas en la extrusora de la empresa IDEAS con las materias primas seleccionadas y un blanco (probeta de PVC y ftalatos), compuestas por 40% m/m (porcentaje masa/masa) elastómero y 60 % m/m de carga (carbonato de calcio). Este valor de concentración está basado en la formulación de un borrador convencional descrito en la tabla 1. Para el caso del blanco (probeta de PVC y ftalatos) está compuesta por 20% m/m de PVC y 20% m/m de Ftalatos para completar el 40% de elastómero requerido para el análisis de dureza.

Tabla 1. Formulación de un borrador convencional.

Materia prima	Rango de concentración (%m/m)
PVC-Elastómero	15-25
Ftalatos	10-20
Carga	50-70
Lubricante	0,5-2
Humectante	2-5
Color	0,5-5 phr
Estabilizante térmico	1-2 phr
Ayuda de proceso	0,1-5 phr

Fuente: elaboración propia con base en: EMPRESA IDEAS.

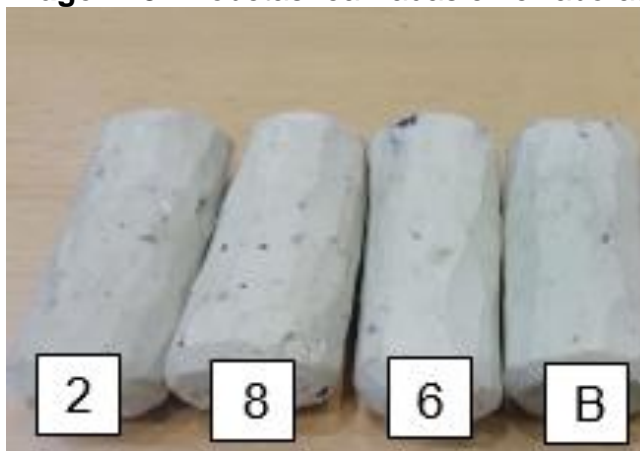
En la tabla 2 se describe la cantidad en gramos (g) de elastómero y carga utilizada en cada probeta al igual que el número de identificación para realizar la trazabilidad de la misma.

Tabla 2. Cantidad de materias primas utilizadas en las probetas.

Numeración	Sustituyente PVC	Cantidad (g)	Carga	Cantidad (g)	Total (g)
6	TPE	120	Carbonato de calcio	180	300
2	TR-SBS	120	Carbonato de calcio	180	300
8	TOR PVC +	120	Carbonato de calcio	180	300
Blanco (B)	Ftalatos	120	Carbonato de calcio	180	300

Fuente: elaboración propia.

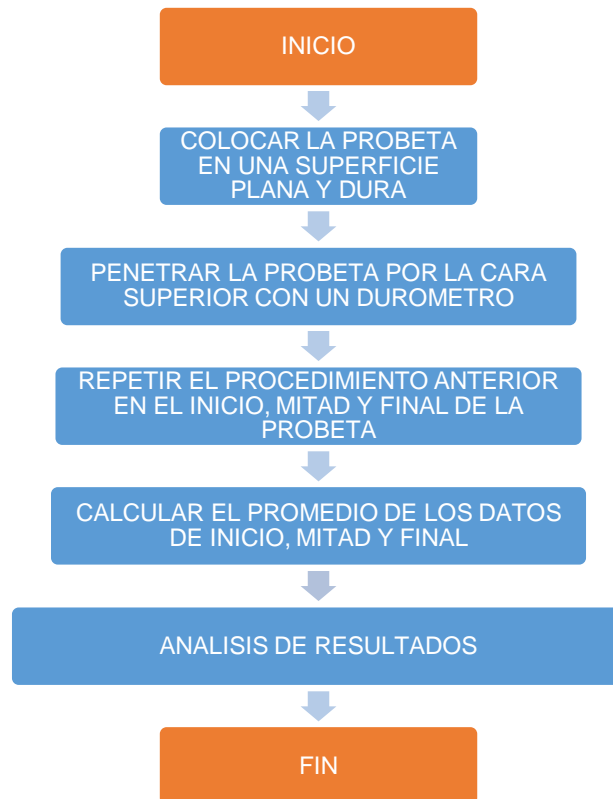
Imagen 18. Probetas realizadas en el laboratorio.



Fuente: elaboración propia.

Estas probetas se sometieron a la prueba de dureza realizada con un durómetro Shore A descrita en el esquema 1 siguiendo la norma ASTM D2240.

Esquema 1. Analisis de dureza



Fuente: elaboración propia.

Imagen 19. Durómetro Shore A.



Fuente: elaboración propia.

- **Resultados de los análisis de dureza a las probetas.** Luego del análisis de dureza se obtuvieron los siguientes resultados:

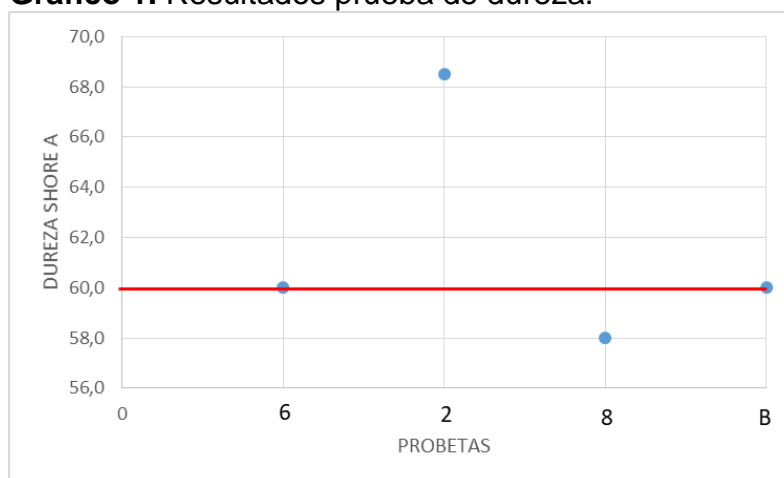
Tabla 3. Resultados de prueba de dureza.

Numeración	Sustituyente PVC	Dureza Shore A inicio	Dureza Shore A mitad	Dureza Shore A final	Dureza Shore A promedio
6	TPE	59,0	60,0	61,0	60,0
2	TR-SBS	68,2	69,2	68,0	68,5
8	TOR	59,0	58,0	58,5	58,5
Blanco	PVC+ Ftalatos	60,0	60,0	60,0	60,0

Fuente: elaboración propia.

Con estos resultados se realizó la gráfica 1 con el fin de poder observar los valores más cercanos a la dureza del blanco.

Gráfico 1. Resultados prueba de dureza.



Fuente: elaboración propia.

Mediante la gráfica se puede observar que la probeta 6 presenta un valor de dureza similar a la probeta de PVC y ftalatos, de igual forma se evidencia que la probeta 2 presenta un valor lejano a la dureza esperada (60 Shore A). Estos resultados aportarán a la selección de la materia prima sustituyente del PVC al igual que el costo de la misma.

El costo de la materia prima es importante para el desarrollo de esta propuesta porque se busca seleccionar un elastómero que cumpla con la dureza requerida a un costo favorable para la empresa.

