

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE
BORRADORES LIBRES DE POLICLORURO DE VINILO (PVC), EN LA
EMPRESA PELIKAN COLOMBIA S.A.S.

JOHAN SEBASTIAN ARISMENDI PEÑA
CINDY TATIANA RUIZ CUBILLOS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE
BORRADORES LIBRES DE POLICLORURO DE VINILO (PVC), EN LA
EMPRESA PELIKAN COLOMBIA S.A.S.

JOHAN SEBASTIAN ARISMENDI PEÑA
CINDY TATIANA RUIZ CUBILLOS

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
José U. Medina
Ingeniero Químico

Codirector
Juan Camilo Cely
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019

Nota de aceptación

Ing. Claudio Alberto Moreno Arias
Jurado

Ing. Luz Briceida Pardo Rojas
Jurado

Bogotá D.C., agosto de 2019

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y De Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

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 los autores.

DEDICATORIA

Este proyecto de grado lo dedico de antemano a mis padres Nirza Peña y Henry Arismendi, por el apoyo incondicional que me brindaron en cada etapa tanto del proyecto como a lo largo de mi carrera y vida, por otro lado, se lo dedico a mis tíos en general que me apoyaron y motivaron a realizarlo, a mis abuelos Blanca Camargo, Gladis Rojas y Julio Arismendi, por la paciencia que me tuvieron, en los momentos de angustia, y los consejos que me brindaban para seguir.

Por otro lado, dedico a cada persona que me brindo un granito de arena, ya sea con una idea o con un redacte bien Sebastián!, porque me permitieron crecer como persona y profesional.

Por último, dedico este proyecto a la mujer que me inspiro para estudiar Ingeniería Química, Andrea Peñuela.

Johan Sebastian Arismendi

DEDICATORIA

A mi abuelo Lucrecio Cubillos Ardila, porque su gran sueño fue ver a sus nietos graduados como profesionales. Hoy que está en el cielo le dedico mi primer logro como ingeniera, ya que fue y seguirá siendo mi más grande motivación. Gracias a sus sabias palabras y enseñanzas, hoy seguiré siendo una buena mujer y una profesional integra.

A mis padres, Edilsa Cubillos Cubillos y Alberto Ruiz Poveda, porque gracia a su apoyo incondicional logré culminar una etapa importante de mi vida. Por sus voces de aliento y los consejos que siempre llegaron en el momento apropiado para seguir adelante. A mi madre principalmente por el ejemplo de mujer valiente que me has dado.

A mi hermana Sonia Ruiz, por el apoyo que me brindo al escucharme en cada momento que lo necesitaba y por nunca permitir que me rindiera. Gracias a su ejemplo de mujer, he podido crecer en conocimiento y humildad.

A mis amigos y compañeros por que juntos logramos terminar esta etapa de nuestras vidas, gracias por las enseñanzas, la compañía, las experiencias y las lecciones de vida, que aportaron a mi crecimiento personal en madurez y valentía.

A todos los que en algún momento nos apoyaron en el desarrollo del proyecto.

Tatiana Ruiz

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la sabiduría para afrontar los obstáculos que se nos presentaron a lo largo de este proyecto, por la paciencia y dedicación que nos dio.

Queremos agradecerle al director del proyecto, Ingeniero José Urbano Medina por el apoyo que nos brindó durante la ejecución de este y por confiar en nuestras capacidades.

Al ingeniero de procesos, Henry Garzón por el conocimiento y dedicación que nos ofreció, por compartir con nosotros las dificultades que se nos presentaron y darnos la ayuda necesaria para superarlas. Agradecemos por las sugerencias e ideas brindadas.

Asimismo, agradecemos a todos los integrantes del grupo Pelikan Colombia S.A.S., por ayudarnos en la experimentación en el laboratorio, brindarnos lo solicitado y guiarnos en las pruebas que se realizaron.

Por el tiempo dedicado a las correcciones del proyecto, por su experiencia y consejos a lo largo de este, por la atención a las preguntas y sugerencias, queremos agradecer al Ingeniero Juan Camilo Cely, docente de la Universidad de América.

Al profesor, Dr. Alejandro Pérez Flórez, por colaborarnos con las pruebas químicas en la Pontificia Universidad Javeriana y al Ingeniero Alexander Castillo Cabra, por facilitarnos la inyectora en el Servicio Nacional de Aprendizaje y así lograr realizar la experimentación, igualmente por la experiencia y conocimiento que nos ofreció en el tema.

Finalmente, queremos agradecer a nuestras familias y amigos porque sin su apoyo no hubiera sido posible culminar este proyecto, gracias a su confianza y fuerza para crecer como personas y profesionales, fuimos capaces de elaborar este proyecto de la mejor forma. Gracias a nuestras Madres y hermana por la paciencia y energía que no ofrecieron en los tiempos de angustia.

A todas las personas que nos apoyaron y motivaron muchas gracias.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	24
1. MARCO TEÓRICO	25
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	25
1.2 CONTEXTO MUNDIAL	27
1.2.1 Tipos de borradores	29
1.3 MATERIALES QUE SE BUSCAN SUSTITUIR EN LA MANUFACTURA DE BORRADORES	31
1.3.1 Policloruro de vinilo (PVC)	31
1.3.1.1 Propiedades	32
1.3.1.2 Clases de PVC	33
1.3.1.3 Problemas ambientales relacionados con el uso de PVC en borradores	34
1.4 PLASTIFICANTE	36
1.4.1 Ftalatos	38
1.5 PROCESO DE MANUFACTURA EN GENERAL	39
1.5.1 Inyección.	39
1.5.2 Horneo de gomas	40
1.5.3 Extrusión	40
1.5.3.1 Ayudantes del proceso de extrusión	41
1.6 ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN DEL PVC Y FTALATOS.	42
1.6.1 Resina base	42
1.6.1.1 Estirénicos (SBCs o TPE-S)	46
1.6.1.2 Olefinicos (TPOs o TPE-O)	46
1.6.1.3 Vulcanizados termoplásticos (TPVs o TPE-V)	46
1.6.1.4 Poliuretanos termoplásticos (TPUs o TPE-U)	47
1.6.1.5 Copoliésteres (COPEs o TPE-E)	47
1.6.1.6 Copoliamidas (COPAs o TPE-A)	47
1.6.1.7 Otras resinas	48
1.6.2 Carga o rellenos	49
1.6.3 Lubricante externo e interno	50
1.6.3.1 Clases de lubricantes	50
1.6.4 Estabilizante térmico	51
1.6.5 Pigmento	52
1.7 NORMATIVA EUROPA	52
2. DIAGNOSTICO	54
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	54
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL BORRADOR LIBRE DE PVC	58
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS BORRADORES LIBRE DE PVC DISPONIBLES EN EL MERCADO	58
2.4 VERIFICACIÓN LIBRE DE-PVC	59

2.4.1	Pruebas de comparación físicas	59
2.4.2	Pruebas químicas (espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier).	69
2.4.2.1	Antecedentes	70
2.4.2.2	Funcionamiento	71
2.4.2.3	Background	71
2.4.2.4	Lectura del espectro	72
2.4.2.5	Aplicaciones	72
2.5	ANÁLISIS DE PRUEBAS Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	72
2.5.1	Resultados de las pruebas de comparación físicas	72
2.5.2	Resultados de las pruebas químicas	76
2.5.3	Condiciones de selección	82
2.5.4	Materiales seleccionados por revisión bibliográfica	83
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL DE ALTERNATIVAS	85
3.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE POSIBILIDADES	85
3.2	DESARROLLO EXPERIMENTAL	86
4.	ELABORACIÓN DE BORRADORES	88
4.1	EJECUCIÓN EXPERIMENTAL	88
4.1.1	Pruebas de calidad	93
4.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS	93
4.2.1	Compuesto completo	93
4.2.2	Compuesto mezcla	97
4.3	ESQUEMA DEL PROCESO	100
4.3.1	Peletizado	101
4.3.2	Extrusión	101
4.3.3	Trituración	101
4.3.4	Refrigeración	101
4.3.5	Banda Transportadora	102
4.3.6	Estampado	102
4.3.7	Corte	102
4.3.8	Empacado	102
4.4	EXTRUSIÓN EN LA MANUFACTURA DE BORRADORES	103
4.4.1	Tipo de extrusión	103
4.4.2	Condiciones del dado	104
4.4.3	Temperatura	104
4.4.4	Velocidad	105
5.	COSTOS DE LA ELABORACIÓN DE BORRADORES LIBRE DE PVC	106
5.1	COSTOS FIJOS	106
5.2	COSTOS VARIABLES	106
5.3	COMPARACIÓN DE COSTOS	108
5.3.1	Borradores en el mercado	109
6.	CONCLUSIONES	110

7. RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFIA	112
ANEXOS	118

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades de las clasificaciones de TPE.	44
Tabla 2. Propiedades del SBS.	44
Tabla 3. Propiedades del SEBS.	45
Tabla 4. Propiedades del SEPS.	46
Tabla 5. Propiedades de TPO's.	46
Tabla 6. Propiedades del SEBS.	47
Tabla 7. Región del espectro de infrarrojo.	70
Tabla 8. Resultados generales de las pruebas de comparación de los borradores presentes en el mercado.	75
Tabla 9. Picos representativos de BFC.	78
Tabla 10. Longitud de onda del carbonato de calcio.	80
Tabla 11. Longitudes de onda del SBS.	81
Tabla 12. Rango de concentración de los materiales según patente.	85
Tabla 13. Ensayos compuesto mezcla.	87
Tabla 14. Resultados pruebas inyección con el compuesto completo.	96
Tabla 15. Resultados pruebas inyección con el compuesto mezclado.	99
Tabla 16. Cálculo del salario mínimo.	107
Tabla 17. Materia prima directa (compuesto completo).	108
Tabla 18. Costo de la propuesta por borrador.	108
Tabla 19. Productos en el mercado.	109

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Plastificantes usados en la industria.	37
Cuadro 2. Equipos empleados para las pruebas físicas.	60
Cuadro 3. Características de los materiales seleccionados.	83

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Localización de la empresa.	25
Imagen 2. Caucho natural.	27
Imagen 3. Dioxina.	28
Imagen 4. Goma moldeable.	29
Imagen 5. Goma de borrar de miga de pan.	30
Imagen 6. Goma de plástico duro.	30
Imagen 7. Goma de borrar tinta y lápiz Pelikan.	31
Imagen 8. Pellets de PVC.	32
Imagen 9. PVC flexible.	33
Imagen 10. PVC rígido.	34
Imagen 11. Isla de plástico.	35
Imagen 12. Molécula de ftalato.	38
Imagen 13. Proceso de inyección en polímeros.	39
Imagen 14. Extrusora de tubos de PVC.	41
Imagen 15. Pellet plástico.	43
Imagen 16. Ciclo de vida del PVC.	56
Imagen 17. Desechos de diferentes productos a base de PVC.	57
Imagen 18. Borradores disponibles en el mercado.	59
Imagen 19. Prueba de dureza en los borradores disponibles en el mercado, utilizando un durómetro Mitutoyo.	63
Imagen 20. Adecuación de borradores para prueba de abrasión de los borradores presentes en el mercado y prueba en curso.	64
Imagen 21. Prueba de borrar a los borradores disponibles en el mercado.	65
Imagen 22. Pruebas organolépticas a borradores disponibles en el mercado.	69
Imagen 23. Toma del peso y medidas de borradores libres de PVC disponibles en el mercado.	69
Imagen 24. FTIR para el SBS.	70
Imagen 25. Background de FTIR de mediciones estandarizadas reportadas en la literatura.	71
Imagen 26. Prueba de borrado para los diferentes borradores con diferentes presiones.	73
Imagen 27. Prueba de migración de los diferentes borradores.	73
Imagen 28. Pruebas organolépticas para borradores encontrados en el mercado.	74
Imagen 29. Esquema del BFC. Donde la ordenada es el porcentaje de transmitancia y la abscisa es la longitud de onda.	78
Imagen 30. Material completo en pellet.	88
Imagen 31. Inyectora Battenfeld referencia Smartpower 60.	89
Imagen 32. Succión del material completo para la inyección.	89
Imagen 33. Progresión de polietileno a material completo.	90

Imagen 34. Borradores seleccionados de materia completo inyectado para elaboración de borradores.	90
Imagen 35. Componentes para extrusión para el compuesto mezcla. (elastómero, carga, ayudante de proceso).	91
Imagen 36. Mezclas para extrusión del compuesto mezcla.	91
Imagen 37. Peletizado de las mezclas 1, 2 del componente mezcla.	92
Imagen 38. Ensayos del compuesto mezcla. Dimensiones 67x12x2 mm.	92
Imagen 39. Pruebas de borraridad a los borradores elaboradas con el material completo. Ensayo realizado a tres réplicas. 1) Calidad de borrado , 2) Cantidad de mancha, 3) Viruta.	94
Imagen 40. Mancha presentada luego de la prueba de borraridad en los borradores.	94
Imagen 41. Resultado de migración borradores de material completo.	95
Imagen 42. Prueba organoléptica del compuesto completo.	96
Imagen 43. Resultados de la prueba de borraridad de las cuatro muestras del compuesto mezclado.	98
Imagen 44. Incoterm FOB.	107

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfica 1. Pérdidas y ganancias en el sector de útiles escolares para el año 2017 en Colombia.	26
Gráfica 2. Infrarrojo con transformada de Fourier, conjunto de borradores.	79
Gráfica 3. Espectro de carbonato de calcio sobrepuesto en el espectro de BMP prisma.	80
Gráfica 4. Espectro de SBS sobrepuesto en el espectro de BMP prisma.	81
Gráfica 5. Perfil de temperatura para la extrusión del material completo.	104
Gráfica 6. Perfil de temperatura para la extrusión de los materiales mezclados.	105

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Prueba de dureza.	62
Diagrama 2. Prueba de abrasión.	64
Diagrama 3. Prueba de borrabilidad.	66
Diagrama 4. Prueba de migración.	67
Diagrama 5. Pruebas organolépticas.	68
Diagrama 6. Esquema del proceso de producción de borradores.	100

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. prueba de borrabilidad de los borradores encontrados en el mercado.	119
Anexo B. prueba de migración de los borradores encontrados en el mercado.	124
Anexo C. resultados de las pruebas de comparación para los diferentes borradores encontradas en el mercado.	127
Anexo D. espectros de los borradores presentes en el mercado.	128
Anexo E. espectro de los borradores sobrepuesto con el espectro del carbonato de calcio.	130
Anexo F. espectro de los borradores sobrepuestos con el espectro del sbs.	132
Anexo G. resultados de borrabilidad de los borradores del compuesto completo.	134
Anexo H. resultados de migración de los borradores del compuesto completo.	137
Anexo I. resultados de borrabilidad de los borradores del compuesto mezcla.	139
Anexo J. resultados de las pruebas de comparación para los diferentes borradores del compuesto completo.	142
Anexo K. especificaciones de inyectora - extrusora.	143

LISTA DE ABREVIACIONES

PVC:	Policloruro de Vinilo.
BFC:	Borrador negro tipo 1.
BFC-2:	Borrador blanco tipo 2.
BMO:	Borrador blanco tipo 3.
BMP:	Borrador blanco tipo 4.
BBR:	Borrador blanco tipo 5.
BBN:	Borrador negro tipo 6.
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.
FTIR:	Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier.
PCC:	Carbonato de calcio precipitado.
PHR:	Partes por resina – caucho.
GCC:	Carbonato de calcio molido.

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.

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

BORRADOR: objeto utilizado para eliminar grafito en diferentes superficies.

COMPUESTO COMPLETO: hace referencia a un producto encontrado en el mercado que en su composición cuenta con los componentes necesarios para la elaboración de borradores

COMPUESTO MEZCLA: hace referencia a la mezcla realizada con elastómero, carga y ayudante de proceso.

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

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

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.

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

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

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

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

TEMPERATURA VITREA: es una transición característica de las sustancias amorfas. Por encima de la temperatura vítrea la materia tiene un aspecto viscoelástico, es decir, tiene características gomosas; por debajo de esta temperatura se encuentra en estado sólido vítreo es decir muy frágil.

RESUMEN

Actualmente los borradores de la empresa Pelikan Colombia S.A.S. se elaboran en base a PVC y plastificantes, estos dos productos tienen efectos nocivos para el medio ambiente, 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 pero que ofrezca la misma calidad que tienen los borradores.

Los borradores que se encontraron en el mercado son evaluados en cuanto a calidad y caracterizados químicamente mediante FTIR, para conocer el tipo de material utilizan. Para elaborar borradores libres de PVC, es necesario utilizar un elastómero termoplástico que tenga propiedades similares al caucho natural y aditivos que ayuden en el procesamiento del producto; para esto se busca las ofertas de material primas y se extruyen las mezclas que según patentes serían las más apropiadas. La extrusión debe hacerse con el material o mezcla peletizado para asegurar una mezcla homogénea. El compuesto completo que se extruyo tiene una buena calidad en cuanto a borrado y poca migración con una dureza de 56,83 shore A.

En conclusión, es posible sustituir el PVC como materia base en la fabricación de borradores, para esto se utiliza un elastómero que tiene las propiedades similares pero que de igual forma permite que el borrador tenga una buena calidad.

Palabras clave: borrador, PVC, plastificantes, elastómeros, dureza, extrusión, inyección.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se emplea el PVC, en diversas aplicaciones como la producción de tuberías, envases para productos alimenticios y útiles escolares como el borrador, debido a la disponibilidad de este, pues su costo es bajo en relación a otros polímeros que cumplen las mismas funciones; pero no se está teniendo en cuenta, los factores contraproducentes que presenta. Uno de ellos es al momento de su procesamiento, dado que puede liberar dioxinas, debido al enlace de cloro que presenta en su estructura¹. Estas dioxinas presentan un riesgo para la salud del ser humano.

Utilizan un plastificante como el ftalato el cual puede llegar a generar alteraciones a la salud del ser humano, especialmente en la gestación del feto masculino².

Por otro lado, en la disposición final del PVC, al presentar una estructura altamente rígida, su degradación requiere un mayor tiempo en comparación con otro tipo de precursores y polímeros, por esto se busca reemplazar este material.

En la producción de borradores se utiliza como la resina base puesto que el PVC flexible arrastra el grafito, es decir, borrar, por lo cual se buscan diferentes alternativas que cumplan con la misma función, una posibilidad son los elastómeros termoplásticos, debido a que en su estructura presentan un componente que permite el arrastre de grafito con facilidad en diferentes superficies, especialmente en el papel.