2.1.5 Costo de materias primas sustitutas. El costo de las materias primas disponibles en el mercado son los siguientes:

Tabla 4. Costo de materias primas

Materias primas	Costo COP/kg
TPE	23.000
TOR	30.000
TR (SBS)	8.000
PVC + Ftalatos	7.000

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla 4 se puede extraer que los elastómeros termoplásticos disponibles en el mercado son más costosos que la materia prima de un borrador actual (PVC y Ftalatos), sin embargo el costo del TR es muy cercano al PVC y ftalatos seguido del TPE.

Los resultados de la prueba de dureza y los costos de las materias primas serán los criterios de selección de la matriz que descartaran 2 materias primas eligiendo la más adecuada para la formulación de un borrador libre de PVC y Ftalatos.

2.2 MATRIZ DE SELECCIÓN

La matriz de selección es una herramienta para la toma de decisiones frente a diferentes alternativas en este caso materias primas utilizando criterios importantes para la investigación.⁶⁴

Para este proyecto de investigación se definieron dos criterios importantes a tener en cuenta en la elección de la materia prima sustituyente del PVC: la dureza y el costo de la materia prima.

Las tres alternativas de materias primas que ingresarán a la matriz de selección son TPE, TOR y TR de acuerdo a la revisión bibliográfica previamente realizada. Seguidamente los niveles de puntuación por cada criterio serán de 1 a 3 y se otorgaran de acuerdo a una distribución lineal de los resultados.⁶⁵

Para el criterio de dureza buscando abarcar los tres resultados obtenidos por la prueba de dureza, se utilizaran tres niveles explicados en la siguiente tabla, el resultado más cercano a la dureza del PVC obtendrá el mayor puntaje (3) y el más lejano el menor puntaje (1).

⁶⁴ CERVONE, Frank; Managing digital libraries: the view from 30,000 feet, applied digital library project management Using Pugh matrix analysis in complex decision-making situations. [en línea]. 2009. [consultado 16 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/1206/c49198d48319947a7f140199bb951c375c07.pdf>

⁶⁵ QUEVEDO, Fernando. Normal distribution. Medwave.[en línea]. 2011 May;11(05):e5033 doi: 10.5867/medwave.2011.05.5033.[consultado el 16 de mayo de 2020].Disponible en: <https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/MBE04/5033>.

Tabla 5. Niveles de puntuación a los resultados de dureza.

Calificación	Resultado dureza (Shore A)
3	60
2	55.8-64.2 (+/- 7%)
1	51,6-68,4 (+/- 14%)

Fuente: elaboración propia.

Para los costos se manejará la siguiente escala en la cual el mayor precio de las 3 materias primas obtendrá el menor puntaje y el menor costo obtendrá el mayor puntaje.

Tabla 6. Escala para los costos de la materia prima.

Calificación	Costo de materia prima kg (COP)
3	8.000
2	23.000
1	30.000

Fuente: elaboración propia.

Con base en la escala de puntuación para los criterios de selección se realizó la matriz de selección descrita en la tabla 7.

Tabla 7. Matriz de selección de alternativas.

Criterios	Alternativas		
	TPE	TOR	TR
Dureza	3	2	1
Costo de materia prima	2	1	3
Total	5	3	4

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo al resultado de la matriz de selección, la materia prima que se utilizará como sustituyente total del PVC y Ftalatos en la formulación del nuevo borrador es el TPE, al arrojar un valor de dureza similar a la probeta blanco y no representar un costo tan elevado para el proceso.

Este elastómero será utilizado en la formulación del borrador en la concentración adecuada. Para determinar esta concentración se necesitará un desarrollo experimental para entender el comportamiento de la dureza frente a los cambios de concentración de elastómero.

3. ELABORACIÓN DEL BORRADOR CON EL ELASTÓMERO SELECCIONADO

Para la elaboración del borrador se estableció la necesidad de la resina base (elastómero) seleccionada previamente, una carga, un humectante, un lubricante, un estabilizante térmico, una ayuda de proceso y un pigmento. Las cantidades de las materias primas lubricante, humectante, color, estabilizante térmico y ayuda de proceso se adicionaron de acuerdo a la formulación de la empresa IDEAS tabla 1 y el elastómero se adiciono de acuerdo a la patente composición de borrador sin PVC descrita en la tabla 8.

El rango de concentración del elastómero de la patente será el punto inicial del desarrollo experimental puesto que será la concentración que reemplazará al PVC y los Ftalatos de la formulación de un borrador convencional.

Tabla 8. Composición de un borrador sin PVC

Materia prima	Rango de concentración (%m/m)
Elastómero	10-40
Carga	50-70
Lubricante	1-5
Humectante	5-20
Color	0,5-5 phr
Estabilizante térmico	1-5
Ayuda de proceso	0,1-5 phr

Fuente: elaboración propia con base en: WIPO.Composicion del borrador libre de PVC .[en línea].Inventores: SONG, Ha-Kyoung,KANG, Sung-Cho, KANG, Gwan-Ho. Fecha de solicitud: 31/03/2010. Corea. Patente de investigación.WO/2011/122719.Fecha de publicación: 06/10/2011.[Consultado el 18 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011122719>.

3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental se realizará para establecer la formulación del borrador libre de PVC y Ftalatos para la empresa IDEAS, esta formulación se realizó fijando las variables como las condiciones de proceso (temperaturas de cada zona de la extrusora y revoluciones por minuto del monohusillo) debido a que se busca realizar una sustitución de las materias primas anteriormente mencionadas sin alterar las condiciones de proceso. A su vez se fijaran las materias primas utilizadas actualmente por la empresa como el lubricante, humectante, pigmento, ayuda de proceso y estabilizante térmico por los siguientes casuales:

El lubricante para este caso se utilizará aceite epoxidado de soya a la misma concentración de la formulación, no se modificará para no impactar la migración del

borrador ni alterar condiciones del proceso.

EL humectante no se modificará la concentración para no afectar el borrador referente a la migración de sustancias, su concentración es baja por lo cual no generará un cambio significativo a la dureza ni calidad del borrado.

La concentración del color y ayuda de proceso dependen de la cantidad de elastómero por lo cual la concentración se mantendrá constante.

La concentración del estabilizante térmico en el producto ha demostrado buenos resultados por lo cual no se modificará dicha concentración.

Teniendo en cuenta que el elastómero será la materia prima que reemplace el PVC y Ftalatos será la variable independiente y será modificada a criterio para observar la incidencia de la concentración del mismo en la dureza y calidad de borrado.

La carga (carbonato de calcio) será la variable dependiente del proceso puesto que complementará la capacidad mínima (300g) de la extrusora.

Como primera instancia se realizarán 5 probetas con diferentes concentraciones de elastómero para determinar su incidencia en la dureza y calidad de borrado.

Seguidamente las probetas se caracterizaran con el análisis de la variable de respuesta (dureza) y demás análisis informativos para verificar su funcionalidad de borrador.

Por último se analizarán los resultados y se seleccionará la formulación que cumpla con los criterios de dureza de un borrador según bibliografía y menor impacto en costos de materia prima para evitar un incremento en los costos de elaboración del producto a gran escala.

3.1.1 Ejecución experimental. Este desarrollo experimental se realizó en la empresa IDEAS en una extrusora monohusillo *Eurotecno E4535*, la cual cuenta con una cabina de control desde donde se manipulan las variables como temperaturas de las 4 zonas, presión, y velocidad del husillo. La capacidad mínima es de 300g.

Imagen 20. Extrusora Monohusillo referencia Eurotecno E4535.



Fuente: EXAPRO.Extrusora monohusillo Eurotecno E4535.Disponible en: <https://www.exapro.es/eurotecno-e4535-p80620051/> consultado el 16 de Agosto de 2019.

La persona encargada de manipular la máquina y adicionar el producto a la misma es el presidente de la empresa el Sr. Victor Ojeda.

- En primera instancia se realizó el pesaje con una balanza de las materias primas teniendo en cuenta el porcentaje de composición descrito en la tabla 13. Seguidamente se realizó un mezclado manual para poder adicionar esta composición a la extrusora.

Tabla 9. Composición de probetas con diferente concentración de elastómero.

Sustituyente PVC y Ftalatos (%m/m)	Carga (%m/m)	Materias primas adicionales (%m/m)
10%	85%	5%
20%	75%	5%
30%	65%	5%
40%	55%	5%
50%	45%	5%

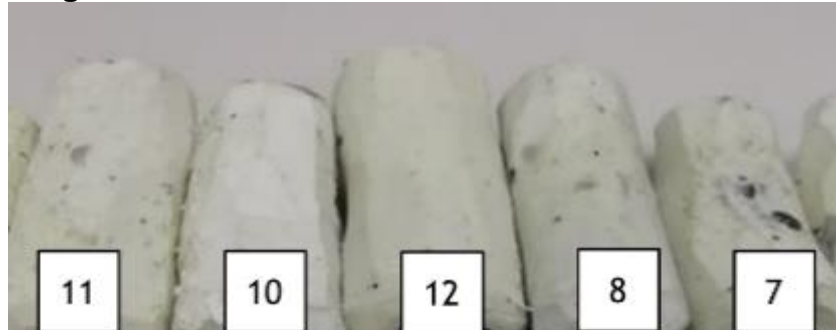
Fuente: elaboración propia.

- Se ingresa la cantidad de material definida manualmente por la tolva. El material atraviesa las cuatro zonas de calentamiento de la extrusora en el cual el material se flexibiliza a tal punto que al llegar al dado se deja moldear fácilmente para obtener la forma esperada.
- Luego de la extrusión, se realiza una adecuación a la probeta para garantizar que solo este compuesta de los materiales del ensayo. Esto se realiza debido

a que no se realizó una purga de gran cantidad por disponibilidad de material.

Estos ensayos se realizaron con muestras de materiales por lo cual no se contaba con gran cantidad de los mismos.

Imagen 21. Probetas realizadas con TPE.



Fuente: elaboración propia.

Después de la adecuación de las probetas se realizan los análisis en el laboratorio para determinar su dureza y calidad de borrado.

La prueba que está normalizada es la dureza por lo cual será la única variable respuesta para esta investigación y los análisis de resultados estarán enfocados a la misma.

3.1.2 Pruebas de caracterización del borrador. Existen 2 pruebas normalizadas en la caracterización de un borrador: dureza y abrasión. De igual forma se explicaran otras pruebas cualitativas que se puede realizar a un borrador.

- **Pruebas de comparación físicas:** la calidad del borrador se centra en el comportamiento que este tiene al momento de efectuar el borrado, para lo cual se realizan las siguientes pruebas como dureza y borrabilidad. Existen otras pruebas físicas que se puede realizar a un borrador como la abrasión y la migración, en esta investigación no se contemplarán debido a que el dado que cuenta la empresa IDEAS no proporciona las dimensiones requeridas para la prueba de abrasión y no se alterara la concentración de aditivos como lubricante y humectante por lo cual no afectará la migración de sustancias, sin embargo se explicarán brevemente la metodología de estas pruebas para futuras investigaciones.
- **Dureza:** se establece como la resistencia a la penetración permanente por una superficie de geometría definida, en donde se determina que tan resistente es el material a factores como el rayado y el desgaste, son medidos en unidades de shore A o Shore D dependiendo el tipo de material⁶⁶, los ensayos se

⁶⁶ GARZÓN, Andrés. Síntesis y caracterización de un material compuesto a base de polietileno de

realizan bajo la norma ASTM D2240, el equipo empleado es un durómetro troncocónico digital, el cual aplica una fuerza de 10 N sobre la superficie a analizar y presenta los resultados en unidades de Shore A.

Según revisión bibliográfica la dureza de un borrador es de 63,74 +/- 3 Shore A⁶⁷, este valor se determinó en una investigación de análisis de dureza de borradores en el mercado y cumple con lo regido por la norma para materiales flexibles ASTM D2240. La metodología de esta prueba está detallado en el esquema 1 previamente mencionado.

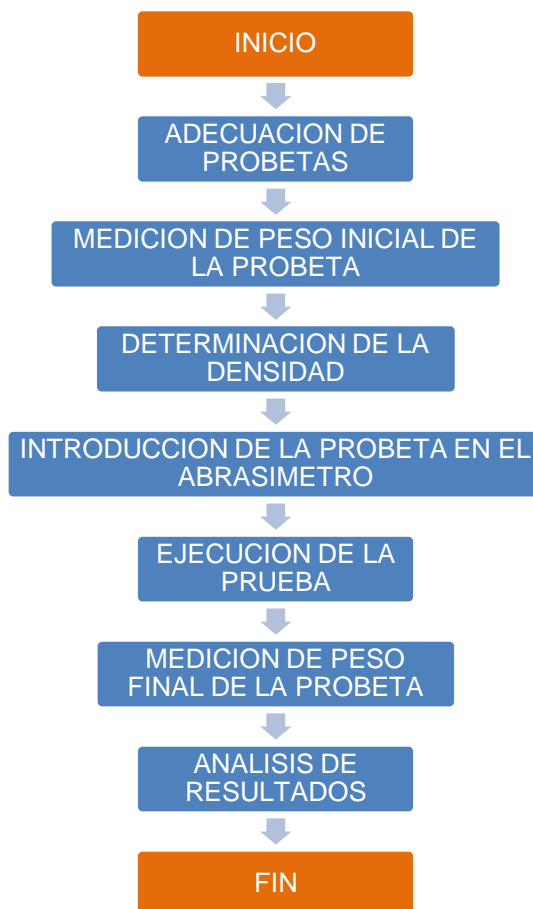
- **Abrasión:** se define como el efecto de corte o arado en la superficie de un material, por parte de un material áspero o poroso con relieve, en materiales poliméricos se presenta un efecto de abrasión por deslizamiento, en donde se produce la eliminación del material por medio de viruta⁶⁸; los ensayos son realizados bajo la norma ASTM C 131-14, mediante un abrasímetro el cual consta de un rodillo de diámetro y longitud estandarizada para semejar una trayectoria de 40m a lo largo de este y obteniendo resultados en mm³ debido a que depende tanto de la superficie recorrida, como de la densidad y la pérdida de masa a lo largo de la prueba.

alta densidad y magnetita pulverizada. Tesis de Maestría. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2015. 130p.