Aunque el material se podría emplear sin muchos aditivos, la producción de estos llegaría a ser altamente costosa y su rentabilidad sería baja, por esto se contemplan aditivos que reducen el volumen de elastómero empleado, como la carga la cual es un mineral que permite aumentar la densidad del material sin afectar las propiedades del elastómero, un lubricante que es empleado en el procesamiento para evitar que el material al ser extruido presente imperfecciones, un humectante el cual compacta los diferentes materiales, un estabilizante térmico que evita la degradación del material a altas temperaturas y por último un pigmento el cual es empleado para dar tonalidad al borrador.

¹ CRUZ, Anastasia., et al.; Toxicología de las dioxinas y su impacto en la salud humana. Revista de Medicina Veterinaria N°19/ Enero-junio. Bogotá D.C., Colombia: Universidad de La Salle, 2010. p. 73-84.

² BUSTAMANTE, Patricia., et al.; 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.

Los diferentes materiales anteriormente descritos pueden ser procesados por diferentes métodos, como extrusión e inyección³, debido a la replicabilidad de los resultados, ya que manejan perfiles de temperatura similares, en los cuales pueden presentar una diferencia no mayor a cinco grados entre los dos, una diferencia relevante es la velocidad que emplea cada proceso, pero esta afecta directamente la generación de perfiles o la pieza completa; referente a propiedades no se presenta diferencia, permitiendo así llevar a cabo las diferentes pruebas para determinar la calidad del borrador obtenido, ya sea con productos obtenidos de extrusión o inyección.

El proyecto se realizó en varias etapas, para iniciar se realizó una caracterización de los borradores presentes en el mercado, en donde se identificó la NO presencia de PVC, esto para tener una base en cuanto a calidad y que permita identificar una posible materia prima. Se continuo con una revisión bibliográfica de diferentes materiales buscando las características similares al caucho natural y aditivos para el procesamiento.

Para corroborar que los materiales seleccionados cumplieran con las características que se estaban buscando se ejecutó un desarrollo experimental, donde se identificó la compatibilidad entre los materiales y si el proceso es el adecuado.

Finalmente se evalúan los costos del proyecto para identificar la diferencia entre el producto que se elabora actualmente y la propuesta.

De acuerdo a las diferentes pruebas de calidad se selecciona la mejor formulación, la cual cumpla los diferentes estándares como borrado, baja migración, porcentaje de viruta generada, condiciones organolépticas y generación de macha tanto en la superficie del borrador, como en el papel empleado. Sin dejar de lado los estándares de la empresa y el cumplimiento de las diferentes normativas para su distribución a nivel nacional e internacional.

³ 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.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para la producción de borradores libres de PVC, en la empresa Pelikan Colombia S.A.S.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-) Seleccionar los materiales para la fabricación de un producto libre de PVC.
-) Establecer la formulación del borrador por medio de un desarrollo experimental.
-) Establecer los requerimientos técnicos para la producción teniendo en cuenta la maquinaria de la empresa.
-) Realizar el análisis de costos del nuevo borrador.

1. MARCO TEÓRICO

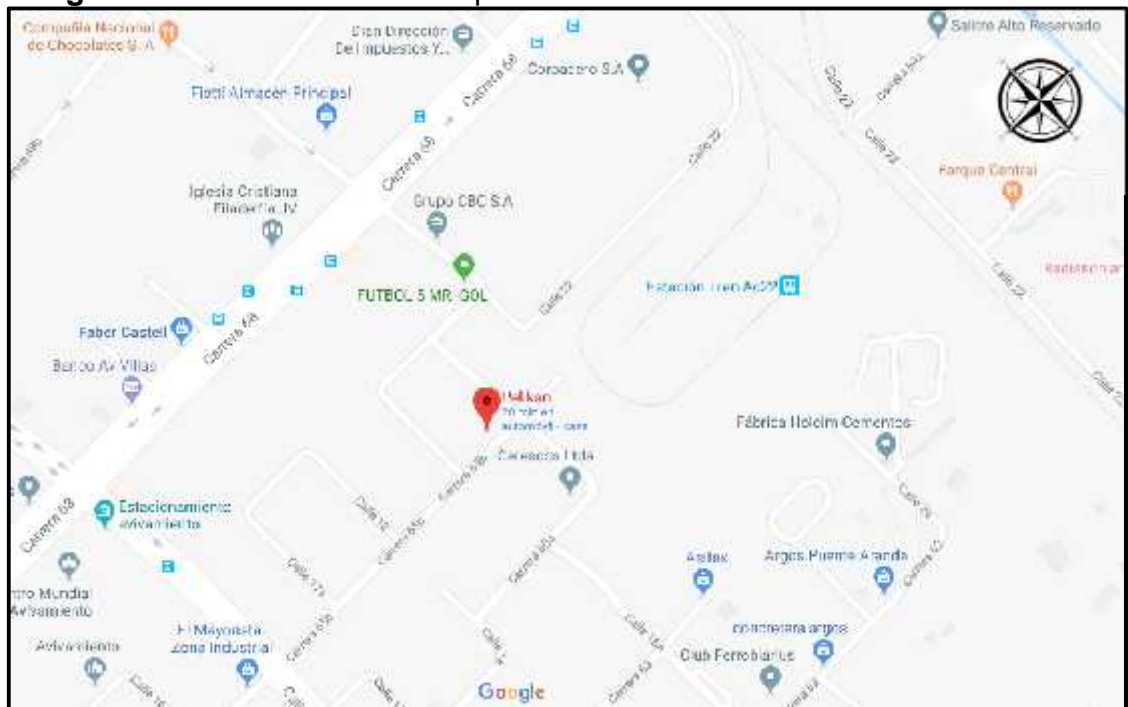
El desarrollo de una propuesta para el remplazo del PVC y plastificante (ftalatos) como materia prima de los borradores, requiere conocer previamente todo lo relacionado con el PVC, incluyendo propiedades que este le otorga, clases y todas las variables que se ven involucradas en el proceso de fabricación, igual que del ftalato se debe conocer porque se utiliza y las diferentes propiedades que este otorga al producto final.

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

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Pelikan Colombia S.A.S. es una multinacional que se dedica a la elaboración de productos escolares. Está ubicada en la Carrera 65b # 18 a – 17, zona industrial Las Granjas, (localidad de puente Aranda).

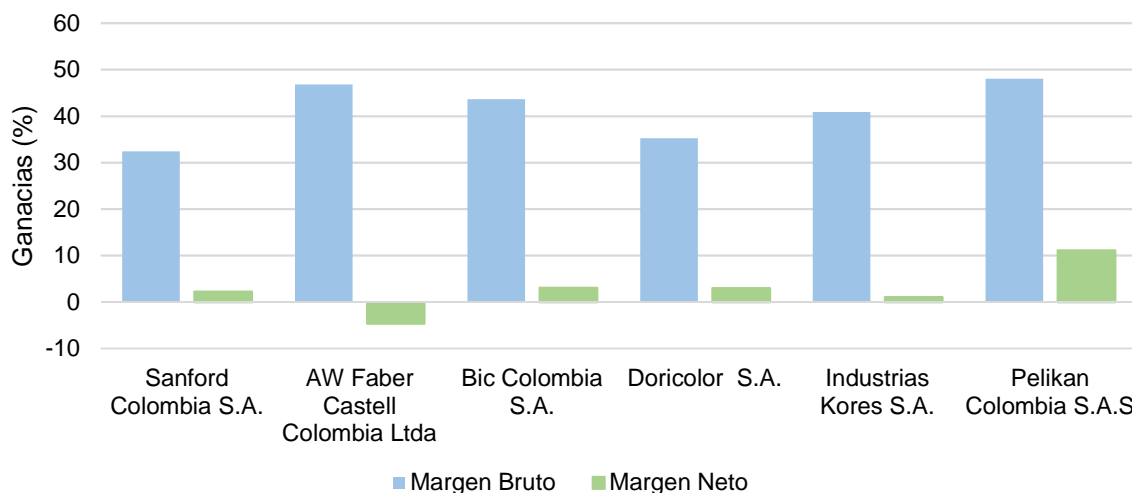
Imagen 1. Localización de la empresa.



Fuente. Google Maps Disponible en <https://www.google.com/maps/place/Pelikan/@4.6402843,-74.1140427,17z/data=!3m1!4m5!3m4!1s0x8e3f9bee2c7b8c43:0x765cd6e01173c06b!8m2!3d4.640279!4d-74.111854> Consultado 2 abril 2019.

La empresa tiene un alto posicionamiento en el mercado de productos escolares; según estadísticas proporcionadas por la empresa, se generaron ganancias de alrededor de 44.943 mil millones de pesos para él 2017, abarcando así el 48% del mercado nacional⁴ y su margen neto de ganancias es de alrededor del 11%, lo cual permite corroborar lo anteriormente descrito.

Gráfica 1. Pérdidas y ganancias en el sector de útiles escolares para el año 2017 en Colombia.



Fuente: elaboración propia.

La empresa quiere aumentar su margen neto permitiendo así expandir su oferta de productos a nivel regional. En los diferentes focos de mercado se encuentra la demanda de productos escolares, la cual se centra en las tintas, temperas resaltadores y borradores.

Para esto busca elaborar productos más amigables con el medio ambiente lo cual puede llevar a que el producto cumpla con estándares de calidad y ser aceptados por mercados internacionales. Esto se puede cumplir si se alcanzan todos los requerimientos normativos.

Pelikan, cuenta con más de 180 años de historia generando productos de alta calidad, distribuidos alrededor del mundo; a nivel nacional cuenta con 60 años en el país, permitiéndole así convertirse en una marca líder en rendimiento. Actualmente en su oferta de productos se encuentra, dos líneas de producción de borradores, los cuales son elaborados a partir de PVC, como resina base, plastificante y entre otros aditivos.⁵

⁴ *NOTA: Datos suministrados por la empresa Pelikan Colombia S.A.S.

⁵ *NOTA: Datos suministrados por la empresa Pelikan Colombia S.A.S.

En la actualidad la empresa quiera exportar el producto llegando a mercados europeos en donde se manejan normas como la REACH⁶, donde establece que los productos hechos a base de polímeros, para uso cotidiano deben estar libres de PVC y plastificantes que generen alteraciones para el organismo del ser humano y en ambiente circundante.

1.2 CONTEXTO MUNDIAL

El grafito fue empleado como elemento de escritura en 1560, las marcas de indeseadas de grafito eran eliminadas con pan húmedo y otros materiales similares.

Imagen 2. Caucho natural.



Fuente. GRUPO PROJAR. Disponible en <https://www.sltcaucho.org/projar-apuesta-por-el-uso-de-bandas-de-caucho-natural-fotodegradables-para-la-epoca-de-injertos/> Consultado 2 abril 2019.

Hasta 1720 donde se descubre que el caucho proveniente de *Hevea brasilienses* podría borrar marcas de grafito.⁷ Se llamó goma de borrar en 1770 por Priestley, puesto que él afirmaba que este frotaba marcas de lápiz; se presentaron inconveniente ya que este se afectaba por el cambio de clima y al degradarse tenía un olor desagradable.

Para solucionar esto, en 1839 se realizó una vulcanización por parte del Ingeniero Químico Goodyear, esta consiste en agrega azufre para curar el borrador, generando resistencia, estabilidad y elasticidad al caucho.

En los años 90 se comienza a realiza la producción de borrador a partir de policloruro de vinilo debido a que algunos materiales, como el látex pueden llegar a generar algún tipo de afectación alérgica en poblaciones.⁸ Esto llevo a que se invirtiera en el desarrollo e investigación de sustitutos de este material, como en el caso del PVC.

⁶ REACH, es una norma europea de control y manejo de sustancias químicas.

⁷ CHEMICAL AND ENGINEERING NEWS. Eraser [en línea].

⁸ Ibid.

En la producción de borradores se agrega goma sintética a una laminadora, donde pasa por unos rodillos a alta temperatura, se añade azufre como agente de curado, de esta forma se realiza la vulcanización, luego se añaden aceleradores y colorantes. Se realiza el mezclado hasta que tenga la consistencia de una masa gruesa, luego se añade un aceite vegetal vulcanizado, el cual fue tratada anteriormente con azufre y carbonato de calcio.

Al tener color y grosor adecuados las láminas se retiran de los rodillos y se dejan enfriar a temperatura ambiente, para luego ser cortadas, y llevadas a una prensa al vapor para ser curadas a alta temperatura, la presión compacta la goma y la temperatura la endurece, finalmente se corta el sobrante y se lleva a agua fría para terminar su curado.

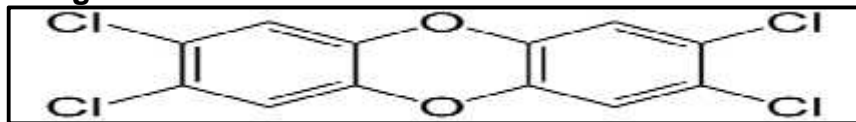
Se corta de acuerdo a lo solicitado y se une con la goma que contiene piedra pómez, (esta es utilizada para borrar tinta puesto que el material es más abrasivo), luego estos dos materiales son llevados a una prensa donde se unen, luego son refrigerados en agua fría y posteriormente cortados, finalmente se etiquetan y se empaican⁹.

Otro método de producción de borradores es por medio de la extrusión, para esta se mezcla la materia prima, donde el color se añade solo para identificación de la mezcla más abrasiva, esta se añade a una extrusora donde se obtendrán los perfiles de borrado. Como este sale a una temperatura elevada se debe realizar una refrigeración por medio de agua fría para posteriormente cortar y empaicar.¹⁰

Actualmente se utiliza PVC con plastificantes, en general estos plastificantes son sustancias químicas llamados ftalatos encargados de brindarle a la goma de borrar características (flexibilidad, suavidad, entre otros); pero presentan desventajas dado que el PVC es una materia prima que paulatinamente se ha venido retirando del mercado por tener potenciales impactos ambiental perjudiciales.

En cuanto a la toxicidad de este material esta se da porque forma sustancias organocloradas al momento de quemarse, estas emiten dioxinas que tienen un efecto nocivo en el medio ambiente y conllevan problemas respiratorios.

Imagen 3. Dioxina.



Fuente. MARINA. Guillermo.; La muerte silenciosa. Disponible en <https://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/01/11/la-muerte-silenciosa/> Consultado 2 de abril 2019.

⁹ HOW IT'S MADE. How It's made eraser [en línea]

¹⁰ STAEDTLER. Eraser production. [en línea]

Estas dioxinas se liberan durante el proceso de producción, estos compuestos son muy estables, permanecen en el aire, agua y suelo cientos de años resistiéndose a la degradación.

Debido a que no se encuentran presentes en la naturaleza, la mayoría de los organismos no pueden metabolizar este tipo de sustancias, por lo que se acumulan en el cuerpo del organismo que las ingiere, además tienen la propiedad de resistir la degradación biológica¹¹.

Otra desventaja de estos compuestos es la procedencia derivada de hidrocarburos, estos también les confiere un aspecto contaminante al momento de desecharse.

Por esto se busca reemplazar este material por otro eco-amigable y sustentable sin perder las características y calidad del borrador.

1.2.1 Tipos de borradores

) **Goma moldeable:** es una goma 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.¹²

Imagen 4. Goma moldeable.



Fuente. GOMA
MOLDEABLE LYRA.
Disponible en
<https://ojoporojo.cl/gomas-de-borrar/425-goma-moldeable-lyra.html>
Consultado 3 de abril 2019.

¹¹ EPA. Science Advisory Board's review of the Draft Dioxin Exposure and Health Effects Reassessment Documents [en línea]

¹² LA GOMA DE BORRAR. [en línea].

-) **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 endebles y no daña la superficie del papel.¹³

Imagen 5. Goma de borrar de miga de pan.



Fuente. Goma de borrar milan 4020 miga de pan (cmm4020) Disponible en <https://www.carlin.es/goma-de-borrar-milan-4020-miga-de-pan.html> Consultado 3 de abril 2019.

-) **Gomas de plástico duro:** tiene una textura más fuerte, es más duradera dado que se desgasta menos. Es perfecta para trazos suaves y medios.¹⁴ Produce tiras pequeñas, es similar a la miga de pan, pero no produce tanta viruta.

Imagen 6. Goma de plástico duro.



Fuente. GOMAS DE BORRAR. Disponible en <https://www.barna-art.com/gomas-de-borrar>. Consultado 3 de abril 2019.

¹³ Ibid.

¹⁴ ECONOMATO DE ARTE. Gomas de borrar. [en línea]

) **Gomas de borrar tinta:** en su composición este otro material que 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.**¹⁵

Imagen 7. Goma de borrar tinta y lápiz Pelikan.



Fuente. GOMAS PARA TINTA CHINA. Disponible en <https://papeleria-tecnica.net/gomas-para-tinta-china/>. Consultado 3 de abril 2019.

1.3 MATERIALES QUE SE BUSCAN SUSTITUIR EN LA MANUFACTURA DE BORRADORES

Partiendo de la materia prima utilizada en Pelikan, se determina cuáles son los materiales a sustituir para lograr un borrador libre de PVC.

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 un porcentaje pequeño de cristales en su estructura, presenta una temperatura de transición vítrea de 80°C, que se reduce con el plastificante, permitiendo que el material sea versátil¹⁶.

¹⁵ BARNA-ART. Gomas de borrar. [en línea]

¹⁶ CHAUDHARY, BI; LIOTTA, CI; COGEN, JM; GILBERT, M. Plasticized PVC. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2001 1-3p

Imagen 8. Pellets de PVC.



Fuente. DHGATE. Plástico blanco Mastebach PVC. Disponible en: <https://es.dhgate.com/product/white-plastic-masterbatch-raw-material-factory/406537384.html>
Consultado 3 de abril 2019

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.¹⁷.

De acuerdo a lo anterior el PVC es el polímero más estudiado durante las últimas décadas, puede ser el más empleado en diferentes áreas como son la construcción, salud, energía, alimentos, tecnología, agricultura y entre otros¹⁸.

1.3.1.1 Propiedades. El PVC presenta una temperatura vítrea es de 80 °C, se puede mantener en fase solida al agregarle diferentes aditivos o puede ser completamente flexible, esto se da gracias a la versatilidad del compuesto.

La durabilidad es uno de los factores que más favorece al PVC debido a su estructura molecular, en 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.

¹⁷ BELTRÁN, Cristóbal. Ingeniería Básica De Una Planta De Producción De Policloruro De Vinilo (PVC) Granular. Ingeniería química. Sevilla. Universidad de Sevilla. 2016. p. 49

¹⁸POLVOLENO. Policloruro de vinilo (PVC). [en línea]. p.2

La resistencia química, hace que sea resistente a componentes ácidos o básicos u otros componentes inorgánicos; por el lado de los disolventes orgánicos como hidrocarburos aromáticos o cetonas, puede llegar a hincharse o disolverse, es útil emplearla en procesos como tubos de escape de gases, entre otros.

La procesabilidad de un material termoplástico depende directamente de la viscosidad de este, el PVC no es adecuado para procesos de inyección, por tanto, se emplea en procesos de extrusión debido a la estabilidad térmica.

La compatibilidad con otras sustancias por ser amorfo es favorable; al entrar en contacto con otros componentes le genera flexibilidad, elasticidad, resistencia al impacto, antiincrustantes, prevención del crecimiento microbiano y retardante de llama.¹⁹.

1.3.1.2 Clases de PVC

) **PVC flexible:** conocido como PVC plastificado, el cual funciona para componentes moldeados, al mezclarse con plastificantes sus usos se incrementan.

Las propiedades de los productos vinílicos flexibles dependen de los aditivos que contienen, generándolo así propiedades como resistencia química, alta tenacidad, resistencia ambiental, buena apariencia superficial, se puede limpiar fácilmente, entre otras.²⁰

Imagen 9. PVC flexible.



Fuente. PVC flexible. Disponible en <https://solucionestermoplasticas.com/pvc-flexible-que-es-para-que-sirve/> Consultado 3 de abril 2019.

¹⁹ PATRICK. Stuart.; PVC Compounds and processing. ISBN 1-85957-472-6. p.3

²⁰ POLVOLENO. Op. cit., p.5.

) **PVC rígido:** se obtiene por la fusión y moldeo a temperaturas adecuadas con aditivos sin contemplar plastificantes, obteniendo así materiales resistentes al impacto y estabilizado frente a la acción de la luz solar y efectos de la intemperie.

Las propiedades de este tipo de plásticos son alta resistencia mecánica, buena resistencia química, baja absorción de agua, buena resistencia al impacto, buena rigidez, entre otras.²¹

Imagen 10. PVC rígido.



Fuente. HELING. Catálogo de PVC rígido. Disponible en <http://heling.com.ar/page/4/>. Consultado 3 de abril 2019.

1.3.1.3 Problemas ambientales relacionados con el uso de PVC en borradores. El PVC tiene el tercer lugar en producción a nivel mundial, gracias a la gran cantidad de derivados producidos por este.²²

) **Emisiones en producción:** en el momento de producción se llegan a generar emisiones en el entorno de trabajo, las cuales son derivados del cloro como dicloruro de etileno, ácido clorhídrico y otros componentes clorados, que pueden llegar a afectar crónicamente a los trabajadores que se encuentran expuestos.

En cuanto a la adición de plastificantes y estabilizantes son utilizadas principalmente sales metálicas como plomo, calcio o estaño, estos son considerados como tóxicos para el medio ambiente.

²¹ Ibid. p.6

²² REINECHE. Helmut., PVC ¿Cuáles son sus efectos en el ambiente y la salud humana? (Julio 2003) [en línea]

) **Generación de residuos:** En las fases que se presenta mayor riesgo ambiental son en producción y tratamiento de residuos, puesto que los residuos de cadmio son incinerados generando cenizas que son liberadas al medio ambiente.²³

Por otro lado, la mayor parte de producción de PVC es flexible y uno de los principales componentes es el plastificante. Este es derivado de ftalatos y Adipato, los cuales generan riesgos tanto para la salud humana como para el medio ambiente, también se degradan parcialmente en lixiviados, llegando a generar vertimientos de estos componentes.

En consecuencia, afecta el consumo de animales o vegetación aledaña a los acuíferos, generando así alteraciones en el organismo.

Un factor importante a tener en cuenta es la generación de residuos de plástico. Un ejemplo claro del nivel de contaminación es la Isla de Plástico, ubicada en el Océano Pacífico, este material no llegará a degradarse antes de 500 años. Como consecuencia al estar concentrado en este punto, se generan alteraciones en la vida marina aledaña a la misma.

Imagen 11. Isla de plástico.



Fuente. Isla de basura en el Pacífico. Disponible en: <https://plumasatomicas.com/noticias/isla-basura-tamano-mexico/>.

Uno de los procesos que se está implementando para detener el alojamiento de plástico, es el reciclado mecánico, el cual consiste en picar, tamizar y triturar los

²³ COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. LIBRO VERDE. Cuestiones relacionadas con el PVC. Bruselas (-). p.14-15.

residuos para ser llevados a plantas de procesamiento y obtener nuevamente los pellets, aunque de acuerdo a la comisión europea, donde plasma en el libro verde cuestiones medioambientales relacionadas con el PVC, dicta que solo se está reciclando un 3% anual²⁴.

Otra de las alternativas es el reciclado químico, en donde se hace el rompimiento de las moléculas obteniendo materia prima para diferentes procesos; este tipo de reciclaje es costoso, por lo que en muchos países no se implementa o se hace en muy pocas industrias.

En cuanto al borrador, sus residuos están representados en la viruta que se desprende al momento de usarse y en los trozos de borrador que se pierden. Estos dos componentes no tienen una disposición exacta, por tanto, se debe asegurar que si degradación sea la apropiada.

El Borrador es un compuesto que no tiene una degradación significativa, puesto que, al estar elaborado con PVC, este le impide su descomposición en un corto tiempo. Cabe aclarar que no existe estadísticas del borrador degradado, esto se da porque generalmente las personas nunca acaban en borrador, por el contrario, lo pierden. Esto limita la posibilidad de conocer el tiempo exacto de descomposición del borrador.

Por estas razones se busca remplazar este producto, dado que su nivel de contaminación va en aumento, se presentan diferentes alternativas para eliminar el PVC, como biopolímeros derivados del maíz o la celulosa, los elastómeros son otra alternativa para remplazar el PVC, debido a que presentan similitudes en sus propiedades.

1.4 PLASTIFICANTE

Es una sustancia que aumenta la flexibilidad de un material plástico o un elastómero para facilitar su procesamiento; puede reducir la viscosidad del fluido, disminuye la temperatura vítrea o el módulo elástico del fluido.²⁵

Los plastificantes se clasifican de acuerdo a su composición química debido a que se reduce su complejidad para llegar a ser entendidos, por lo anterior se clasifican por familias como esterres, ftalatos, parafina cloradas, Adipato, maleatos, entre otros.

²⁴ REINECHE. Helmut., PVC ¿Cuáles son sus efectos en el ambiente y la salud humana? (Julio 2003) [en línea]

²⁵ BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tema 2. Tipos de plásticos, aditivación y mezclado. Universidad de Alicante. 2011. p.65

Cuadro 1 Plastificantes usados en la industria.

Plastificante	Usos Y Propiedades
Esteres de ácido ftálico	Presentan una buena gelificación, tiene una volatilidad baja, propiedades eléctricas satisfactorias y resistencia térmica.
Diisotridecil ftalato (DITDP)	Resistencia térmica por encima de los 105°C.
Ftalatos de cadena recta C ₇ H ₁₁ alcoholes	Baja volatilidad y conservación de propiedades a baja temperatura.
Esteres de ácido adípico y sebácico Adipato de diisodecilo (DIDA)	Menos volátil que el éster dioctílico (DOA, DOS).
Esteres de ácido poliglicólico	Resistencia a bajas y altas temperaturas (-30°C a 100°C), se le adiciona bisfenol para evitar la separación del plastificante de éster de oxoalcohol bajo estrés por calor.
Fosfato de tricresilo (TCP, TCF)	Excelente resistencia al calor, buenas propiedades eléctricas, resistencia a la intemperie, retardante de llama, pero no debe ser empleado en productos que entren en contacto con la piel.
Esteres felinílicos de ácido sulfónico parafínico	Se encuentra entre el DOP y TCP en las propiedades plastificantes.
Plastificantes oligoméricos/poliméricos	Adecuado para pastas (oligoméricas) y extrusión/ calandrado, no presentan alta migración, baja volatilidad, alta resistencia térmica, algunos resisten extracción por hidrocarburos alifáticos, aceites minerales o grasas y alta compatibilidad con PVC principalmente en mezclas.
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

Se pueden utilizar plastificantes internos o externos, los internos son empleados directamente en la polimerización del material y los externos se agregan al final del proceso de producción.

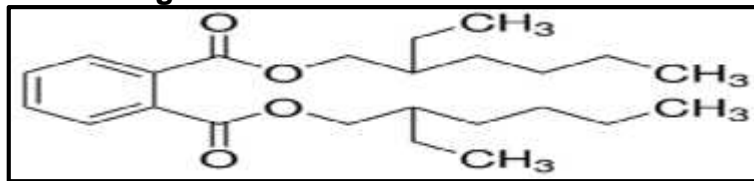
Afectan las propiedades fisicoquímicas presentes en los materiales como la reducción de la temperatura de transición vítrea, lo que permite que el material sea más flexible²⁶, además, los plastificantes mejoran la elongación, disminuye la resistencia a la tracción y mejora los efectos de la procesabilidad en donde se reduce la temperatura de fusión y gelificación, permitiendo reducir así la tasa de degradación, la presión de extrusión y el tiempo de mezcla²⁷.

De acuerdo al polímero es necesario adicionar diferentes componentes para obtener el resultado esperado, con el plastificante se genera flexibilidad, suavidad y adhesión²⁸.

1.4.1 Ftalatos. Son ésteres no halogenados derivados del ácido ftálico, los cuales son ampliamente usados en diversos procesos como alimentos, farmacéutico, perfiles y entre otros. Los cuales son de alta eficiencia y son empleados en proporciones muy bajas con respecto a la resina base del producto.²⁹

Las aplicaciones de los Ftalatos dependen directamente de la química de estos, pero la mayor parte se emplea como aditivo de plásticos flexibles, especialmente en PVC y representan el 92% de los plastificantes empleados en el mundo, en donde se divide en cuatro grupos: el dietil-hexil-ftalato (DEHP) con un 51%, ftalato de diisodecilo (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 empleados por su versatilidad y la capacidad de adaptarse a los diferentes materiales, sin alterar sus propiedades³⁰.

Imagen 12. Molécula de ftalato.



Fuente. Dioctyl phthalate. Disponible en: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/d201154?lang=en®ion=CO>- Consultado 6 octubre 2018.

²⁶ CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMOESTABLES. [Anónimo] [en línea], p.18-22

²⁷ KUTZ, Myer. Applied Plastics Engineering Handbook. 2017. p. 533-553.

²⁸ Ibid.

²⁹ BUSTAMANTE, Op. Cit., p.208.

³⁰ MURPHY. John., Additives for Plastics Handbook. Second edition. 2001. p.171.

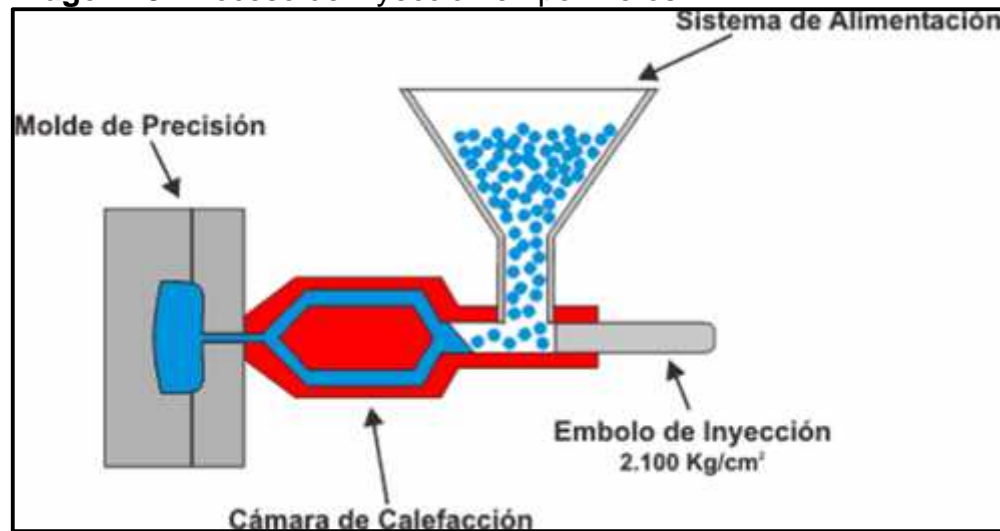
Todos los usos del Ftalatos ocasionan daños medioambientales graves, durante la vida útil y al momento de convertirse en residuo³¹, la toxicidad de estos depende directamente del peso molecular, ya que algunos son adsorbidos por efluentes y suelos; también llegan a presentar problemas en los seres humanos afectándolos en la etapa de gestación especialmente para el feto masculino, pueden generar problemas pulmonares a los operarios que se ven involucrados en el procesamiento de este material.

1.5 PROCESO DE MANUFACTURA EN GENERAL

La materia prima para elaborar borradores se basa en materiales plásticos o polímeros, estos materiales tienen 3 procesos de fabricación. Consisten en dar una forma deseada a el producto que se busca elaborar.

1.5.1 Inyección. Es un proceso semicontinuo, que consiste en ingresar el material peletizado en una tolva que lo llevara a un cilindro donde se calentara, en este hay un tornillo sin fin que empuja el material para ser inyectado a alta presión en un molde y así darle forma, estos son refrigerados. Este proceso es utilizado para la fabricación de artículos de gran versatilidad o con geometrías complejas.³²

Imagen 13. Proceso de inyección en polímeros.



Fuente. PROCESO DE INYECCIÓN. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>. Consultado 3 abril 2019.

³¹ GREENPEACE. Ftalatos (Esteres de ftalatos).2003 [en línea]. p.1-4

³² Fabricación. Técnicas de moldeo de los plásticos. [en línea]

1.5.2 Horneado de gomas. Es un proceso continuo por el cual se alimenta el material a través de rodillos; estos se encuentran en serie y se presenta un perfil de temperatura dependiendo del tipo de material. Se homogeniza el material por medio de cuatro rodillos, se genera una pasta uniforme la cual dependiendo del rodillo por el cual este pasando le va generando un espesor determinado³³; al obtener las diferentes laminas, son llevadas a un proceso de moldeo por compresión allí, se aumenta el espesor del material al añadir en el molde varias laminas. El proceso permite obtener productos con un grosor determinado el cual está definido por el requerimiento del producto³⁴.

1.5.3 Extrusión. Proceso por el cual el material (polímero), entra en una cámara de compresión en la cual se encuentra un tornillo que 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 se puede llevar a cabo de forma directa e indirecta, en la 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 un ariete hueco 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 consisten en uno o dos tornillos (husillos), que rotan dentro de un tambor a altas temperaturas, generando así la presión y el moldeo para las diferentes aplicaciones³⁵. El proceso de extrusión consta de tres zonas una de alimentación, donde se recibe los gránulos (pellets) provenientes de la tolva, y se conducen en sentido del canal del husillo; una zona de compresión, en la cual se reduce la densidad de la mezcla retirando los excesos y por último la zona de dosificación donde se bombea el material líquido a través del dado para que adquiera la forma de la boquilla.

Cuando un material termoplástico se alimenta al extrusor, el husillo lo empuja hacia adelante en el canal del tornillo sin fin, en donde se calienta mediante resistencias eléctricas circulares y se transforma en un fluido, el fluido continua su proceso por el canal del tornillo y al final, pasa por un dado donde se le da el perfil deseado, al salir de este el fluido se enfría mediante cámaras de enfriamiento u otros

³³ TORRES, Op. Cit. p.6

³⁴ PLASTIC ENGINEERING COMPANY. Moldeo por compresión. Estados Unidos. 2009. [en línea].

³⁵ WYPYCH, George. Handbook of Plasticizers. Segunda Edición, 2012. p. 85-109

mecanismos permitiendo así que el material conserve su forma, dependiendo del dado empleado mayor será la potencia necesaria para empujar el material³⁶.

Imagen 14. Extrusora de tubos de PVC.



Fuente. EXTRUSORA TUBOS DE PVC. Disponibles en: <http://www.lgmt.com.br/extrusora-tubos-pvc>
Consultado 20 mayo 2019

1.5.3.1 Ayudantes del proceso de extrusión. Se les conoce como PPA³⁷, se encuentran en muy bajas concentraciones, alrededor de 100 a 1000 ppm, estos ayudantes se añaden al momento de generar el mastebatch con presencia del 2-3%³⁸ y se agregan para modificar y mejorar las propiedades físicas y de manufactura. A continuación, se presentan los ayudantes de proceso de la extrusión³⁹:

-) Rellenadores o carga: este material se agrega para permitir la producción de un gran volumen de polímero con una cantidad pequeña de resina, con esto se logra reducir el costo del producto final.
-) Plastificantes: se utiliza para aumentar la flexibilidad y elasticidad de los polímeros, actúa como lubricante interno y así reducir la fuerza de los enlaces.
-) Lubricantes: se agrega para facilitar el procesamiento y mejorar la apariencia del producto final.

³⁶ Ibid. p.1.

³⁷ PPA siglas en ingles *Polymer Process Aids*

³⁸ ERASMO, Daniel., ¿Que son los aditivos auxiliares para procesamiento de polímeros? 2004.[en línea]

³⁹ MATERIALES POLIMÉRICOS Y COMPUESTOS. Curso de fundamentos de ciencia de materiales. [en línea]

- J Colorantes: se debe agregar un compuesto firme que no se deteriore con los efectos de la intemperie, que sea firme a la luz, temperatura y ambiente.
- J Retardadores de llama: se agregan para reducir la inflamabilidad del producto.
- J Estabilizante térmico: impide la degradación del polímero durante el tratamiento.
- J Estabilizantes UV: aseguran el color y prologan la duración del producto evitando el amarillamiento.
- J Antioxidantes: protege los materiales contra el deterioro del ambiente como calor, luz y agentes orgánicos⁴⁰.
- J Agente encadenante transversal: optimiza el proceso de producción, mejora las posibilidades de reciclado. El más común es el Flouoropileno

Para el proceso de extrusión de borradores es necesario agregar carga, para asegurar al estructura y consistencia del producto, igualmente este ayudara a reducir el costo final. Junto con este se debe añadir lubricante, humectante, estabilizante térmico y pigmento.

1.6 ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN DEL PVC Y FTALATOS

Partiendo de las propiedades del PVC, en donde lo que se busca es un material que presente características similares para obtener un producto con alta calidad, es necesario identificar materiales termoplásticos, que faciliten la manipulación de la base, con una resistencia a la oxidación considerable y que su transformación presente gran versatilidad.