⁶⁷ ARISMENDI, J. RUIZ, C. Op. Cit, p. 75.

⁶⁸ OJADOS, Gonzalo. Resistencia al desgaste y a la abrasión de polímeros técnicos y nanocomposites. Tesis Doctoral. Cartagena de Indias. Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.

Esquema 2. Prueba de abrasión.



Fuente: elaboración propia.

*Para la adecuación de la probeta se debe realizar un corte longitudinal con un troquel circular de un diámetro de 15 mm. La ejecución de la prueba es por medio del rozamiento de la probeta sobre una superficie abrasiva (liga) gracias al movimiento rotatorio del abrasímetro.

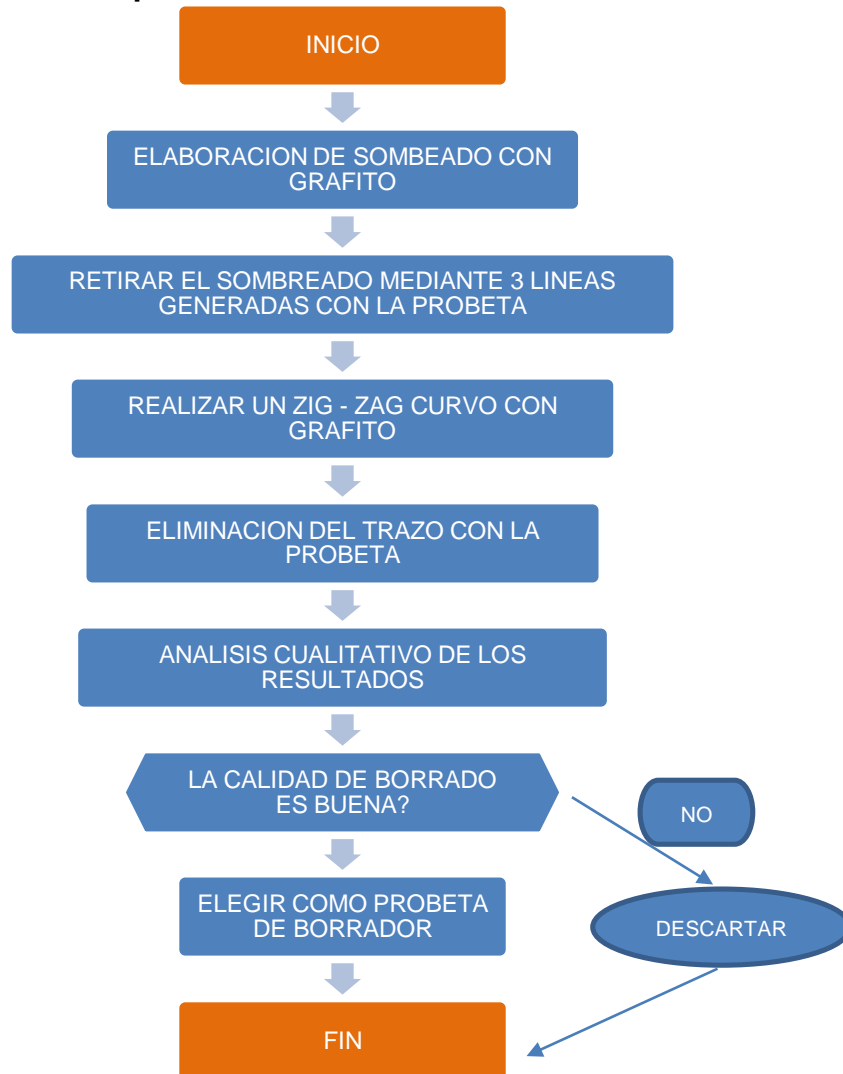
- **Borrabilidad:** se establece la calidad del borrado dependiendo de cómo ejecuta su función, para ello la prueba se realiza en una superficie estándar como es el papel bond, generando en ella una marca con grafito la cual se busca eliminar en su totalidad y se verifica cualitativamente para establecer la calidad del borrador.

En esta prueba se evidencia que tanto el producto se mancha y si deja algún tipo de marca luego del borrado. Estas pruebas se realizaron teniendo en cuenta la metodología implementada en la empresa Pelikan Colombia S.A.S⁶⁹ y son

⁶⁹ ARISMENDI, J. RUIZ, C. Op. Cit, p. 65.

informativas para el proyecto.

Esquema 3. Prueba de borrabilidad.

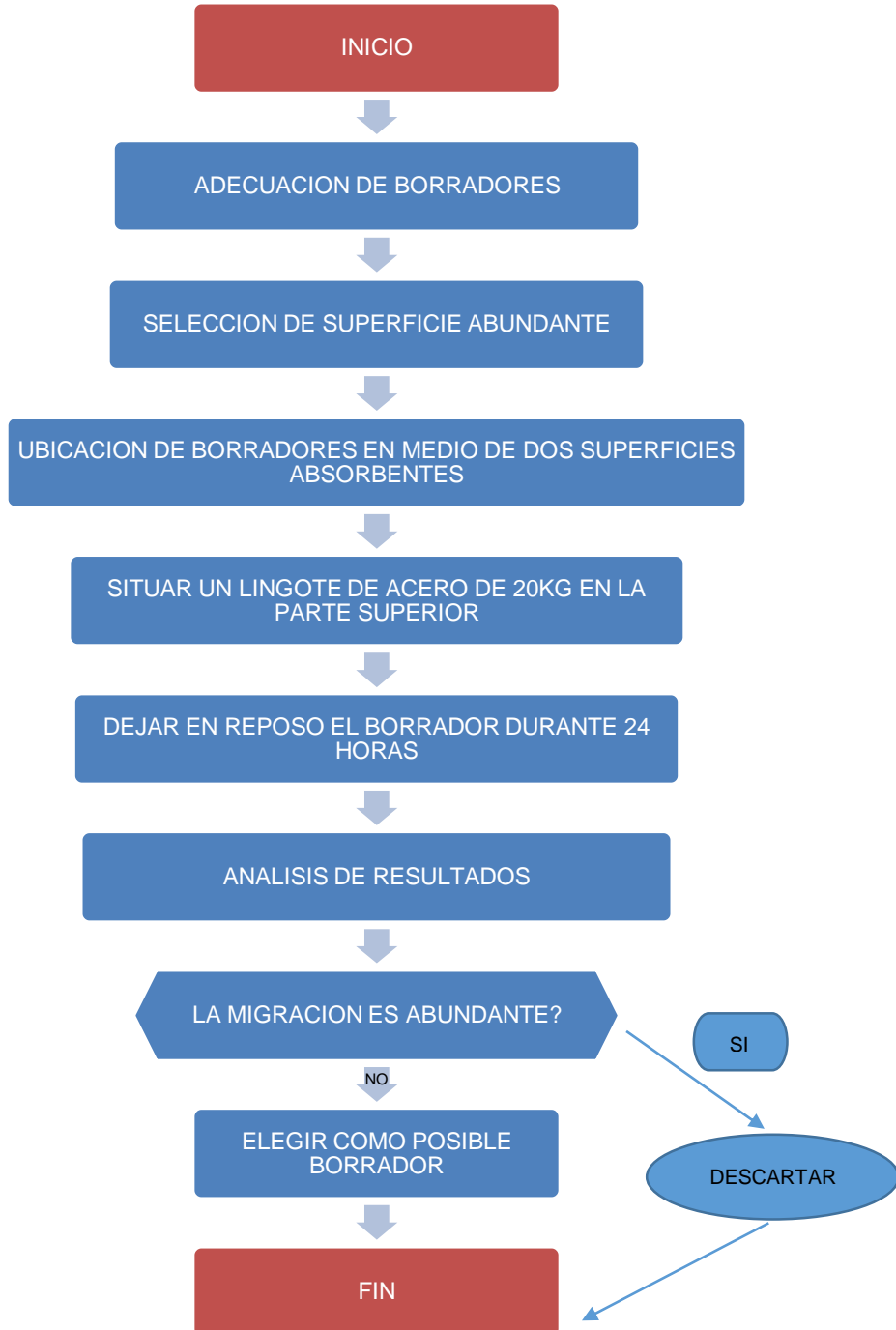


Fuente: elaboración propia

- **Migración:** se realiza para evidenciar el grado de desplazamiento del humectante a la superficie. Esta prueba no sigue ningún tipo de normatividad por lo cual se fundamenta en la prueba que realiza la empresa Pelikan Colombia S.A.S⁷⁰. Se debe utilizar dos superficies absorbentes (papel bond), un lingote de acero de 20kg y una muestra de cada probeta.

⁷⁰ ARISMENDI, J. RUIZ, C. Op. Cit, p. 67.

Esquema 4. Prueba de migración.



Fuente: elaboración propia con base en: PELIKAN S.A.S



*Para la adecuación de los borradores se dimensionan en forma rectangular, adicional se realiza la selección de superficie de acuerdo al medio donde se trabaja.

Esta prueba no se realiza debido a que no se modifica la concentración de ninguna

materia prima que pueda afectar la migración del producto como es el lubricante y humectante.

En el cuadro 3 se enlistan los instrumentos que se utilizaron en las pruebas realizadas al borrador:

Cuadro 3.Equipos empleados para pruebas físicas.

Equipo	Imagen	Descripción	Unidades de medida
Durómetro Shore A, ASTM D2240		Es un durómetro troncocónico digital, el cual aplica una fuerza de 10 N sobre la superficie a analizar, penetración en la superficie del material, cuenta con una aguja, la cual, mediante el principio del módulo de Young, evalúa la longitud, que alcanza a traspasar en el material, para compararlo con la fuerza suministrada por el mismo.	Los datos suministrados se encuentran en unidades de Shore A, dentro del rango de 10 a 90 Shore A.
Balanza analítica Ohaus		El equipo permite registrar el peso real del material analizado.	Los datos recolectados se reportan en gramos (g)

Fuente: elaboración propia.

3.1.3 Análisis y resultados. Se realizaron las pruebas físicas de dureza y borrarabilidad a las cinco probetas realizadas con TPE y arrojaron los siguientes resultados:

- **Dureza.** Los resultados de la prueba de dureza se enlistan en la tabla 10. El valor de dureza declarado en la tabla es el promedio de la dureza de inicio, mitad y final de la probeta. Se puede observar que la dureza a lo largo de la probeta varía porque el proceso de mezclado es manual y no se garantiza la homogenización total del producto.

Tabla 10. Resultados de dureza de las probetas con elastómero TPE.

Composición de probeta (numeración)	Dureza Shore A inicio	Dureza Shore A mitad	Dureza Shore A final	Dureza Shore promedio
TPE 10% (11)	65,00	64,00	65,00	64,67
TPE 20% (7)	64,00	63,00	63,00	63,33
TPE 30% (10)	61,00	63,00	63,00	62,33
TPE 40% (12)	60,00	62,00	60,00	60,67
TPE 50% (8)	59,00	58,00	59,00	58,67

Fuente: elaboración propia.

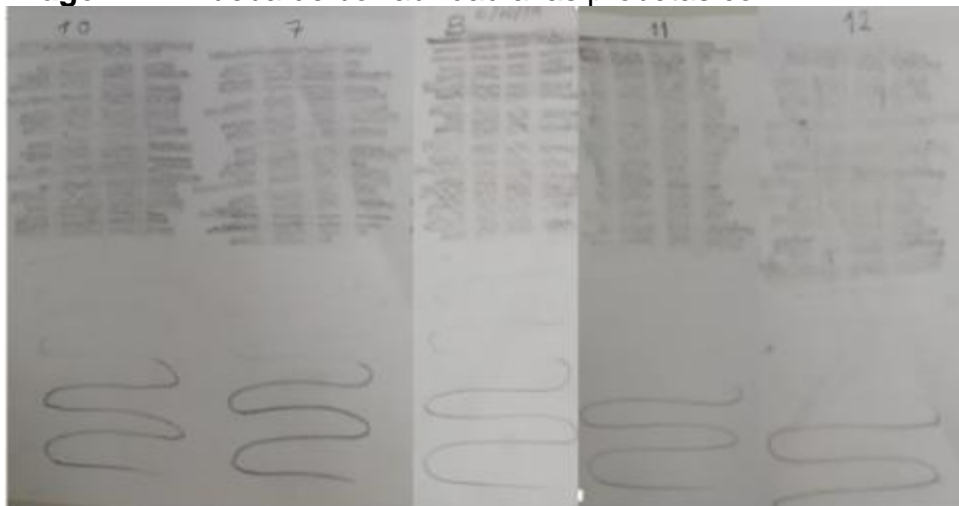
Teniendo en cuenta el valor de dureza para un borrador descrito anteriormente (63,74 +/- 3 Shore A), las composiciones que cumplen con este rango de dureza son: TPE (10-30) %m/m (sombreados en color verde).

Según los resultados se puede observar que a medida que la concentración de elastómero aumenta en la formulación de un borrador, su dureza disminuye debido a la flexibilidad del material, ocasionando que la calidad de borrado disminuya al no atrapar las partículas de grafito al contacto con la superficie a borrar sino que se deslice por la misma generando una mancha.

A su vez, a medida que la concentración de elastómero aumente, la dureza incrementará, causando un borrador duro que al entrar en contacto con la superficie a borrar rasgue la misma.

- **Borrabilidad.** Los resultados de la prueba de borrabilidad son cualitativos e informativos por lo tanto no se tendrán en cuenta en la toma de decisiones.

Imagen 22. Prueba de borrabilidad a las probetas con TPE.



Fuente: elaboración propia.

Mediante esta ilustración se puede evidenciar que el elastómero TPE cumple con su función de retirar el grafito del papel.

Teniendo en cuenta los resultados de dureza y el costo del elastómero se estableció la siguiente formulación para borradores libres de PVC y Ftalatos.

Tabla 11. Formulación libre de PVC y Ftalatos.