Entre otras consideraciones se debe tomar en cuenta que su limpieza sea sencilla, con apariencia superficial suave y con resistencia al impacto. También se debe tener en cuenta la dureza, la temperatura de operación y la resistencia a la tracción, es decir, que su deformación sea baja, se debe considerar un material antimicrobiano, resistente a los efectos de la intemperie.

En base a estas propiedades se encontraron las siguientes posibilidades de sustitutos:

1.6.1 Resina base. Este material será el encargado de generar el borrado en el producto, por ello, se busca un material flexible como el caucho natural, pero con un porcentaje de rigidez, debe ser un material óptimo para ser procesado por

⁴⁰ HERRERA, Francisco., Ciencia de los polimeros. Aditivos en polimeros [en línea].

extrusión. Las propiedades a tener en cuenta son la dureza, temperatura de proceso y resistencia a la intemperie o agentes orgánicos.

Imagen 15. Pellet plástico.



Fuente. COMEXCPLAST. Pellet plástico. Disponible en: <https://comexcplast.com/plastico/blog/12-elaboracion-de-pellets-de-polietileno-y-polipropileno>
Consultado 20 abril 2019

Se hace necesario utilizar un copolímero de tres bloques o de dos, entre los cuales debe existir un elastómero de tipo butadieno y un elastómero acrílico.⁴¹

Dadas estas especificaciones se buscan materiales que sean elastómeros termoplásticos los cuales son una clase de material que tiene comportamiento elástico lo cual permite procesarse para la elaboración de diferentes productos. El producto puede ser reprocesado y reciclado en su totalidad.⁴² Los modos más comunes para su transformación son la extrusión e inyección.⁴³

Las principales familias o clasificación son los estirénicos (SBCs/TPEs), olefínico (TPOs/TPE-O), vulcanizados termoplásticos (TPVs/TPE-V), poliuretanos termoplásticos (TPUs/TPE-U), copoliésteres (COPEs/TPE-E) Y copoliamidas (COPAs/TPE-A)⁴⁴

⁴¹ COMPOSICIÓN DEL BORRADOR NO DE PVC. WIPO WO2011122719 (24/11/2018)

⁴² BRYDSON, J.A; Thermoplastic elastomer-Propiedades and Applications (1995). p.3

⁴³ CELANASE. Elastómeros termoplásticos [en línea]

⁴⁴ JUAREZ, David et. al. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia. Agosto, 2012, p. 1-22

A continuación, se presenta una tabla donde se relaciona los diferentes tipos de elastómeros plásticos con sus principales propiedades.

Tabla 1. Propiedades de las clasificaciones de TPE.

	TPEs	TPOs	TPVs	TPUs	COPEs	PEBAs
Gravedad específica	0,9-1.1	0,89-1,0	0,9-1,0	1,1-1,3	1,1-1,3	1,0-1,2
Dureza Shore	30A-75D	60A-75D	35A-50D	60A-85D	90A-72D	60A-75D
Temperatura de servicio (°C)	-70 a 120	-60 a 120	-60 a 135	-70 a 120	-65 a 125	-40 a 170

Fuente. Dufton. P. Termoplastic elastomers. p.7.

1.6.1.1 Estirénicos (SBCs o TPE-S). Son copolímeros de bloque en base de estireno y butadieno. Son suaves, resistentes de la ruptura, tienen alta elasticidad y baja dureza.⁴⁵ Poseen buena resistencia a la abrasión y alto coeficiente de fricción. Posee buenas propiedades de resistencia mecánica.

A continuación, se relacionan diferentes materiales:

) **Estireno-butadieno-estireno (SBS):** es un copolímero de bloque, en donde el estireno le da la durabilidad al polímero, el butadieno le da características similares al caucho.⁴⁶ Dada la configuración con la que cuenta el material, este tiene la propiedad de conservar su forma luego de ser estirado.

Tabla 2. Propiedades del SBS.

Propiedad	Valor
Dureza (Shore)	30 A – 40 D ⁴⁷
Temperatura de trabajo	-50 a 70
Temperatura vítrea	95
Numero CAS	9003-55-8
EC/ List no	618-370-2

Fuente: elaboración propia

Según la información suministrada por ECHA esta sustancia no tiene una clasificación armonizada ni presenta peligros notificados por los proveedores, fabricantes o importadores.

⁴⁵ Ibid.

⁴⁶ Macrogalleria. SBS Rubber [en línea]

⁴⁷ JIRI, Drobny. Handbook of Thermoplastic Elastomers. Segunda Edición, 2004. p.174.

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 libremente⁴⁸.

-) **Estireno-etileno-butadieno-estireno (SEBS):** tiene los mismos componentes que el SBS y las mismas propiedades mecánicas, con la diferencia que fue hidrogenado lo cual le mejora su temperatura de trabajo y su resistencia a la intemperie.⁴⁹

En cuanto a sus propiedades, este tiene buena resistencia a diferentes agentes orgánico como la luz, calor, ambiente, entre otros, es un material muy versátil, fácil de procesar gracias a la flexibilidad que presenta por la ausencia de dobles enlaces.

Tabla 3. Propiedades del SEBS.

Propiedad	Valor
Dureza (Shore)	13 A – 70 D
Temperatura de trabajo (°C)	-40 a 100
Temperatura vítrea (°C)	95 ⁵⁰
Numero CAS	9003-55-8
EC/ List no	618-370-2

Fuente: elaboración propia

-) **Estireno-isopreno-butadieno-estireno (SIS):** es un copolímero conformado por estireno, 2-metil-1,3-butadieno (isopreno) y estireno, en donde el contenido de isopreno varia del 15 al 40%; cuando el contenido de isopreno es bajo su comportamiento mecánico es similar al caucho vulcanizado, aunque su procesamiento se hace en los equipos para elastómeros termoplásticos.⁵¹

Sus propiedades de dureza y temperatura de trabajo dependen del porcentaje de isopreno de su composición, pero en general tiene baja dureza, alta resistencia y baja viscosidad lo que facilita su procesamiento.⁵²

-) **Estireno-etileno-propileno-estireno (SEPS):** es un copolímero que se genera hidrogenando parcialmente y selectivamente el SIS. Se comporta como un caucho sin vulcanizar, este tiene mejor estabilidad térmica, a la intemperie,

⁴⁸ MINISTERIO DE JUSTICIA DE COLOMBIA. Control para el manejo de sustancias y productos químicos. [en línea]

⁴⁹ JUAREZ, Op. Cit. p.10-11

⁵⁰ MEXPOLIMEROS. SEBS [en línea].

⁵¹ POLYMER PROPERTIES DATABASE. Styrene-isoprene-styrene Rubber [en línea]

⁵² GENERAL INDUSTRIAL POLYMERS. SIS (styrene-isoprene-rubber) [en línea].

resistencia al aceite, pero tiene menor rendimiento mecánico. Es muy flexible, con excelente resistencia al calor y a los rayos UV.⁵³ Sus propiedades dependen de la composición que el proveedor ofrece.

Tabla 4. Propiedades del SEPS.

Propiedad	Valor
Dureza (Shore)	60 A
Temperatura de trabajo (°C)	200- 230°C ⁵⁴

Fuente: elaboración propia

1.6.1.2 Olefinicos (TPOs o TPE-O). Son una mezcla de polipropileno, el cual le confiere rigidez y resistencia a la temperatura, elastómeros, el cual le da flexibilidad y resistencia a la ruptura y aditivos.

Son macromoléculas obtenidas a partir de la polimerización de los alquenos como etileno, propileno, buteno, isoprenos y pentenos⁵⁵; es el grupo más numeroso de termoplásticos y los dos tipos más importantes son el polipropileno y el polietileno, debido a su gran variedad de aplicaciones.

Es flexible con alta resistencia a la fatiga y resistente a soluciones acidas, bases y acuosas.⁵⁶

Tabla 5. Propiedades de TPO's.

Propiedad	Valor
Dureza (Shore)	60 A – 75 D ⁵⁷
Temperatura de trabajo (°C)	-40 a 120
Temperatura vítrea (°C)	-
Numero CAS	9003-07-0
EC/ List no	618-385-4

Fuente: elaboración propia

1.6.1.3 Vulcanizados termoplásticos (TPVs o TPE-V). Son mezcla de polímeros con caucho reticulado, donde el polímero se une en cadenas tridimensionales formando una red, lo cual le confiere rigidez.

⁵³ POLYMER PROPERTIES DATABASE. Styrene-ethylene-propylene-styrene thermoplastic elastomer (SEPS) [en línea]

⁵⁴ KRATON. KRATON G (SEBS, SEP, SEPS) [en línea]

⁵⁵ MEXPOLIMEROS. Poliolefinas [en línea].

⁵⁶ MEXPOLIMEROS. TPO [en línea].

⁵⁷ MEXPOLIMEROS. SEBS [en línea].

Es suave, resistente a los aceites y grasas.⁵⁸ Presenta características de flexibilidad, baja compresión y fácil procesamiento.⁵⁹ Tiene propiedades similares a los elastómeros termoestables.

1.6.1.4 Poliuretanos termoplásticos (TPUs o TPE-U). Son copolímeros formados por un segmento largo de poliéster lineal y uno corto de uretano duro. No son fáciles de procesar, sus propiedades dependen de la longitud de los segmentos, tiene buena resistencia a la abrasión y al ambiente excepto a la luz, posee rigidez.

Sus propiedades dependen del largo de los bloques y del tipo de poliéster que se utilice, sin embargo, generalmente presentan buena resistencia a la abrasión, buenas propiedades de resistencia y rigidez, no tiene buena resistencia a la luz UV.⁶⁰

1.6.1.5 Copoliésteres (COPEs o TPE-E). Son materiales de alto rendimiento que presentan comportamiento mecánico similar al de caucho. Se construyen a partir de un bloque flexible de poliéster y un bloque rígido de poliéster. Tienen un procesamiento versátil y presentan mayor resistencia térmica.

Son de alto costo, alta resistencia al desgaste, buena capacidad de recuperación y facilidad para la coloración.⁶¹

1.6.1.6 Copoliamidas (COPAs o TPE-A). Están formados por partes blandas de poliésteres o poliéteres y partes rígidas de poliamidas. Tienen buena resistencia al calor hasta 170°C, buena resistencia química y a la abrasión, presentan la mayor versatilidad en relación con los otros elastómeros.⁶² Las propiedades de este material dependen de tipo de poliamida, el tipo de polioli, la longitud y la cantidad de bloques.⁶³

⁵⁸ JUAREZ, David.; BALART, Rafael.; Ferrándiz, Santiago.; GARCIA, David. Análisis del estado del arte de plástico flexible y mejora del conformado térmico en los sectores de ortopedia del pie y puericultura ligera. Revista de investigación 3 Ciencias de la Universidad Politécnica de Valencia. Agosto, 2012, p. 31

⁵⁹ Mexpolímeros. TPE Vulcanizado [en línea]

⁶⁰ KALLE, Hanhi., et. al. Elastomeric materials. 2007. p.56

⁶¹ JUAREZ, David.; BALART, Rafael.; Ferrándiz, Santiago.; GARCIA, David. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de investigación 3 Ciencias de la Universidad Politécnica de Valencia. Agosto, 2012, p. 16

⁶² SWEDISH CHEMICAL AGENCY. Chemical Substances in Elastomer Materials [en línea]

⁶³ KALLE, Op. Cit. p.58

Están dentro de los termoplásticos más caros y se utilizan cuando se necesitan propiedades dinámicas, dado que presentan baja densidad, alta resistencia y dureza, resiliencia y buenas propiedades a temperaturas bajas.⁶⁴

1.6.1.7 Otras resinas. Existen otros materiales que no pertenecen a ninguna de las principales familias y que presentan características que pueden servir como sustituyente.

) **Etilvinilacetato (EVA/EBA):** se presenta mediante la polimerización por adición de etileno y acetato de vinilo, este tiene flexibilidad, permeabilidad al agua, propiedades ópticas y alta cristalinidad, lo cual permite ser empleado como aditivo de procesos de extrusión y en envases de alimentos congelados.

Es de bajo costo, buena resistencia al agrietamiento por flexión y a la perforación, mejora la claridad y capacidad de sellado de las olefinas y generalmente se polimeriza con estas o como parte de una película multicapa.⁶⁵

) **Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS):** es una mezcla de estireno acrilonitrilo y un compuesto elástico como el butadieno. Tiene buena resistencia mecánica y al impacto, la cual otorga el butadieno, tiene resistencia química, térmica, es de fácil procesamiento y presenta dureza y rigidez gracias al estireno, su resistencia a la abrasión es alta.⁶⁶

Tabla 6. Propiedades del SEBS.

Propiedad	Valor
Dureza (Shore)	70 D
Temperatura de trabajo (°C)	80 a 95 ⁶⁷
Temperatura vítrea (°C)	
Numero CAS	1248455-45-9
EC/ List no	676-665-1

Fuente: elaboración propia

Es una sustancia tóxica para la vida acuática, a largo tiempo, llega a causar irritación y alergia en la piel.

⁶⁴ JUAREZ, David, Op. Cit. p.16

⁶⁵ POLYMER PROPERTIES DATABASE. Ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) [en línea]

⁶⁶ MASSÓ, Marc. Disseny d'un sistema de detecció de vehicles lents. Propietats de la resina ABS [en línea]

⁶⁷ MEXPOLIMEROS. SEBS Elastómero [en línea]

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

1.6.2 Carga o rellenos. En el mercado hay diferentes tipos de cargas utilizadas para los materiales los cuales se utilizan para aumentar la resistencia a la tracción, da la densidad del material, a la compresión y abrasión, también, mejora propiedades térmicas y estabilidad dimensional.⁶⁸

Algunas cargas utilizadas son el aserrín, sílice, arena, vidrio, arcilla, talco y caliza.

A continuación, se presentan las características de los rellenos más utilizados en los polímeros.

) **Carbonato de calcio:** es un compuesto químico con formula CaCO_3 , es un polvo blanco con cristales incoloros e insípido con baja solubilidad, altamente soluble en ácidos diluidos y cloruro de amonio, su dureza no sobrepasa 5 en la escala de Mohs y su densidad esta entre 2.6 a 2.95 g/cm, mientras que su humedad máxima es de 0.09%.⁶⁹

Es el relleno de mayor volumen utilizado en aplicaciones plásticas y se ha utilizada desde hace muchos años para bajar los costos del producto. Con el desarrollo de partículas de carbonato de calcio precipitado (PCC) se han incrementado su uso, dado que, su tamaño de partícula es más pequeño que las del carbonato de calcio molido (GCC). Algunos estudios han demostrado que el PCC también ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del polímero.⁷⁰

) **Talco:** es un mineral más blanco del planeta, más conocido como silicato de magnesio hidratado con formula $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Es utilizado en diferentes cargas de cauchos y existe una afinidad con los elastómeros, mejorando la resistencia de la tracción, módulo de elongación y la resistencia al desgarro en los productos finales.

Es utilizado como carga reforzante utilizado en polipropileno y poliolefinas que requieren mayor rigidez y mejor control dimensional en un rango de temperaturas. La características laminares y resbalosas de las partículas permiten utilizarse como lubricantes externos.⁷¹

⁶⁸ CALLISTER, William. Introducción a la ingeniería de materiales volumen 2. Primera Edición, 1996.

⁶⁹ HERNANDEZ, Juan.; et. al.; CERECEDO, Eduardo. Carbonato de calcio en México, características geológicas, mineralógicas y aplicaciones [en línea]

⁷⁰ CALCINOR. Carbonato de calcio precipitado PCC. [en línea].

⁷¹ REFIL. Talco [en línea]

1.6.3 Lubricante externo e interno. Son todas aquellas sustancias de procedencia tanto animal, mineral o vegetal, donde el interno, se incorporan en la resina base durante la producción y los externos, son aquellos que se adicionan durante el procesamiento.

El requerimiento principal para emplear el lubricante externo es la reducción de la fricción entre dos materiales, debido a que se evidencia diversas deformaciones. Al entrar en contacto las superficies generan un rozamiento, de tal manera que provocan el entrecruzamiento de estas dislocaciones, esto aumenta la temperatura y el desgaste del material, reduciendo el rendimiento de estos⁷².

Con respecto al lubricante interno, se emplean para modificar la viscosidad del material fundido, además se busca la compatibilidad funcional del lubricante con los diferentes componentes, permitiendo así mejorar las propiedades del producto final, como la resistencia al impacto, rendimiento a diversas temperaturas, también permite mejorar la distribución de los aditivos y generar una capa hidrofóbica.

Para una adecuada selección de este lubricante es necesario conocer la compatibilidad con la resina base, que no genere ningún efecto adverso en las propiedades fundamentales.

-) Una tasa de migración baja.
-) Alta adherencia.
-) Punto de fusión adecuado, que no permita la degradación del material ante cambios bruscos de temperatura.
-) No se presente resistencia al fundido⁷³.

1.6.3.1 Clases de lubricantes. A continuación, se presentan las diferentes clases de lubricantes que se pueden emplear tanto internos como externos:

-) **Minerales:** son los más influyentes en el mercado debido a la versatilidad que se presentan, sus altas temperaturas de proceso y la estabilidad que presentan. Son clasificados entre aceites parafínicos y naftenicos, los cuales son derivados del petróleo, obtenidos durante el proceso de refinación del crudo⁷⁴.

Los aceites naftenicos son más estables que los aceites parafínicos, aunque al entrar en contacto con altas temperaturas se mantiene en fase líquida en comparación con los parafínicos en donde al aumentar su temperatura empiezan a solidificar por el entrecruzamiento provocado por las parafinas.

⁷² SANTOS, Eduardo. Lubricación Industrial. Tesis de maestría. San Nicolas de los Garza Nuevo León.: Universidad Autónoma de Nuevo León, 1992, 102 p.

⁷³ MURPHY, Op. cit. p. 205-206

⁷⁴ TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES [en línea]

- J) **Vegetales:** son obtenidos directamente del fruto o semilla de vegetales, la calidad de estos depende directamente del índice de yodo que puede llegar a absorber, se clasifican en no secantes, los cuales poseen el menor índice de yodo en un rango menor o igual a 100, semi-secantes, los cuales presenta un índice de yodo de 130; y por último secantes los cuales presentan un índice de yodo de 130 a 200.
- J) **Animales:** son aquellos obtenidos del tejido adiposo de algunos animales como el cerdo que se le conoce como manteca de cerdo, el problema con este tipo de aceites es la degradación frente a altas temperaturas, en donde se tiende a oxidar para formar gomas.
- J) **Sintéticos:** son diseñados para contrarrestar problemas producidos por oxidación de materias orgánicas o entrecruzamientos estructurales, estos tipos de aceites presentan mejor empalme entre consistencia y temperatura, mayor estabilidad térmica y menor presión de vapor a altas temperaturas.

1.6.4 Estabilizante térmico. La estabilidad térmica se fundamenta en el impedimento de la degradación de los polímeros durante su procesamiento, donde es sometido a altas temperaturas. Son empleados en su mayoría para polímeros halogenados como el PVC pues este presenta una temperatura de descomposición menor a la temperatura de procesamiento, es decir, un déficit en la estabilidad térmica, añadiéndole el estabilizante permite que la molécula no se desintegre y sea maleable para sus diferentes aplicaciones⁷⁵.

El proceso se da al entrar en contacto el estabilizante con las estructuras frágiles del polímero, impidiendo su crecimiento.

Permite mitigar factores externos como calor, radiación, atmosfera, entre otros, retardando el proceso de degradación del polímero. Los estabilizantes deben ser capaces de controlar los procesos de desintegración del polímero, pero no alterar en su totalidad las propiedades.

Además de los estabilizantes térmicos también se pueden encontrar otro tipo como lo estabilizantes o aditivos como mejorantes de la viscosidad, lubricantes, disolventes, colorantes, conservantes, antifúngicos, aromas, estabilizantes de luz ultravioleta, los cuales permiten así aumentar la vida útil y la calidad del producto.

⁷⁵ BELTRÁN RICO, Op. Cit. p.71

1.6.5 Pigmento. Son sustancias orgánicas o inorgánicas en polvo que provee color, este debe ser insoluble en el aglutinante y en el vehículo que se va a pintar. El tamaño de partícula determina el poder cubriente y colorante.⁷⁶ A continuación, se presenta dos pigmentos utilizados en polímeros.

) **Dióxido de titanio:** es un polvo fino y blanco que proporciona un pigmento blanco y brillante. En su forma pigmentaria hace uso de excelentes propiedades de dispersión de luz en aplicaciones que requieren brillos y opacidad de blanco. La mayoría de las superficies y elementos que son blancos y tonos pastel contienen este compuesto.

En los plásticos ayuda a minimizar la fragilidad, decoloración y el agrietamiento por la exposición a la luz, esto mejora la vida útil del producto.⁷⁷

) **Negro de humo:** es un material inorgánico y coloidal que se produce por la combustión incompleta de gas natural y otros subproductos del petróleo. Puede ser un polvo amorfo o granulados finos. Es insoluble en agua y solventes.⁷⁸ Se usan como pigmento negro en la industria de las tintas y los plásticos.

Se pueden clasificar en reforzantes, los cuales refuerzan el hule permitiendo alta resistencia al desgaste y a la elasticidad, y semireforzante, los cuales se utilizan para mangueras, bandas y artículos moldeables.⁷⁹

1.7 NORMATIVA EUROPA

La mayoría de productos distribuidos a nivel mundial son regidos bajo reglamento europeo (CE) N° 1907/2006 del parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, conocido como REACH el cual realiza el registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparaciones químicas; se establece que todos los materiales, donde se tenga presencia de cadmio deben ser discontinuados del mercado; uno de los materiales que se encontraron afectados por esto fue el PVC, debido a que en algún momento se empleaba cadmio como aditivo del mismo, por lo tanto todo objeto que se comercialice con PVC, será discontinuado, ya sea que el producto haya salido hace poco al mercado, será restringido debido a que no se conoce el origen de la resina base de este, que en

⁷⁶ PALET, Antoni. Identificación química de pigmentos artísticos. p.11-12.

⁷⁷ CHEMICAL SAFETY FACTS. Dióxido de Titanio [en línea].

⁷⁸ Equipos y sistemas de manejo de materiales a granel. Negro de Humo [en línea]

⁷⁹ BATISTA, Luis., REALES, Jenyffer. Diagnóstico cuantitativo del impacto ambiental del negro de humo de una empresa del sector industrial de Cartagena mediante la aplicación de las ISO 14040 y 14044. Trabajo de grado ingeniería química. Cartagena de Indias.: Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena. Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño, 2014. 69 p.

algunos casos es PVC reciclado el cual puede llegar a tener trazas de cadmio, que afectar directamente al organismo del ser humano, tanto en el proceso de producción, como al momento de comercializarlo y distribuirlo, por ultimo al llegar a su disposición final afecta los suelos y el medio ambiente⁸⁰.

En este capítulo se realizó una búsqueda bibliográfica de todas las temáticas involucradas en la manufactura de borradores libres de PVC, en principio se investigó las implicaciones que el PVC y ftalatos tienen con el medio ambiente y el ser humano, también sus características y propiedades. Se conoció las características de las diferentes materias primas y de este modo se buscó en bibliografía los posibles sustitutos. Adicional se conoció lo diferentes procesos de producción.

⁸⁰ Diario Oficial de la Unión Europea. REGLAMENTO (UE) No 835/2012 DE LA COMISIÓN EUROPEA [en línea].

2. DIAGNOSTICO

El problema se describirá en su totalidad para conocer las implicaciones que deben modificarse para cumplir con los objetivos del proyecto, también se evidenciará el análisis que se realiza a los diferentes borradores que se encontraron en el mercado libre de PVC, para esto se explica cómo se realizaron las diferentes pruebas de comparación físicas y las pruebas químicas para conocer la composición del producto.

Por último, se establecen diferentes productos que serán seleccionados para la experimentación del producto y así entregar una formación tentativa, que cumpla con los estándares de calidad de la empresa y la normativa a la que se quiere llegar.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la empresa Pelikan Colombia S.A.S. se elaboran gomas de borrar conocidas como borrador de nata a base de policloruro de vinilo (PVC), y plastificantes, entre otros compuestos.

Estos borradores tienen como aplicación inmediata el uso de superficies que tengan grafito (minas de escritura).

El proceso de producción actualmente emplea como materia prima, PVC como resina base, carbonato de calcio como carga y ftalato como plastificantes; además de otros aditivos.

En general estos plastificantes son sustancias químicas llamados ftalatos encargados de brindarle a la goma de borrar características (flexibilidad, suavidad, entre otros), pero presentan desventajas dado que el PVC es una materia prima que paulatinamente se ha venido retirando del mercado por tener potenciales impactos ambientales negativos.

En cuanto a la toxicidad de este material esta se da porque forma sustancias organocloradas al momento de quemarse emitiendo dioxinas que tienen un efecto negativo en el medio ambiente y conlleva problemas respiratorios.

Estas dioxinas se liberan durante su proceso de producción, estos compuestos son muy estables (su tiempo de vida media es de 10 años en suelos y 6 años en el cuerpo humano)⁸¹, por ende, permanecen en el aire, agua y suelo cientos de años

⁸¹ DIOXINAS [Anónimo] [En línea] (5 de mayo de 2019)

resistiéndose a la degradación y dado que, no existen en la naturaleza, el ser humano no los puede metabolizar y se resisten a la degradación biológica⁸².

Otra desventaja de estos compuestos es la procedencia derivada de hidrocarburos, esto también les confiere un aspecto contaminante al momento de desecharse.

Cabe resaltar que los efectos negativos de estos compuestos se evidencian al momento de generar una cantidad de gases considerables, por ello, es necesario cambiar el material como método preventivo para evitar este tipo de generación.

En algunos casos puntuales se evidenció que varios trabajadores expuestos a polvo de PVC presentaban deficiencias respiratorias por la presencia de las partículas granulomatosas provenientes de este material.⁸³

El proceso de producción de borradores en base de PVC se lleva a cabo mediante un premezclado, donde se añaden el estabilizante térmico, junto con una mezcla de lubricantes los cuales son ceras polietilénica y parafínica, esta mezcla de lubricantes es precalentada hasta alcanzar el punto de fundición debido a la fase en que se encuentran el mercado.

Esta mezcla se añade a una marmita junto con la resina base que en este caso es PVC y el pigmento, para ser agitado hasta obtener una pasta homogénea la cual se encuentra a una temperatura alrededor de 40°C, debido al premezclado y a la agitación.

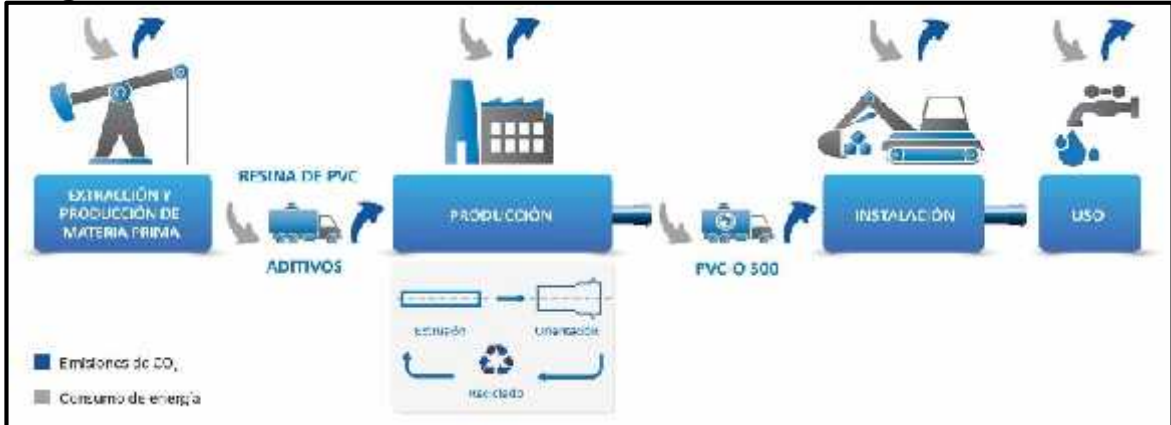
La pasta homogenizada se alimenta mediante una bomba, a la extrusora donde se maneja un flujo continuo, dentro de la extrusora se determina un perfil de temperatura adecuado para el material, ya que dependiendo el tipo de material este perfil puede variar, también es necesario determinar la velocidad de extrusión, para obtener un perfil de material que cumpla con las especificaciones de la empresa.

El perfil obtenido de la extrusora es halado mediante una banda transportadora hasta llegar a las piscinas de enfriamiento las cuales están acondicionadas con agua a bajas temperatura y esta es suministrada mediante aspersores en la parte superior de las piscinas, este proceso se realiza con el fin de temperar el producto, para posteriormente ser estampado en la cara superior e inferior y ser cortado de acuerdo a la longitud de la referencia que se está produciendo; finalmente el producto obtenido es empacado en cajas de 20, 40 o 60 unidades cada una.

⁸² EPA. Op. Cit.

⁸³ Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Policloruro de vinilo (PVC). Fracción respirable. [en línea]

Imagen 16. Ciclo de vida del PVC.



Fuente: INTERMPRESAS. Impacto ambiental de tuberías al PVC orientado TOM. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/168830-Impacto-ambiental-de-las-Tuberias-de-PVC-Orientado-TOM.html> Consultado 2 septiembre 2019

Existen diversas alternativas para controlar el efecto del PVC y los ftalatos sobre el medio ambiente. Una de ellas es la posibilidad de eliminar el ftalato del borrador y no reemplazarlo por otro compuesto, para evitar así los impactos desfavorables de este material. Ésta, no es una opción viable pues el plastificante es quien da características de flexibilidad y suavidad, sin las cuales el borrador sería rígido. Esta rigidez puede llegar a dificultar su manipulación.

Una alternativa más eficiente sería el reemplazo o la sustitución total de estos compuestos mediante la implementación de sustitutos que tengan las características previamente mencionadas. Algunos sustitutos pueden estar en los polímeros tipo elastómeros y en las poliolefinas, pues estos materiales presentan características similares para realizar el proceso de producción.

Este proyecto busca evaluar la factibilidad de reemplazar el PVC por otros materiales poliméricos que permitan la eliminación total de ftalatos con el fin de evitar el uso de dicho material, ayudando a que la producción sea más amigable con el medio ambiente. Adicional a esto, se podrá elaborar un producto nuevo para la empresa y competitivo en el mercado permitiendo incrementar los ingresos de la organización.

En la actualidad existen diferentes investigaciones, que se realizaron en torno a los efectos del PVC en el medio ambiente; es importante realizar este proyecto para reducir la carga de contaminantes como las dioxinas que son generadas por la elaboración de productos que contiene trazas de este material.

Principalmente se busca darle al proyecto un enfoque ambiental, pues al momento de la producción del borrador con PVC se pueden llegar a liberar dioxinas, que son

contaminantes ambientales que pertenecen a la llamada «docena sucia»: un grupo de productos químicos peligrosos que forman parte de los llamados contaminantes orgánicos persistentes (COP)⁸⁴.

Adicionalmente la empresa desea realizar este proyecto por que busca una innovación de producto dándole un valor agregado haciéndolo más competitivo en el mercado, pues en la actualidad varias compañías a nivel mundial ofrecen productos libres de PVC.

Para esto se requieren los conocimientos necesarios sobre propiedades de materiales, métodos de obtención de polímeros y conceptos generales sobre las interacciones fisicoquímicas de diferentes materiales. Igualmente es necesario entender el proceso que realiza la empresa PELIKAN S.A.S. para la producción de borradores. Estos dos requerimientos se encuentran relacionados en los conocimientos que ofrece la Fundación Universidad de América a sus estudiantes de Ingeniería Química y a la experiencia en producción de la empresa PELIKAN S.A.S.

De acuerdo a la normativa europea, donde se contempla que todo producto en el mercado tiene que estar libre de PVC por los aditivos que anteriormente se utilizaban, como el cadmio.

Imagen 17. Desechos de diferentes productos a base de PVC.



Fuente. ALIBABA. Desechos de PVC color blanco de tubos de PVC y restos de perfiles de ventanas. Disponible en <https://spanish.alibaba.com/product-detail/pvc-scrap-white-colour-of-pvc-pipes-and-window-profiles-scraps-50039209176.html>
Consultado el 2 de abril 2019.

⁸⁴ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. [en línea]

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL BORRADOR LIBRE DE PVC

El borrador que se busca elaborar debe tener una adecuada adsorción del grafito para lograr la remoción total del mismo, debe ser suave y presentar la mínima viruta; todo lo anterior genera que el borrado sea de excelente calidad

Las anteriores propiedades son las que percibe el usuario, por tanto, físicamente debe ser firme, resistente al medio ambiente, agua, agentes orgánicos, y otros, adicional debe tener baja resistencia a la fractura, esto asegurara que el material no se agote con facilidad.

Dado que se necesita un lubricante para el procesamiento del material y un humectante para la aglomeración de los materiales, debe asegurarse que no se presente migración de estos compuestos, así no se formarán manchas en el papel.

En la actualidad se utilizan materiales que pueden presentar alteraciones en la salud de los operarios, por esto se plantea reemplazarlos por otros que otorguen las mismas características al borrador.

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS BORRADORES LIBRE DE PVC DISPONIBLES EN EL MERCADO

En la actualidad existen diferentes marcas que elaboran borradores (libres de PVC) Entre las marcas presentes en Colombia se encuentra una marca la cual identificaremos como **BMP** y **BFC** el cual ofrece 2 tipos de borradores con estas características, pero no tiene el distintivo PVC libre de.

La referencia **BMP** se encuentra en dos presentaciones, prisma y rectangular, esta es de color blanco, presenta en su etiqueta el distintivo de libre de PVC; por otro lado, su disponibilidad es alta, ya que se encuentra fácilmente en los diferentes canales de distribución.

En cuanto al **BFC** y **BFC-2** estos son rectangulares y de color negro y blanco respectivamente; no presentan en su etiqueta ningún distintivo libre de PVC, pero en la página web de la compañía si aseguran no contener este material; su disponibilidad es alta en el mercado.

También se logra encontrar otra marca, **BMO** donde se evidencia un distintivo que logra asegurar la ausencia de PVC en el producto. Es de color blanco y rectangular. Pero su disponibilidad es baja, dado que, solo se logró encontrar en un almacén de cadena.

Los dos borradores extra, **BBR** y **BBN**, fueron elegidos por las características físicas que evidencian, como suavidad y olor, puesto que en su empaque no se presenta algún logo o leyenda que afirme una elaboración sin PVC, esto no asegura que el

producto no contenga el material de interés. El primero de estos es blanco y cuadrado, mientras que el otro es negro rectangular; su disponibilidad es baja, pues no se logró encontrar en almacenes de cadena.

Cabe afirmar que en el mercado hay otras marcas de borradores libres de PVC, pero a estas no se logró hacer las pruebas de comparación puesto que en Colombia su comercialización es escasa o nula. En los mercados extranjeros, Staedtler, ofrece diferentes tipos de borradores libre de PVC, por tanto, libre de ftalatos.

Imagen 18. Borradores disponibles en el mercado.





Fuente: elaboración propia.

2.4 VERIFICACIÓN LIBRE DE-PVC



2.4.1 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, abrasión, desmigado, borrado y pruebas organolépticas.

Cuadro 2. Equipos empleados para las pruebas físicas.

Equipo	Imagen	Descripción	Datos que suministra
Durómetro <i>Hardmatic</i> <i>HH-300</i>		<p>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.</p>	<p>Los datos suministrados se encuentran en unidades de Shore A, dentro del rango de 10 a 90 Shore A.</p>
Abrasimetro <i>STM</i> <i>469/CA</i>		<p>Cuenta con un cilindro rotatorio de un diámetro específico, con una superficie abrasiva, el cual simula una distancia de 40 metros, en donde la probeta de material pasará y se evaluará el gasto que este presenta.</p>	<p>Los datos suministrados se encuentran en milímetros cúbicos (mm³)</p>
Densidad <i>PCE H-</i> <i>300S</i>		<p>Cuenta con un recipiente rectangular estandarizado, el cual contiene una muestra de agua, en donde se añade la muestra a analizar, permitiendo así evaluar el peso con respecto al volumen desplazado por la muestra.</p>	<p>Los datos suministrados se encuentran en unidades de gramo por centímetro cúbico (g/cm³).</p>

Fuente: elaboración Propia.