Materia prima	%Rango de concentración
Elastómero	10-30
Carga	50-80
Lubricante	0,5-2
Humectante	2-5
Color	0,5-5 phr
Estabilizante térmico	1-2 phr
Ayuda de proceso	0,1-5 phr

Fuente: elaboración propia

Con esta formulación se determinará el costo de elaboración del nuevo borrador con el fin de compararla con el borrador convencional (PVC y Ftalatos) y evaluar si su producción será competitiva a nivel de los mercados actuales.

4. COSTOS DE LA ELABORACIÓN DEL BORRADOR LIBRE DE PVC Y FTALATOS

La elaboración de un producto implica una variedad de costos para llegar a un precio final de venta. Teniendo en cuenta los valores asociados a la producción de borradores libres de PVC, se realiza el desglose de sus materias primas, los costos fijos y variables, que se utilizan y necesitan en el proceso.

Esta relación de costos, se determina solo para el borrador de concentración de 10% m/m de elastómero debido a que es la menor concentración con resultados conformes en el análisis de dureza.

Para la comparación de costos, se toma como base los borradores presentes en el mercado y el costo que tiene cada uno de ellos.

4.1 COSTOS VARIABLES

El costo o coste variable es aquel que se modifica de acuerdo a variaciones del volumen de producción, se trata tanto de bienes como de servicios. Es decir, si el nivel de actividad decrece, estos costos decrecen, mientras que si el nivel de actividad aumenta, también lo hace esta clase de costos. La compra de las materias primas son una de ellas (elastómero, carga, lubricante, humectante, ayuda de proceso y pigmento), los sueldos de mano de obra indirecta, es decir, los salarios de las personas que manejan todo sobre comercialización, procesos legales y de control, la depreciación de los equipos, reparación o mantenimiento. El empaquetado del producto también hace parte de este costo.⁷¹

Estos costos variables van directamente relacionados a los tratamientos administrativos y energéticos que se deben efectuar en la empresa para que el proceso de producción de borradores sea efectivo, estos costos son divididos en diferentes proporciones por cada uno de los elementos elaborados por la empresa.

4.2 COSTOS FIJOS

Los costos fijos son aquellos que la empresa siempre debe cancelar independientemente de su nivel de producción. Se les conoce como fijos porque no varían ante los cambios a nivel de producción de bienes y servicios. Los gastos de mano de obra directa, los cuales van relacionados con el número de operarios con contrato fijo, en este se tiene en cuenta el valor del salario mínimo vigente con sus diferentes prestaciones de ley, es decir, seguridad social, pensión, salud, caja de compensación, entre otros. También se tiene en cuenta el auxilio de transporte, primas de servicios y sus intereses descritas en la Tabla 13.

⁷¹ ENCICLOPEDIA ECONÓMICA. Costos fijos y variables.[en línea],[Consultado el 14 de diciembre de 2020.]. Disponible en: <https://enciclopediaeconomica.com/costos-variables/>.

Se tiene en cuenta los costos de distribución y promoción, a su vez, los costos de tipo administrativo como gastos de papelería, los servicios de internet y teléfono; en lo que concierne en la elaboración del borrador contemplamos aquellos costos de servicios como el agua y la electricidad, que requiere el motor de la extrusora, la banda transportadora, la bomba de suministro de agua, la estampadora y el sistema de cortado.⁷²

Para el proceso de fabricación de borradores se hace necesario 2 personas, que realizarán las labores de operar la maquinaria, manipulación de la materia prima, empaque de las diferentes presentaciones y organización en las cajas de distribución.

Tabla 12. Cálculo del salario mínimo.

Salario mínimo vigente		
Ítem	Valor COP	
Salario mínimo vigente	\$	877.803
Auxilio de transporte	\$	102.854
Seguridad social (Salud) 12.5%	\$	109.725
Seguridad social (pensión) 16%	\$	140.448
Seguridad social (riesgos profesionales) 0.5%	\$	4.410
Seguridad social (caja de compensación) 4%	\$	35.112
Cesantías	\$	73.150
Intereses de cesantías	\$	8.778
Primas de servicios	\$	73.150
TOTAL	\$	1.425.431

Fuente: elaboración propia.

En resumen, los costos de la propuesta, en donde se contempla tanto costos fijos como variables por cada borrador, son:

Tabla 12. Costo de elaboración del borrador libre de PVC y Ftalatos.

Costos	Mín	Máx
Fijos (COP)	117,3*	132,4*
Variables (COP)	135,2	187,9
Total (COP)	252,5	320,3

Fuente: elaboración propia.

*Los costos fijos fueron suministrados por el presidente de la empresa IDEAS y corresponden al total de las líneas de producción.

Los valores explícitos de los costos variables de la elaboración de borradores libres de PVC y Ftalatos son confidenciales de la empresa por lo tanto solo se expresarán

⁷² Ibid.

en porcentaje y no en valor COP.

Teniendo en cuenta que el costo fijo incide en el total de los costos no se tendrá en cuenta este valor para la comparación de los mismos entre el borrador convencional y el borrador libre de PVC y Ftalatos. Este análisis se realizará con base en el valor de los costos variables.

4.3 COMPARACIÓN DE COSTOS VARIABLES

Para la comparación son necesarios los valores de los costos variables de un borrador convencional de la empresa IDEAS y los del nuevo borrador libre de PVC y Ftalatos. Estos valores son 99,00 COP y 135,19 COP respectivamente. En las tablas 13 y 14 se expresa el porcentaje de los costos variables para cada tipo de borrador.

Tabla 13. Costos variables de un borrador convencional.

Materia prima	% Costo variable
PVC-Elastómero	16,84%
Ftalatos	10,10%
Carga	25,25%
Lubricante	2,02%
Humectante	3,37%
Color	1,47%
Estabilizante térmico	0,51%
Ayuda de proceso	1,26%
Embalaje, empaque y etiqueta	5,85%
Recurso humano	33,33%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Costos variables del borrador libre de PVC y Ftalatos.

Materia prima	% Costo variable
Elastómero	34,03%
Carga	35,50%
Lubricante	0,44%
Humectante	1,18%
Color	0,05%
Estabilizante térmico	0,09%
Ayuda de proceso	0,01%
Embalaje, empaque y etiqueta	4,29%
Recurso humano	24,41%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a estos costos variables se puede inferir que el borrador con elastómero es más costoso, debido a la diferencia de precios entre el PVC y ftalatos (7.000 COP/kg) y el elastómero (23.000 COP/kg).

Sin embargo el incremento del costo al borrador teniendo en cuenta la formulación seleccionada es de 36,2 COP debido a que la concentración del elastómero utilizado en la formulación es de 10%*m/m* y la concentración que se adiciona de PVC y Ftalatos a un borrador convencional es de aproximadamente 40%*m/m*.

El precio al mercado será más costoso comparado con un borrador de PVC pero el riesgo de toxicidad en el ser humano y medio ambiente será menor por lo cual en relación beneficio costo el borrador libre de PVC y ftalatos es acertada.

- **Borradores en el mercado.** Realizando una comparación en costos con los del mercado, podemos ver que su valor aumenta con relación a los elaborados con PVC.