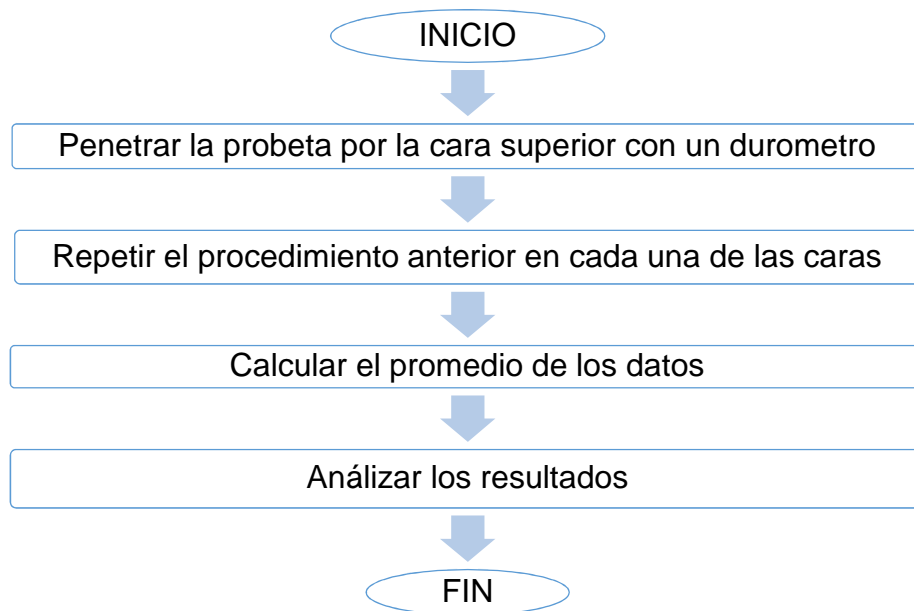
Cuadro 2. (Continuación)

Equipo	Imagen	Descripción	Datos que suministra
Balanza analítica <i>Adventurer Pro AV412</i>		El equipo permite registrar el peso real del material analizado	Los datos recolectados se encuentran en gramos (g)
Calibrador Pie de Rey <i>MIYOTO-CD-6"CX--B</i>		El equipo permite determinar las diferentes longitudes presentes en el material, ya que cuenta con una escala de 0 mm a 160 mm, junto con eso el equipo al contar con un sistema digital permite obtener resultados más precisos.	Los datos recolectados son entregados en milímetros (mm).

Fuente: elaboración Propia.

) 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, para materiales poliméricos la dureza es baja, los cuales son medidos en unidades de shore A o Shore D dependiendo el tipo de material⁸⁵, los ensayos se 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.

Diagrama 1. Prueba de dureza.



Fuente: elaboración propia

⁸⁵ 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. 130 p.

Imagen 19. Prueba de dureza en los borradores disponibles en el mercado, utilizando un durómetro Mitutoyo.

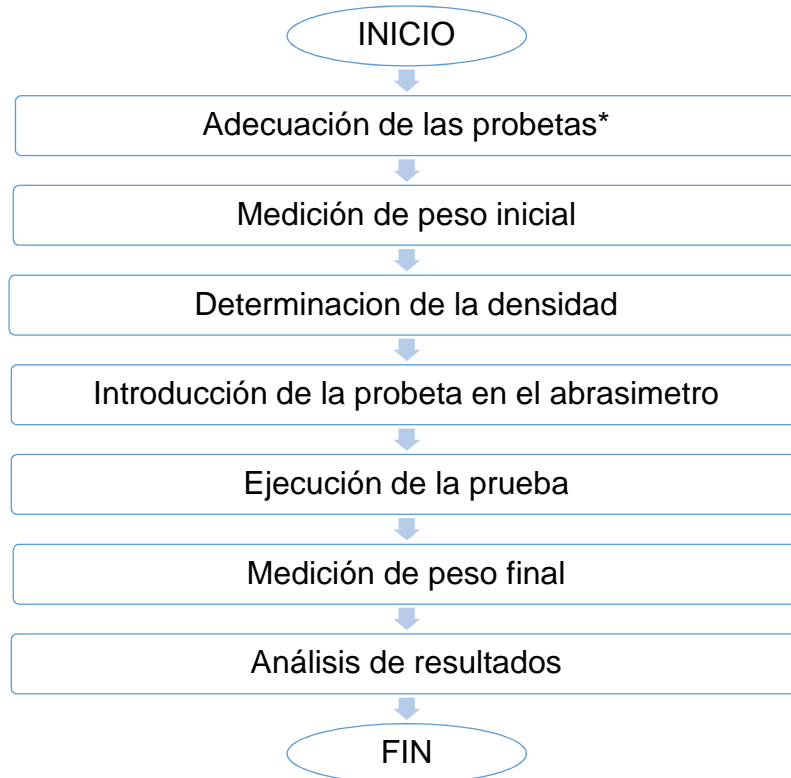


Fuente: elaboración propia.

) 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, el cual se puede presentar por dos o tres cuerpos, en materiales poliméricos se presenta un efecto de abrasión por deslizamiento, en donde se produce la eliminación del material por medio de viruta⁸⁶; los ensayos son realizados bajo la norma ASTM C-131, 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.

⁸⁶OJADOS, Gonzalo. Resistencia al desgaste y a la abrasión de polímeros técnicos y nanocomposites. Tesis Doctoral. Cartagena de Indias.: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013. 180 p.

Diagrama 2. Prueba de abrasión.



Fuente: elaboración propia.

*En cuanto a la adecuación de la probeta, se realizó 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.

Imagen 20. Adecuación de borradores para prueba de abrasión de los borradores presentes en el mercado y prueba en curso.



Fuente: elaboración propia.

) Borrabilidad: se establece la calidad del borrado dependiendo de cómo ejecuta su función, en donde 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; por otro lado, el desmigado se evidencia con respecto a la pérdida en peso después de realizar la prueba de borrado, en donde se emplea una balanza analítica para establecerlo.

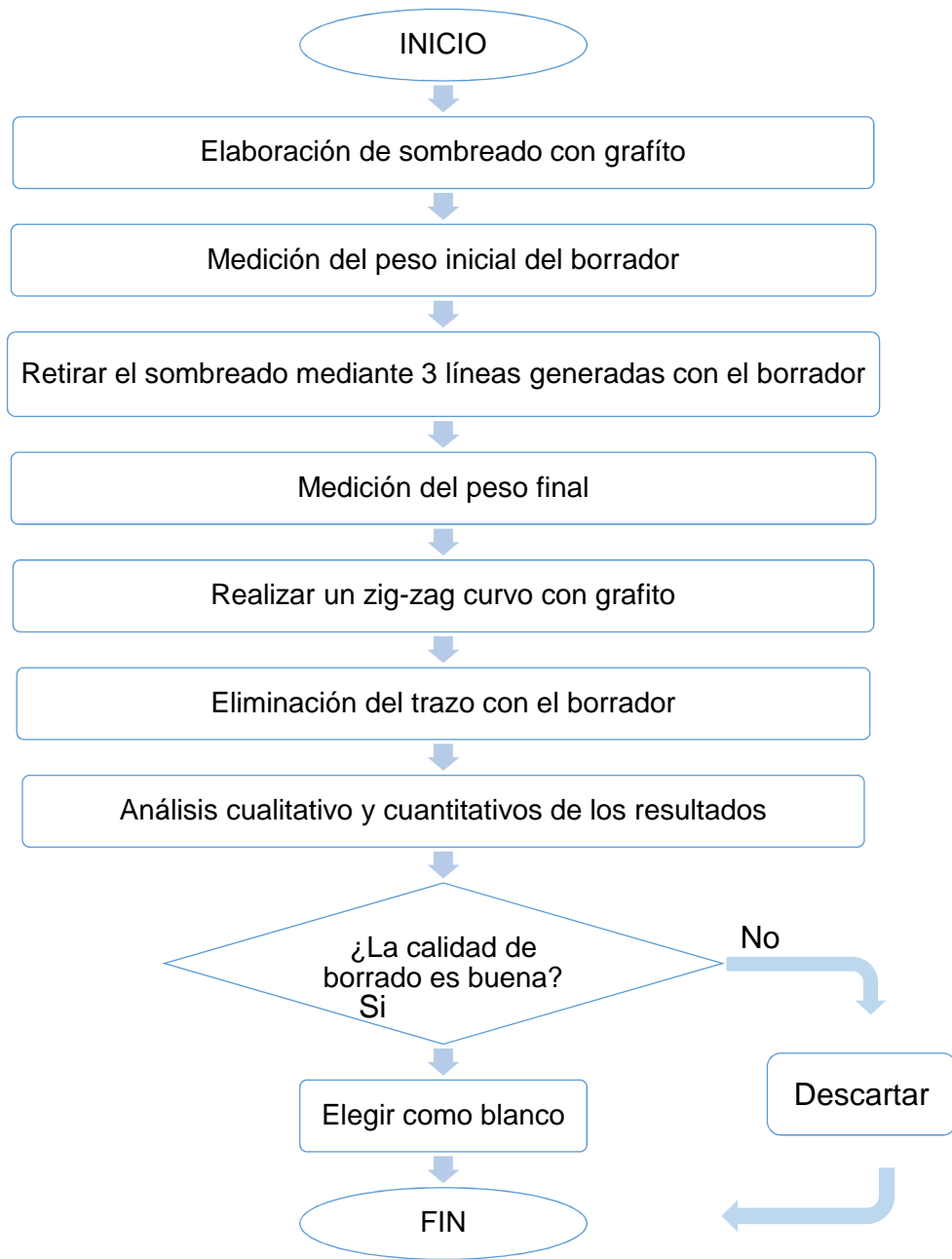
En esta se evidencia que tanta mancha el producto y si deja algún tipo de marca luego del borrado. Se realiza para buscar la mejor calidad que se encuentra en el mercado y así poder tener una base respecto a características físicas, dichas pruebas fueron proporcionadas por Pelikan Colombia S.A.S., puesto que son propias de la empresa y no siguen ninguna normal.

Imagen 21. Prueba de borrabilidad a los borradores disponibles en el mercado.



Fuente: elaboración propia.

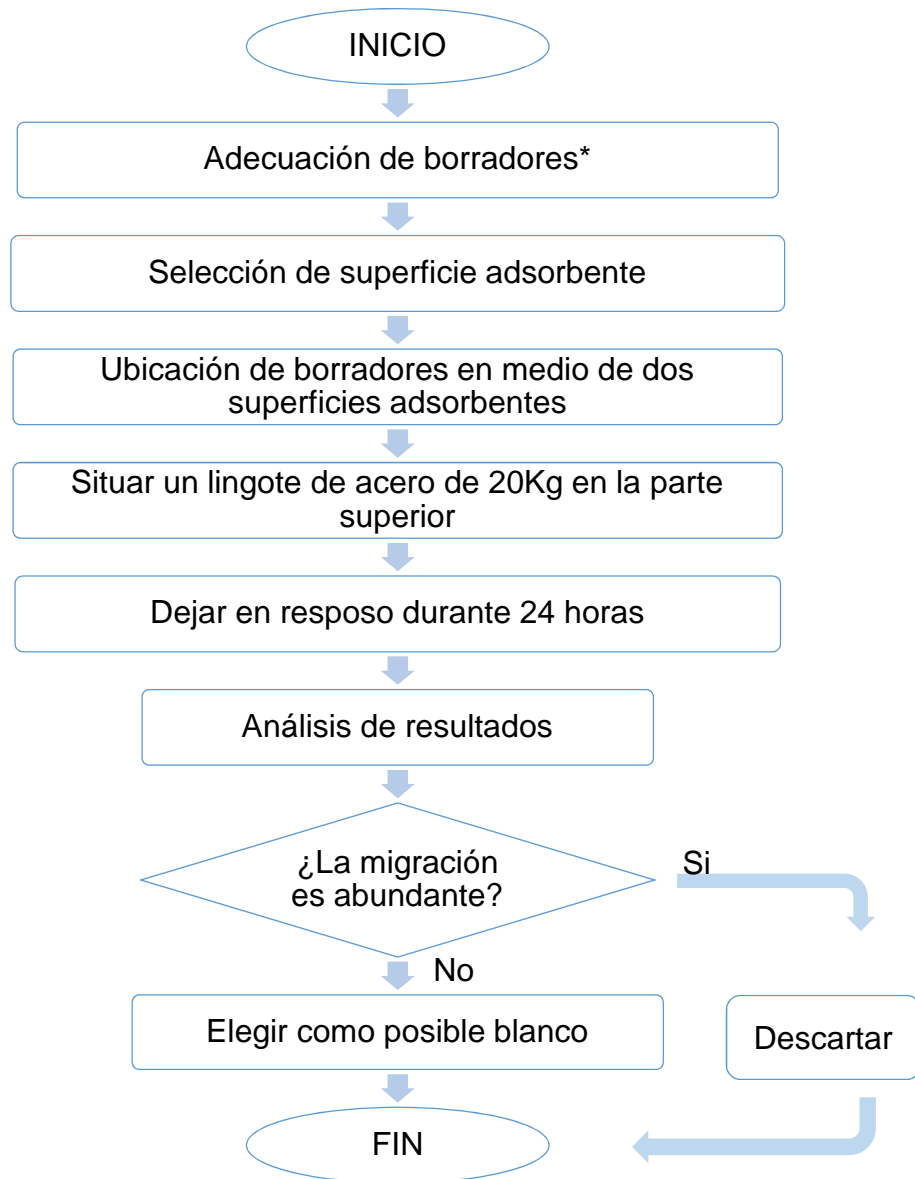
Diagrama 3. Prueba de borrabilidad.



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 dado que es propia de la empresa. Se utilizan dos superficies absorbentes (papel bond), un lingote de acero de 20kg y una muestra de cada probeta.

Diagrama 4. Prueba de migración.



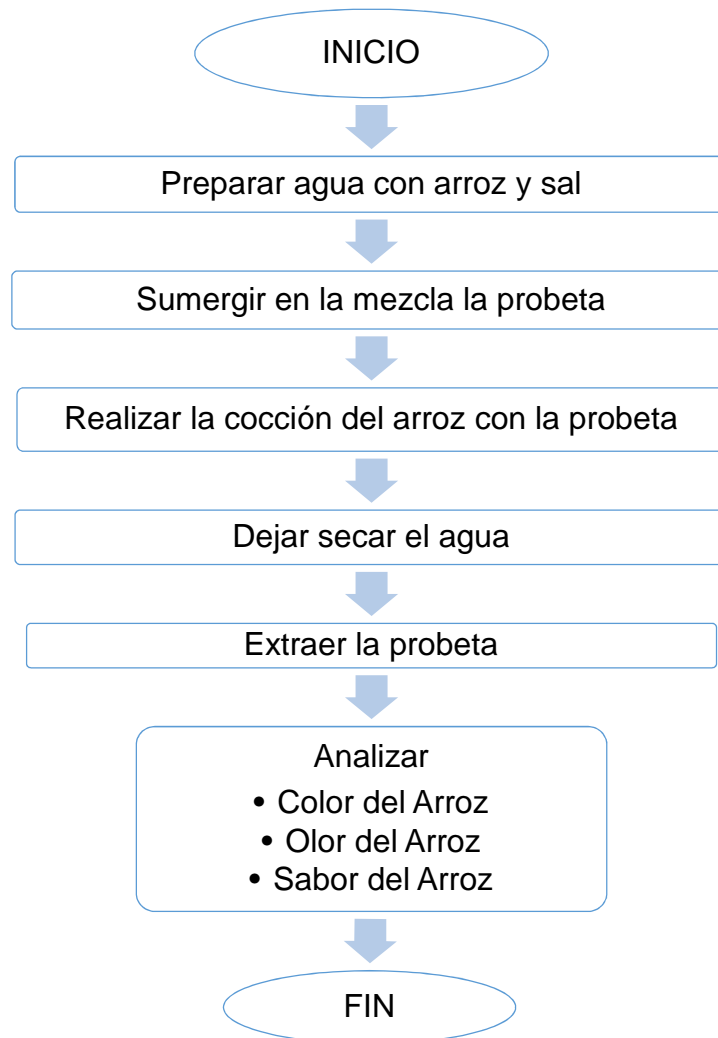
Fuente: elaboración propia

*En cuanto a la adecuación de los borradores estos se dimensionaron en una forma rectangular, adicional se realiza la selección de superficie, la cual se basó en la similitud al medio donde se trabajaría.

) Propiedades Organolépticas: se busca conocer si el producto a comparar tiene caucho. Se realiza bajo la norma NTC 1982-1998. Se adecua la probeta para realizar el análisis pertinente de color, sabor y olor, los cuales son resultados cualitativos de los mismos.

Se lleva a cabo para determinar que los borradores no tienen presencia de PVC, debido a que en esta arrojan un aroma característico del mismo el cual permite descartar directamente algunos de los borradores.

Diagrama 5. Pruebas organolépticas.



Fuente: elaboración propia

Imagen 22. Pruebas organolépticas a borradores disponibles en el mercado.



Fuente: elaboración propia.

-) Determinación de densidad: se toman las medidas de la probeta, con la ayuda de un calibrador pie de rey y se toma el peso inicial y final de la prueba de borrado y desmigado, para posteriormente calcular el volumen del producto y así poder obtener un valor de densidad.

Imagen 23. Toma del peso y medidas de borradores libres de PVC disponibles en the mercado.



Fuente: elaboración propia.

2.4.2 Pruebas químicas (espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier). Se fundamenta en los principios de la espectroscopia molecular, en donde se llega a analizar diferentes moléculas tanto orgánicas, como inorgánicas; el principio básico se basa en la absorción de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y el material a analizar, se basa en las moléculas que pueden llegar a rotar y vibrar en diferentes frecuencias de onda.

Los diferentes componentes químicos presentan movimientos vibracionales naturales dentro de un rango específico de frecuencias de infrarrojo.

Tabla 7. Región del espectro de infrarrojo.