En la siguiente tabla se evidencia las diferentes variedades de borradores encontrados en el mercado, se puede observar que hay presentaciones económicas (\$225-\$700) debido a que la cantidad de unidades es alta por lo cual disminuye el precio al detal, de igual forma a menor número de unidades aumenta su valor unitario. Conociendo el precio aproximado de los borradores en el mercado se puede estimar si el valor proyectado para comercialización del borrador elaborado libre de PVC y ftalatos es viable y se ajusta al mercado.

Tabla 14. Borradores libres de PVC en el mercado.

Clase de borradores	de Presentación (Und)	Precio publico	Precio por unidad	por Distribuidor
Borradores libres de PVC.	2	\$ 2.800	\$ 1.400	Panamericana
	2	\$ 2.000	\$ 1.000	Panamericana
	2	\$ 2.200	\$ 1.100	Panamericana
	10	\$ 5.300	\$ 530	Panamericana
	2	\$ 6.500	\$ 3.250	Panamericana
	20	\$ 4.500	\$ 225	Papelería Antioquia
	1	\$ 700	\$ 700	Papelería Antioquia
	20	\$ 8.500	\$ 425	Papelería Antioquia

Fuente: elaboración propia con base en los precios encontrados en PANAMERICANA y PAPELERIA ANTIOQUIA.

De acuerdo a lo anterior la elaboración de borradores libre de PVC y Ftalatos a base de elastómero termoplástico es más costosa que la producción actual de borradores

convencionales; debido a la materia prima (elastómero). Sin embargo se observa que el costo del borrador elaborado con TPE es de aproximadamente 252,5 COP por lo cual el precio sugerido de venta puede encontrarse en los valores económicos del mercado representando una oportunidad de negocio para la empresa I.D.E.A.S.

5. CONCLUSIONES

- En la revisión bibliográfica para seleccionar las materias primas sustitutas del PVC y ftalatos se seleccionaron resinas de tipo elastómero termoplástico atoxico según ficha de seguridad, cuya características comunes son durezas cercanas a 60 Shore A, doble enlace en su estructura y flexibles, ya que al contar con esta característica no es necesario la adición de un plastificante sustituyendo los Ftalatos con solo sustituir el PVC. Adicional a esto, se realizó un desarrollo pre experimental para determinar la materia prima
- Un borrador de goma esta constituido por una resina base, una carga, en este caso carbonato de calcio, lubricante para evitar que se adhiera la mezcla al husillo, un humectante para compactar el material, un estabilizante térmico que evita la degradación térmica de la mezcla durante la extrusión, ayudas de proceso para incrementar su resistencia a la intemperie y disminución de costo y por ultimo un pigmento que le otorgará el color característico.
- Se ejecutó un desarrollo experimental para determinar la formulación con las materia prima sustituta del PVC y los Ftalatos, obteniendo que el elastómero TPE a una concentración del 10% m/m en la formulación maestra arroja un borrador con un resultado de dureza de 64 Shore A conforme según el rango definido de 63,74 \pm 3 Shore A.
- El análisis de dureza en un borrador permite conocer la rigidez del material frente a esfuerzos moderados y el impacto del mismo frente a la superficie a borrar. Por lo tanto varía en función del elastómero, a mayor concentración, el borrador se desliza en la superficie por su flexibilidad ocasionando una mancha de grafito en el papel; a menor concentración el borrador es duro y tiende a rasgar la zona a borrar.
- El costo de producción de un borrador libre de PVC y ftalatos se incrementa en un 36,19% a comparación con la producción de un borrador convencional, debido a que la materia prima (elastómero) es más costosa que las materias primas actuales.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el mezclado de las materias primas antes de adicionar a la tolva con un mezclador industrial, con el fin de garantizar un mezclado homogéneo.
- Se recomienda, realizar la experimentación con diferentes cantidades de purga para determinar cuál es la cantidad con la que el producto final sale sin materias ajenas al ensayo.
- Se recomienda realizar pruebas de biodegradabilidad a estos borradores, en busca de reducir el impacto en el medio ambiente producido por los mismos.
- Se recomienda realizar los experimentos con un molde más grande, para poder realizar la prueba de abrasión.
- Se recomienda realizar mezclas entre los elastómeros seleccionados por revisión bibliográfica con el fin de disminuir el costo del borrador libre de PVC y Ftalatos.
- Se recomienda realizar un desarrollo experimental para determinar la incidencia de las variables de proceso en la calidad de un borrador.
- Se recomienda determinar los costos energéticos de cada borrador para suprimir el supuesto de los costos fijos teniendo en cuenta que la empresa presenta otras líneas de producción.

BIBLIOGRAFÍA

ARISMEDI, Johan, RUIZ, Cindy. Desarrollo de una propuesta para la producción de borradores libres de policloruro de vinilo (pvc), en la empresa Pelikan Colombia S.A.S. Proyecto de grado para el título de ingeniero Químico. Bogotá D.C. Universidad de América, 2019.

BELTRAN, M. MARCILLA, A. Tipos de plásticos. Tecnología de polímeros. [en línea]. p. 79. [Consultado el 24 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>

BUSTAMANTE, Patricia., LIZAMA, Beatriz., OLAÍZ, Gustavo., VÁZQUEZ F.; Ftalatos y efectos en la salud. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 17, N° 4. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2001. p. 205-215

CERVONE, Frank; Managing digital libraries: the view from 30,000 feet, applied digital library project management Using Pugh matrix analysis in complex decision-making situations. [en línea]. 2009. [consultado 16 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/1206/c49198d48319947a7f140199bb951c375c07.pdf>

CHAUDHARY, BI; LIOTTA, CI; COGEN, JM; GILBERT, M. Plasticized PVC. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2001 1-3p.

CRUZ, A., MORENO, G., LARA, M. Toxicología de las dioxinas y su impacto en la salud humana. [en línea]. Revista de medicina veterinaria N°19. Fecha de publicación: 26 de febrero de 2010. [Consultado el 20 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n19/n19a07.pdf>.

DESQBRE. La vulcanización del caucho. [en línea]. [Consultado el 24 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/descubrimientos/la-vulcanizacion-del-caucho/>.

Ecured. Goma de borrar. [en línea]. 2011. [Consultado el 14 de abril de 2019]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Goma_de_borrar

EIGENMANN & VERONELLI, vestenamer 8012. [en línea]. [consultado el 19 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.eigver.es/news/global/vestenamer-8012/>, consultado el 19/01/2020.

EL MUNDO. Ftalatos, los tóxicos que no desaparecen. [en línea]. Madrid. La entidad. [Consultado el 26 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/salud/2014/01/16/52d80d7922601dbc498b456b.html>

ERASMO, D. ¿Que son los aditivos auxiliares para procesamiento de polímeros?.[en línea] .2004. [Consultado 25 de mayo 2019].Disponible en <http://www.plastico.com/temas/Que-son-los-aditivos-auxiliares-para-procesamiento-de-polimeros+3031683>.

GARZÓN, Andrés. Síntesis y caracterización de un material compuesto a base de polietileno de alta densidad y magnetita pulverizada. Tesis de Maestría. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2015. 130p.