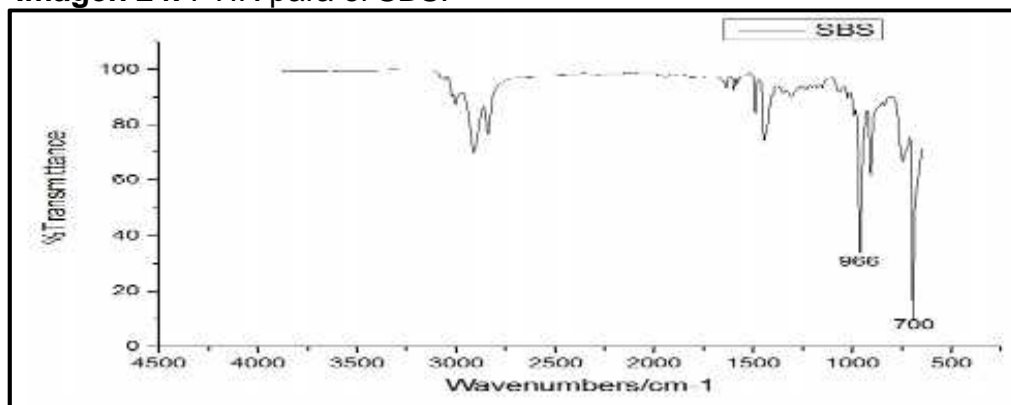
Región	Intervalo de longitud de onda (λ), ~M	Intervalo de número de onda ($\bar{\nu}$), cm^{-1}	Intervalo de frecuencia (N), Hz
Cercano	0.78 a 2.5	12800 a 4000	3.8E14 a 1.2E14
Medio	2.5 a 50	4000 a 200	1.2E14 a 6.0E12
Lejano	50 a 1000	200 a 10	6.0E12 a 3.0E11
La más utilizada	2.5 a 15	4000 a 670	1.2E14 a 2.0E13

Fuente. SKOOG, D. Química instrumental capítulo 16 p420

Cada componente tiene un comportamiento particular frente al haz de infrarrojo, lo cual determina la eficiencia del análisis de infrarrojo⁸⁷

2.4.2.1 Antecedentes. En la bibliografía se encuentran los FTIR para los diferentes componentes, en estos se logra evidenciar los puntos representativos y se familiariza con la forma como se obtiene los resultados del equipo.

Imagen 24. FTIR para el SBS.



Fuente. WEIYING, Wang.; JINGYUN, Chen.; SHIYU, Li.; Rotary Viscosity and FT-IR Analysis of Recycled-modified Asphalt [en línea](16 mayo de 2019) Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/62b1/16b0c0b396f680a64f85de4b1b09954ebafb.pdf>

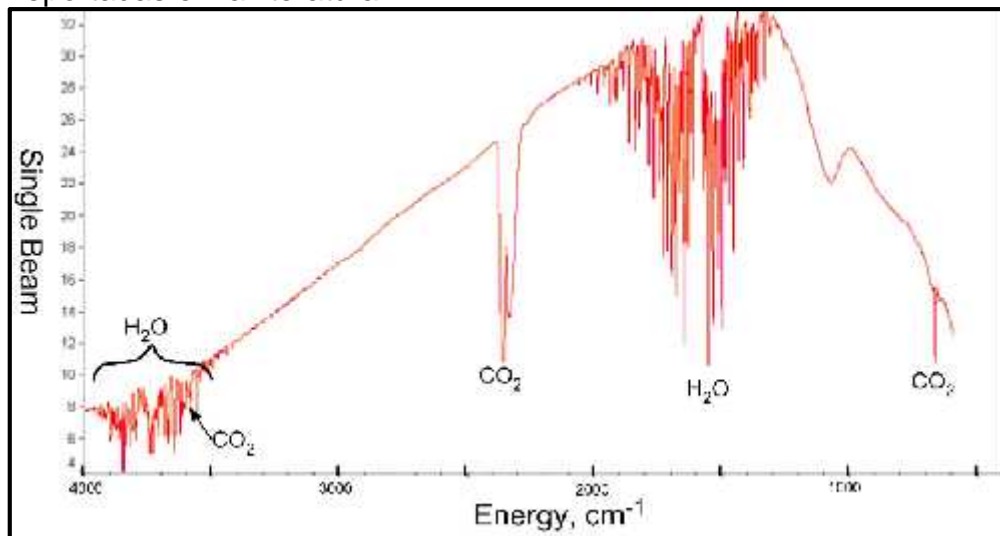
⁸⁷ PIQUÉ, Teresa. VÁZQUEZ, Analía. Uso de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. En: Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo. Enero-junio, 2012. Vol. 3, no. 2, p. 62-71

2.4.2.2 Funcionamiento. El espectrómetro funciona con una muestra, la cual se adecua en una pastilla la cual está compuesta de una sal alcalina como es el caso de bromuro de potasio (KBr), esto en el caso de los sólidos, para los líquidos se genera una película delgada con el componente puro.

Estas se introducen en una celda de infrarrojo, donde se somete a una fuente de luz infrarroja; cada molécula presente tiene diferentes grupos funcionales los cuales vibran de una manera específica la cual se ve representada con el cambio de dipolo de la molécula, debido a que algunas moléculas no pueden llegar a acumular la energía para realizar el cambio pueden llegar a presentar el mismo grupo funcional por lo que se pueden llegar a presentar falencias en la lectura.⁸⁸

2.4.2.3 Background. Para el adecuado funcionamiento del equipo, evitando posibles errores que se lleguen a presentar se realiza una corrida previa en donde se identifican posibles interferencias que pueden alterar la lectura como son la presencia de agua y dióxido de carbono, presentes en el aire, debido a agentes externos como lo son los equipos aledaños a este o por el personal que está ejecutando la prueba, permitiendo así que el equipo desprece estos datos y genere una lectura más adecuada.

Imagen 25. Background de FTIR de mediciones estandarizadas reportadas en la literatura.



Fuente. Background spectra (23 mayo 2019) Disponible en: <https://mmrc.caltech.edu/FTIR/Literature/General/Background%20spectra.png>

⁸⁸ LUBLEARN. Espectroscopia infrarroja para transformadas de Fourier. [Noria Latín América] [en línea]

2.4.2.4 Lectura del espectro. La identificación de los compuestos se lleva a cabo en dos zonas del espectro. La primera permite determinar los grupos funcionales presentes, está comprendida desde 3600 cm^{-1} a 1200 cm^{-1} y es conocida como región de frecuencias de grupo, por otro lado, la segunda zona se conoce como huella dactilar, está comprendida desde 1200 cm^{-1} a 600 cm^{-1} .

Primero se determinan de los grupos funcionales presentes en la región de frecuencia de grupo, posterior a eso se analiza la similitud de los picos en la zona de huella dactilar en donde se corrobora la identidad del compuesto⁸⁹.

2.4.2.5 Aplicaciones. Las aplicaciones dependen de la necesidad, como es el caso la identificación de moléculas presentes en un alimento, determinando las grasas trans presentes en alimentos fabricados, otro ejemplo es el control de drogas donde se confirma la presencia de alucinógenos.

Por otro lado, el control de calidad para productos farmacéuticos, se emplea esta técnica para cumplir con la normativa de cada producto y por último está en el análisis de polímeros y plásticos en donde se identifican las resinas, recubrimientos aditivos este análisis permite la identificación y verificación de materiales, evaluación de copolímeros y mezclas, identificación y cuantificación de aditivos y por último la evaluación de la degradación molecular de estos⁹⁰.

2.5 ANÁLISIS DE PRUEBAS Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

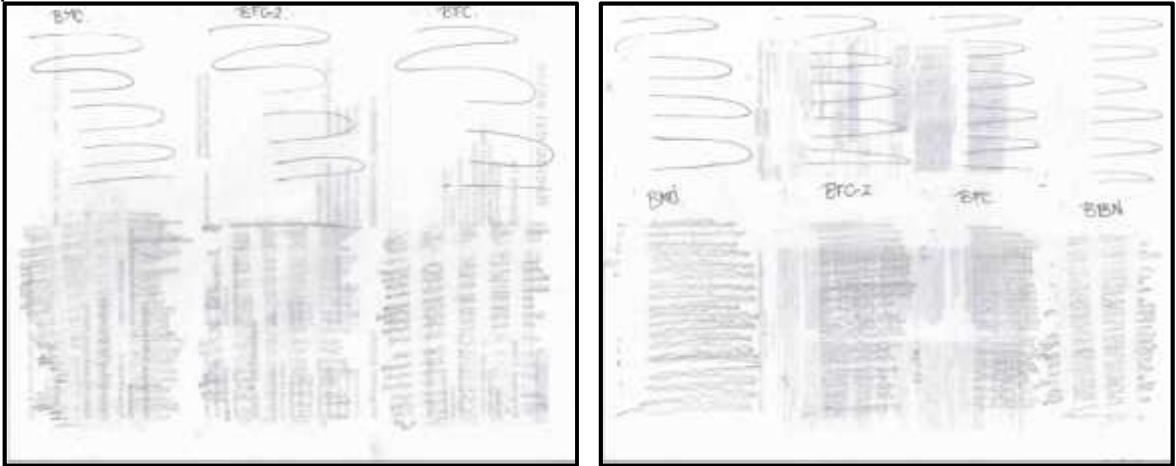
2.5.1 Resultados de las pruebas de comparación físicas. Se realiza cada una de las pruebas de comparación física para las diferentes referencias encontradas en el mercado, permitiendo así seleccionar la probeta con mejor calidad.

) Borrabilidad: a continuación, se evidencia la prueba que se realizó en los diferentes borradores presentes en el mercado

⁸⁹ SKOOG, Douglas. Principios de Análisis Instrumental. Quinta Edición, 2001.

⁹⁰ TERMOFISHER SCIENTIFICS. FTIR Applications. 2013. [en línea],

Imagen 26. Prueba de borrado para los diferentes borradores con diferentes presiones.



Fuente: elaboración propia.

En el anexo A se encuentra los resultados de la prueba en un tamaño mayor para lograr evidenciar las marcas realizadas.

-) Migración: el procedimiento se efectúa empleando la metodología anteriormente descrita para la prueba y se evidencia el resultado obtenido.

Imagen 27. Prueba de migración de los diferentes borradores.



Fuente. elaboración Propia

En el anexo B se encuentra la prueba en un tamaño mayor para lograr evidenciar las marcas de migración que dejó cada borrador.

-) Dureza: en el proceso se emplearon los diferentes productos en el mercado, en donde al ser un material flexible se requiere de precisión y agilidad al realizar las diferentes lecturas, debido a que el material puede ceder.
-) Pruebas Organolépticas: al realizar la prueba se evidencio un ligero cambio de color en el arroz empleado para algunos borradores, mientras se realizaba la cocción, se liberaba un ligero olor a caucho en la primera probeta es decir en BBR y en cuanto al sabor no se presentaron cambios.

Imagen 28. Pruebas organolépticas para borradores encontrados en el mercado.



Fuente: elaboración propia

Luego de realizar cada prueba se analizaron los resultados para poder elegir los borradores con mejor calidad de borrado, para ello se tuvo en cuenta principalmente la abrasión, la dureza, la densidad y la pérdida en peso.

Tabla 8. Resultados generales de las pruebas de comparación de los borradores presentes en el mercado.

Referencia	Abrasión [mm³]	Dureza [Shore A]	Densidad [g/cm³]	P/P [%]
BFC-2	304,89	61,083	1,332	0,063
BFC	305,55	60,083	1,311	0,064
BMP	511,62	70,100	1,330	0,258
BMO	431,99	64,750	1,576	0,591
BBR	430,45	63,667	1,904	0,078
BBN	Sin datos	56,167	1,985	0,095

Fuente: elaboración propia.

En el anexo C se encuentra la tabla completa de los resultados de todos los borradores.

En cuanto a los resultados de la prueba de abrasión, se evidencia que el borrador BMP es el que más mayor desgaste presenta, por tanto, este es el que mayor viruta genera. Con respecto a los demás se encuentran en rangos inferiores, pero dentro de lo adecuado para un material flexible.

Con los datos de dureza generados, se logra determinar que un borrador debe tener una dureza aproximada de 63,736 +/- 3 shore A, lo cual está de acuerdo a la norma para materiales flexibles (ASTM D2240).

Dado que la densidad se ve afectada por la cantidad de carga presente en el material, se puede evidenciar que los borradores BBR Y BBN tienen mayor cantidad de carga con respecto a los demás, esto puede deberse a que estén elaborados con PVC.

La pérdida de peso se ve determinada por a la cantidad de viruta generada y la prueba de abrasión, por esto se evidencia que los borradores BMO y BMP tienen mayor desgaste, dato que se corrobora con los resultados de abrasión.

Pruebas BBN-BBR:

Al analizar las pruebas realizadas, se logra eliminar como posible blanco las referencias BBN y BBR, ya que estas dejaron mancha leve luego del borrado, la borrrabilidad no es de buena calidad dado que dejo marca del trazo y el manchado sobre el borrador fue abundante, lo que indica mala calidad del borrador.

En cuanto a la prueba de migración estas presentaron baja migración de aditivos. Para las pruebas organolépticas, estos presentaron olor característico a caucho.

Pruebas BMO:

Con respecto a BMO esta presenta varias diferencias al momento de realizar las pruebas; la viruta se adhiere al papel y no se logra retirar fácilmente, produce un tipo de mancha en él y en el papel, esto hace que su borrabilidad sea deficiente, en las pruebas organolépticas no presentó ninguna señal de caucho en su composición, pero, se descarta como blanco para el nuevo borrador por su mala calidad de borrado.

Pruebas BFC y BFC-2:

Al analizar BFC y BFC-2, estos presentan una buena borrabilidad sin dejar marca del trazo, ni mancha en el papel, en cuando a la viruta esta es de gran cantidad y la migración de aditivos es abundante. Al hacer pruebas de reconocimiento organoléptico (NTC 1982:1998), se evidencia que el borrador BFC-2 tiene un olor característico a caucho, olor similar al que presentan los borradores elaborados en PVC, dado esto, se decide eliminar este como blanco del nuevo producto.

Pruebas BMP:

BMP presento mejores características de borrabilidad, este no deja marca del trazo, no genera ningún tipo de mancha en el papel luego de las dos pruebas de borrado, al entrar en contacto con el papel este es suave, lo que hace que el borrado se facilite y su migración no es cuantiosa.

Finalmente se decide realizar pruebas a los borradores que mejores características presentaron, es decir, BFC y BMP, este se encuentra en 2 presentaciones, prisma y cuadrado.

2.5.2 Resultados de las pruebas químicas. Se realiza el análisis de infrarrojo a los diferentes productos, con el fin de identificar los posibles materiales presentes en el, en donde se llegan a evidenciar picos característicos de algunos materiales, los cuales pueden ser materia prima para el producto final.

Esta prueba se realiza a los borradores seleccionados (BMP, en sus dos presentaciones y BFC), con el fin de tener una base sólida de los posibles materiales a utilizar.

Los equipos empleados fueron *IRPrestige-21* de la marca *Shimadzu* y una prensa manual de la marca *PERKINA*.

Para realizar esta prueba se tomó viruta del borrador, se generó una pastilla con Bromuro de potasio (KBr); se utiliza este compuesto ya que es posible generar una mezcla sólida y no absorbe el haz de infrarrojo, por ende, no generara ningún tipo de señal en el resultado; estos dos materiales se maceran hasta generar una mezcla homogénea.

Luego de obtener la mezcla esta se ubica en el pastillero, el cual es llevado a una prensa manual para compactar la pasta hasta que esta sea translúcida y permita la incidencia del haz de luz. En cuanto al ambiente este debe estar constantemente refrigerado y la muestra libre de humedad. Todos los elementos son limpiados con una solución de acetona-etanol.

Para iniciar la lectura de la muestra se realiza un background al equipo, donde se calcula la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) y humedad presente en el ambiente, para que estos sean descartados al momento de mostrar el resultado de la muestra. A continuación, se introduce la muestra al equipo y se hace pasar el haz de infrarrojo 20 veces a través de la muestra, este genera un espectro al cual se le realiza una limpieza de ruido, es decir, disminuirle las señales de perturbaciones como partes donde se cuartea la muestra, partes de viruta que no se mezcló por completo, presencia de CO₂ y porcentaje de humedad.

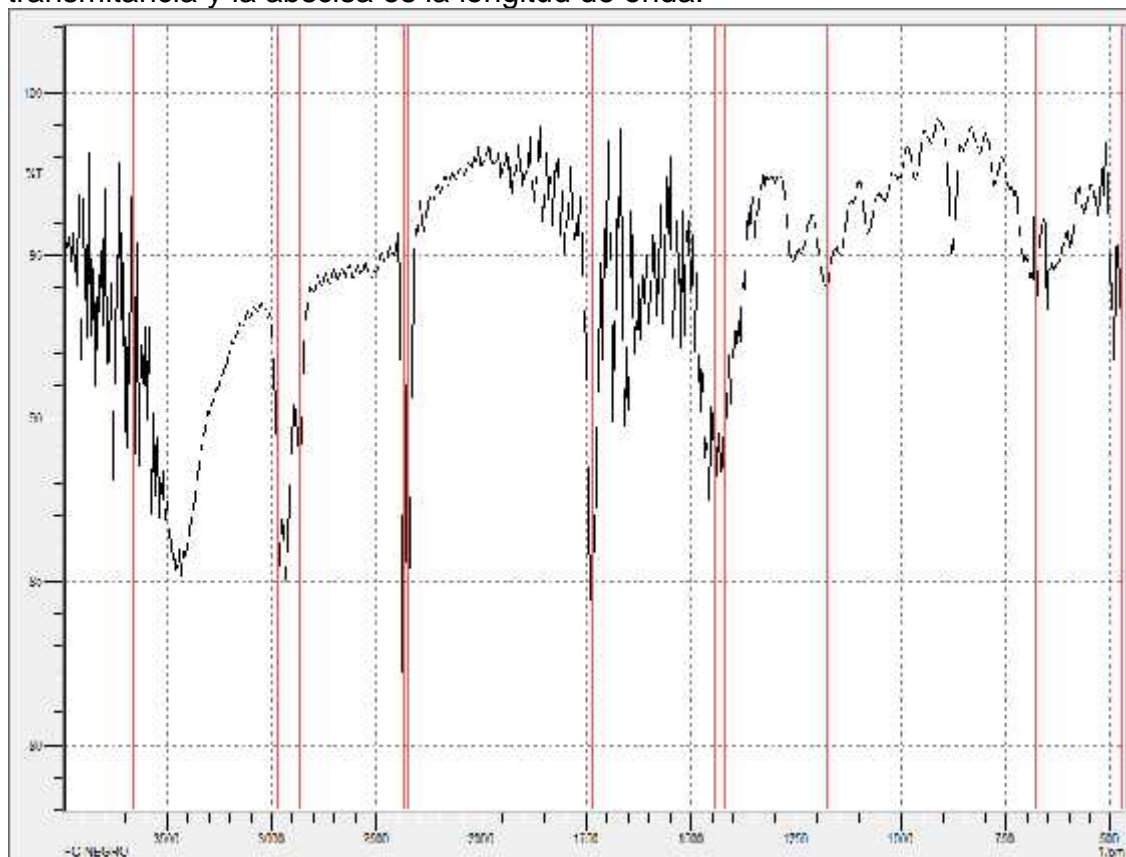
Luego de obtener los espectros de cada producto, se prosigue a analizar dicho resultado. Para esto se divide el espectro en dos regiones. Región 1, zona de huella digital (< 1500 cm⁻¹) donde se encuentran las señales de corroboración y región 2, zona de diagnóstico, se identifican los grupos funcionales pertenecientes a la molécula

Se buscan los picos representativos del espectro y se procede a señalarlos. Posteriormente se consulta en la literatura la posición de las vibraciones, elongaciones y torsiones características de cada grupo funcional, al encontrar similitud se prosigue a corroborarlas con los picos de la huella dactilar.