GARRIDO,P.LOPEZ,E.ZARANDIETA,F.Tecnicas empleadas para la fabricacion de los plásticos.[en línea].[Consultado el 25 de agosto de 2019].Disponible en: http://contenidos.educarex.es/mci/2009/43/TEMA2/tecnicas_empleadas_en_la_fabricacin_de_los_plasticos.html

GREENPEACE. Ftalatos (Esteres de ftalatos). [en línea].2003.[Consultado 20 de Agosto de 2019].Disponible en <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/ftalatos-esteres-de-ftalato.pdf>.p.1-4

HERRERA, F. Ciencia de los polímeros. Aditivos en polímeros [en línea].[Consultado 20 de mayo 2019]. Disponible en http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polimeros/TEMA02_Aditivos_en_los_polimeros.pdf.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES.Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Policloruro de vinilo (PVC). Fracción respirable. [en línea] Disponible en <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/%3Fvgnnextoid%3Dc022e54bcbe99110VgnVCM1000000705350aRCRD%26vgnnextchannel%3Dbf78908b51593110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>, (Consultado 25 de mayo 2019)

JIRI, George. Handbook of Thermoplastic Elastomers. Plastics design library.Segunda Edicion, 2004. p.175-185.ISBN:978-0-323-22136-8

JUAREZ, D.BALART,R.FERRADIZ,S.GARCIA,D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia.[en liena].2012, p. 1-22.[Consultado el 18 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/08/2.clasificacion-elastomeros.pdf>.

JUAREZ, D.BALART,R.FERRADIZ,S.GARCIA,D. Estudio y análisis de los polimeros derivados del estireno-butadieno. Revista de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia.[en línea].2013, p.1-17.[Consultado el 18 de septiembre de 2019].Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2013/02/estireno-butadieno.pdf>

LA COMISION EUROPEA.Diario oficial de la unión Europea.Reglamento (UE) 2015/1125 de la comisión de 10 de Junio de 2015.Contenido máximo de hidrocarburos aromáticos políclicos en katsuobushi (bonito seco) y determinados arenques del Báltico ahumados.Bruselas.2015. 1-4.

LINGUEE. Polymer Process Aids. [en línea]. [Consultado 20 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.linguee.cl/ingles-espanol/traduccion/polymer+production+aids.html>.

MALMA,Antonio.Peletizado de polímeros.[en línea].2013.[Consultado el 20 de septiembre de 2019].Disponible en: <https://es.slideshare.net/antonioEgoavilmalma/peletizado-de-polmeros>

MASSÓ,Marc Propietats de la resina ABS, [en línea].[consultado el 15 de noviembre de 2019.].Disponible en:[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex%20D%20ABS%20\(1\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex%20D%20ABS%20(1).pdf).

MATERIALES POLIMÉRICOS Y COMPUESTOS. Curso de fundamentos de ciencia de materiales.[en línea].[Consultado 30 de agosto 2019]. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_8.html

MEXPOLIMEROS.Dureza.[en línea].[Consultado el 20 de septiembre de 2019].Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/dureza.html>.

MEXPOLIMEROS. Poliiolefinas [en línea]. [Consultado 19 de febrero de 2020].Disponible en:<https://www.chemieuro.com/es/polymer-catalogue/polyolefines/>.

MEXPOLIMEROS.Temperatura de transición vítrea.[en línea],[consultado el 23 de marzo de 2020].Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/tg.html>.

MINISTERIO DE JUSTICIA DE COLOMBIA. Control para el manejo de sustancias y productos químicos.[en línea].2018.[Consultado 20 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/CCITE/DOCUMENTO%20CONCEPTUAL%20V8%20\(Enero%2002%20-2018\).pdf](http://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/CCITE/DOCUMENTO%20CONCEPTUAL%20V8%20(Enero%2002%20-2018).pdf).

MORRAL,F.JIMENO,E.MOLERA,P.Metalurgia de los polvos.En: Metalurgia general II.Vol 2.ISBN: 84-291-6073-6.Barcelona.Editorial Reverté S.A.2004.977-1021.

MURPHY, J. Additives for Plastics Handbook, Modifying Processing Characteristics: Couplings Compatibilizing Agents.2001. p,168.

NUÑEZ,K.Estudio de propiedades mecánicas del TPVs de EPDM/polipropileno/aceite parafinico.Revista Tecnica,vol.30,2007,p445.Gale Onfile: Informe académico.[citado el 6 de marzo de 2019].

OJADOS, Gonzalo. Resistencia al desgaste y a la abrasión de polímeros técnicos y nanocomposites. Tesis Doctoral. Cartagena de Indias.Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.p.1-180.

PATRICK. Stuart.; PVC Compounds and processing. Vol 2.Number 3.2004.ISBN 1-85957-472-6. p.3-4.

PEREZ,J.,GARDEY,A.Definición de borrador.[en línea].2016.[Consultado el 18 de septiembre de 2019].Disponible en: <https://definicion.de/borrador/>.

POLYMER PROPERTIES DATABASE. Styrene-ethylene-propylene-styrene thermoplastic elastomer (SEPS) [en línea].[Consultado 20 de octubre de 2019].Disponible en: <http://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/SEPS.html>.

QUEVEDO,Fernando. Normal distribution. Medwave.[en línea]. 2011 May;11(05):e5033 doi: 10.5867/medwave.2011.05.5033.[consultado el 16 de mayo de 2020].Disponible en: <https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/MBE04/5033>.

RUIZ, G.POLÍMEROS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. [En línea].(2005).[Consultado el 8 de abril de 2019]. Disponible en:https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys_RuizAviles_2005.pdf?sequence=2.

SALMAN,A.MUHAMMAD,A. Thermoplastic elastomeric (tpe) materials and their use in outdoor electrical insulation.[en línea]-2011.[Consultado el 20 de Octubre de 2019].Disponible en: http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_12911/02_amin.pdf

SPECIALCHEM,vestenamer 8012.[en línea].[consultado el 19 de enero de 2020].Disponible en: <https://polymer-additives.specialchem.com/product/a-evonik-vestenamer-8012>.

TEXTOS CIENTÍFICOS.Copolimetos y terpolimeros.[en línea]. 2005.[Consultado el 18 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/copolimeros>.

TORRES, Fernando. Polímeros: Proceso de manufactura y diseño. Parte 1: Termoplásticos. Revista de Química. Vol. 13, N° 1. Manchester, Reino Unido:

Universidad de Manchester Instituto de Ciencia y Tecnología (UMIST), 1991. p. 1-14.

VILLADA, Hector. Investigacion de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables. Informacion tecnológica. Vol. 19(2), 3-14 (2008).

WIPO. Composición del borrador libre de PVC .[en línea]. Inventores: SONG, Ha-Kyoung, KANG, Sung-Cho, KANG, Gwan-Ho. Fecha de solicitud: 31/03/2010. Corea. Patente de investigación. WO/2011/122719. Fecha de publicación: 06/10/2011. [Consultado el 18 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011122719>.

WYPYCH, George. Handbook of Plasticizers. Segunda Edición, Toronto. Editorial ChemTec Publishing. 2012. p. 50-110.

ANEXOS

**ANEXO A.
HOJA DE SEGURIDAD DEL SBS**

Anexo B.
Hoja de seguridad del TR.

**ANEXO C.
HOJA DE SEGURIDAD DEL TOR.**