Para facilitar el proceso de detectar los componentes, se compara dicha zona con espectros del compuesto encontrados en la literatura.

A continuación, se muestran los resultados de uno de los espectros con la señalización de los picos relevantes.

Imagen 29. Esquema del BFC. Donde la ordenada es el porcentaje de transmitancia y la abscisa es la longitud de onda.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Picos representativos de BFC.

Picos	Longitud de onda (cm ⁻¹)
1	3460
2	3428
3	2963
4	2932
5	2868
6	2371
7	2340
8	1805
9	1740
10	1686

Fuente: elaboración propia

Tabla 9 (Continuación)

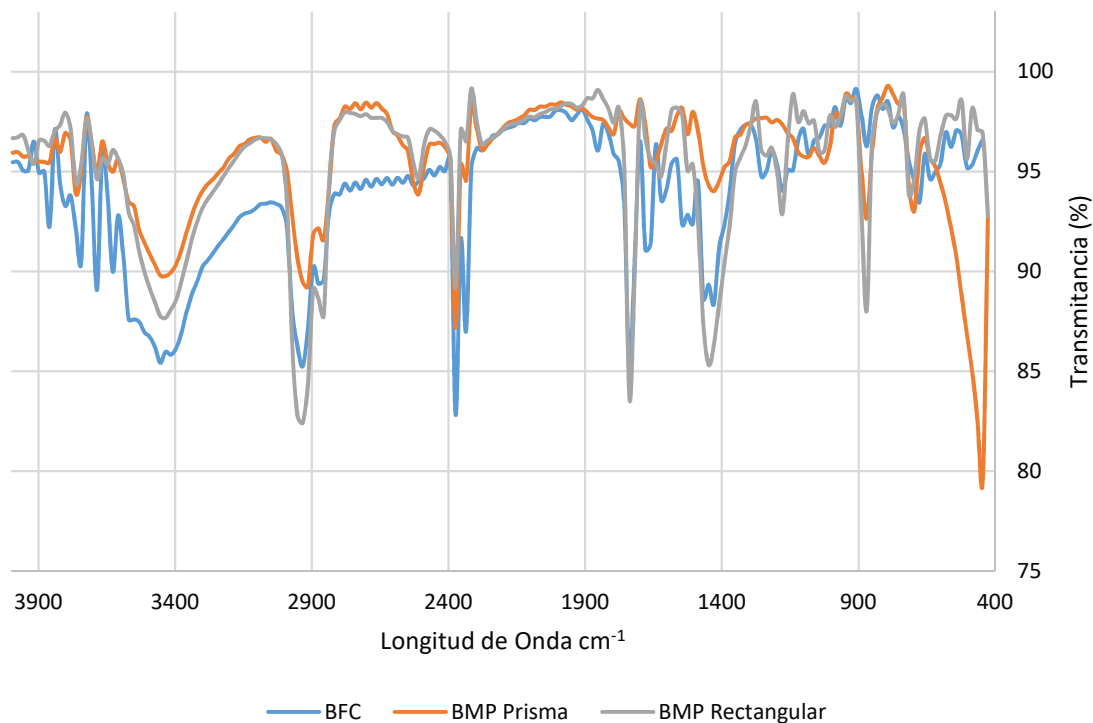
Picos	Longitud de onda (cm ⁻¹)
11	1655
13	1441
14	1422
15	1184
16	876
17	679
18	654
19	496
20	474

Fuente: elaboración propia

Los resultados de los espectros de los demás borradores se presentan en el anexo D.

Después de corroborar la presencia de picos similares, se decide sobreponer los espectros de los 3 borradores para poder descartar la presencia de moléculas similares.

Gráfica 2. Infrarrojo con transformada de Fourier, conjunto de borradores.



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la literatura se identifican los siguientes componentes en los tres borradores.

-) Carbonato de calcio: se identificó la presencia de los 6 picos necesarios de este compuesto.

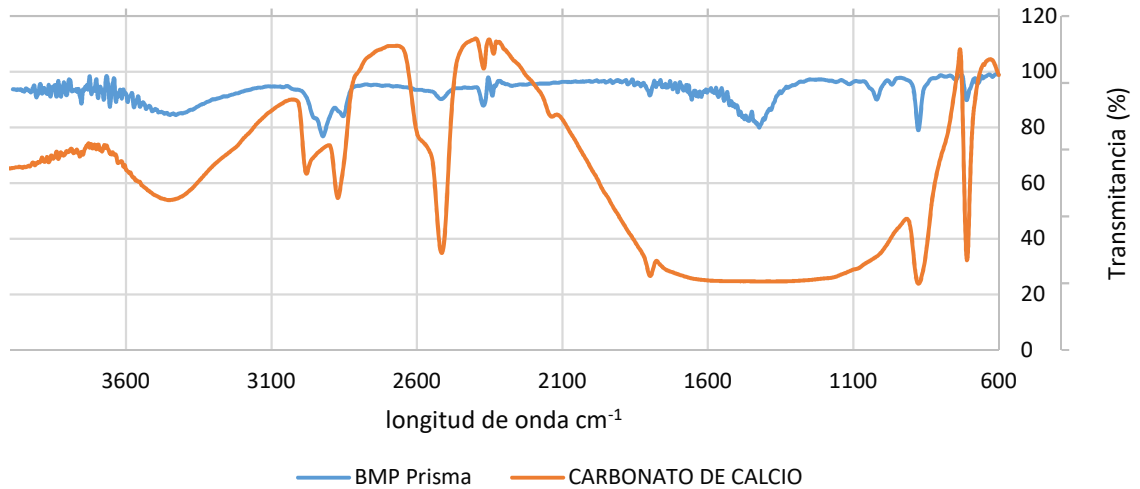
Tabla 10. Longitud de onda del carbonato de calcio.

Longitud de onda (cm ⁻¹)	Característica en el espectro
2550	Muy débil
1810	Muy débil
1410	Banda ancha y muy fuerte
880	Fuerte
720	Media
310	Banda ancha y fuerte

Fuente. VAZQUEZ, T; BLANCO, M. Tablas de frecuencias y espectros de absorción infrarroja de compuestos relacionados con la química del cemento. (1981) España. p.34.

Para corroborar la presencia de este compuesto se decide, sobreponer el espectro de carbonato de calcio sobre los realizados con los borradores.

Gráfica 3. Espectro de carbonato de calcio sobrepuesto en el espectro de BMP prisma.



Fuente: elaboración propia

Con esta información se puede corroborar que los 3 borradores contienen carbonato de calcio en su composición. En el anexo E se encontrará los demás espectros de carbonato de calcio sobrepuesto en el realizado con los diferentes borradores.

J) Elastómero: se identificó la presencia de cuatro picos característicos del elastómero estireno-butadieno-estireno (SBS), debido a que al ser un componente poco soluble y de baja concentración no se encontraron los seis picos que permiten corroborar totalmente el elastómero.

Se identificó la presencia de los 5 picos necesarios de este compuesto.

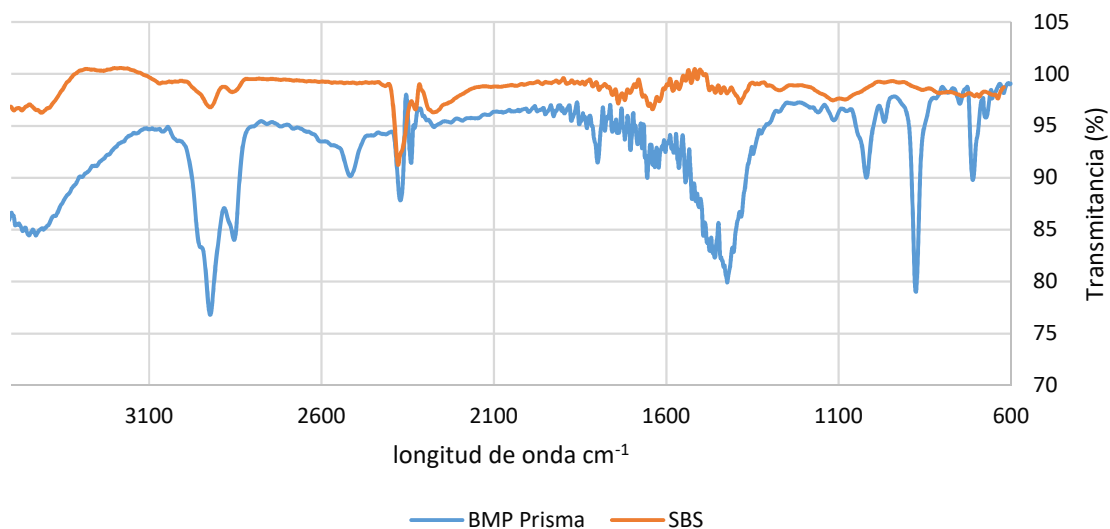
Tabla 11. Longitudes de onda del SBS.

Longitud de onda (cm ⁻¹)	Característica en el espectro
2800	Banda ancha y fuerte
1500	Media
1000	Muy fuerte
750	Muy Fuerte
600	Débil

Fuente. Funcionamiento mediante grupos sulfónico de copolímeros en bloque y radicales de poli(estireno-butadieno-estireno) SBS

Para corroborar la presencia de este compuesto se decide, sobreponer el espectro de SBS sobre los realizados con los borradores.

Gráfica 4. Espectro de SBS sobrepuesto en el espectro de BMP prisma.



Fuente: elaboración Propia

Con esta información se logró encontrar cuatro picos importantes en la zona de diagnóstico del espectro, lo que hace sospechar que es uno de los componentes del borrador, pero en la parte de huella dactilar no es posible identificar picos para corroborar esta información, por tanto, no se puede asegurar la presencia de este.

En el anexo F se encontrará los demás espectros de SBS sobrepuesto en el realizado con los diferentes borradores.

Al realizar los espectros solo se puede identificar la presencia de carga y resina, puesto que en literatura se especifica que estos componentes superan el 70% de la composición total del borrador, por tanto, los demás componentes no se logran detallar debido a su baja concentración ya que los picos se ocultan con los picos de los componentes en mayor proporción.

2.5.3 Condiciones de selección. Las patentes investigadas nos indican 5 materiales principales que tiene que hacer parte de la formulación del borrador libre de PVC.

Se debe seleccionar una resina base que será la encargada de realizar el borrado; para la elección de este material, se debe tener en cuenta que la flexibilidad sea similar a la del caucho natural, pero con un porcentaje de rigidez para darle la resistencia al momento de realizar el borrado.

Es por lo que se determina que el material debe ser un elastómero termoplástico, dado que, este presenta una flexibilidad y una rigidez. Adicional a esto se investiga la temperatura de trabajo, debido a que esta debe ser elevada ($>150^{\circ}\text{C}$) para poder realizar la transformación en la extrusión. Existe la posibilidad de agregar más de una resina para disminuir el costo del producto.

Junto con la resina se debe agregar una carga, esta será la encargada de darle cuerpo y resistencia mecánica, adicional disminuirá los costos del producto; funcionará como relleno sin cambiarle las características del producto. Se debe tener en cuenta el tamaño de partícula de este material, puesto que es indispensable que tenga el tamaño apropiado para poder integrarse en los demás materiales.

Por otro lado, se adicionará un lubricante, el cual es empleado para reducir la fricción del producto dado que puede llegar a generar una adhesión entre la resina y los componentes metálicos presentes en el equipo, este componente afecta la elasticidad, la dureza y otros aspectos físicos los cuales que permiten una mayor fluidez; también otorga propiedades antioxidantes, generando una capa hidrofóbica, lo cual permite su interacción con la intemperie sin que afecte sus propiedades o se llegue a degradar el producto.

Otro material es el humectante, el cual se emplea para generar una adherencia entre los diferentes componentes del producto, considerando el estado en el que se encuentra, se busca que este no migre fácilmente a la superficie del producto, además de que contribuye a la bajar la viscosidad de la fusión, funciona como plastificante y generar resistencia para evitar el agrietamiento de este evitando los fenómenos de ruptura molecular y degradación en altas temperaturas.

En cuanto al estabilizante térmico, no es sugerido por las patentes, pero es necesario agregarlo puesto que este evita la degradación durante el proceso de extrusión, dado que permite un procesamiento a altas temperaturas, sin que genere alteraciones a las propiedades organolépticas presentes en el producto.

Por último, es opcional, la adición de color, este podrá ser negro, blanco u otro, según las especificaciones que se requieran; este no cambia las características del producto final por tanto solo se debe asegurar que sea un pigmento que aplique el color deseado.

2.5.4 Materiales seleccionados por revisión bibliográfica: los materiales por utilizar anteriormente analizados y las pruebas realizadas a los productos en el mercado, fueron la base para la elección de las materias primas adecuadas para realizar el producto de interés.

A continuación, se presentan los diferentes materiales elegidos con sus características, composición y aportes al borrador.

Cuadro 3. Características de los materiales seleccionados.

Material	Características
Elastómero termoplástico (SBS - SEBS)	Se eligen estas dos posibilidades de elastómeros: <ul style="list-style-type: none">) Presentan propiedades mecánicas muy similares, la diferencia entre ellos, es la resistencia a la intemperie, factor que no es determinante en la formulación. Adicional a esto, el SEBS tiene una temperatura de trabajo más elevada, pero en contraste es más costos. Por esto se elegirá el material que esté disponible en el mercado) Presentan mejores propiedades de borrado.) Similar al caucho y su elasticidad es la apropiada.) Disponible en el mercado) Su temperatura de trabajo es apropiada para el extrusor que se maneja actualmente igual que la dureza que tiene.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. (Continuación)

Material	Características
Carga (Carbonato de calcio)	<ul style="list-style-type: none">) Se usa como carga en la industria de los cauchos) Es viable utilizarlo por su blancura y suavidad.) El tamaño adecuado (10-13 micras.)
Lubricante	<ul style="list-style-type: none">)
Humectante (Aceite mineral parafínico)	<ul style="list-style-type: none">) Disminuye la fricción entre las moléculas del polímero, no migra fácilmente a la superficie del polímero.) Genera la adherencia entre los diferentes componentes) Funciona como plastificante y extendedor.) Durante el proceso de extrusión genera resistencia al agrietamiento.) Tiene alta estabilidad termo-oxidativa en general resistencia a los fenómenos de ruptura molecular y a la degradación en altas temperaturas.
Ayudante de proceso	<ul style="list-style-type: none">) Mejora el proceso de extrusión de componentes secos en pellets.) Su compatibilidad con cauchos polares es limitada) Funciona como desmoldante
Estabilizante térmico	<ul style="list-style-type: none">) Evita la degradación durante el proceso de extrusión.) No confiere olor, sabor o color al producto terminado) Tiene propiedades lubricantes que favorecen el proceso de extrusión.
Color	<ul style="list-style-type: none">) Dióxido de titanio para el color blanco o negro de humo para el color negro.

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a las diferentes pruebas y análisis realizados, se llevó a cabo la adecuada selección de materiales en donde se estableció la necesidad de una resina base, una carga, un lubricante, un humectante, un estabilizante térmico y el color, que posteriormente servirán de materia prima para el desarrollo del producto, cumpliendo con los diferentes estándares establecidos, tanto por la compañía como por diferentes patentes y normativas nacionales e internacionales.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE ALTERNATIVAS

La elaboración de borradores libres de PVC requiere de 6 materias primas, entre las cuales se encuentra elastómero estireno-butadieno-estireno (SBS) o estireno-etileno-butadieno-estireno (SEBS), carga, en este caso, carbonato de calcio, lubricante, humectante, estabilizante térmico y por último la adición de un pigmento que genere un color distintivo.

Por medio de diferentes patentes y de las formulaciones que actualmente se utilizan en la empresa PELIKAN S.A.S, se obtuvieron diferentes rangos de concentración para cada uno de los materiales.

Tabla 12. Rango de concentración de los materiales según patente.

Material	Rango De Concentración (%)
Elastómero	8-16
Carga	50-70
Lubricante	1-5
Humectante	5-10
Estabilizante térmico	1,5-2,5 phr
Color	0,5-5 phr

Fuente. PELIKAN COLOMBIA S.A.S. Patente, composición de borrador de semilla no PVC

3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE POSIBILIDADES

Para la selección de los materiales a utilizar se debe tener en cuenta las ofertas disponibles en el mercado, puesto que se encontraron mezcla de materiales.

Primera selección: para la primera selección de posibilidades se tiene en cuenta los 6 materiales por separado.

Dado que el estabilizante térmico y el color dependen del elastómero, pues las unidades que presenta el rango de concentración esta reportada como partes por resina (phr⁹¹), estos dos materiales se dejarán constantes en el desarrollo experimental.

En cuanto a la carga, esta será dependiente de los demás materiales, dado que en la extrusión se debe completar la capacidad de la extrusora, el carbonato de calcio se agregará en función de los demás componentes para poder certificar siempre que se cumpla con la capacidad necesaria.

⁹¹ Phr, de sus siglas en ingles *per hundred Rubber*.

Para el lubricante se utilizará lo que la empresa utiliza actualmente (1-5%). Este valor de lubricante no se va a modificar en los ensayos experimentales, debido a su baja concentración y por no ser crítico en el proceso. El valor de lubricante que actualmente utiliza la empresa ha demostrado un buen desempeño.

Finalmente, para realizar un desarrollo experimental se cambiará la concentración del elastómero estireno-butadieno-estireno (SBS) y el humectante, aceite mineral.

La cantidad de elastómero que se llegue a agregar será la responsable de otorgarle la función y características al borrador y en cuanto al aceite este es el responsable de brindarle la suavidad al borrador para su correcto uso y su calidad. A su vez, la proporción de aceite afecta la tendencia de migración.

Segunda selección: para la segunda selección de posibilidades se tiene en cuenta solo 4 materiales por separado (mezcla de elastómeros, carga, ayudante de proceso y color):

En el mercado se encontró una mezcla de elastómeros, el cual se utilizará con carga, pigmento y un tercer componente, ayudante de proceso, que proporcionaba las características de lubricante, humectante y estabilizante térmico.

-) El elastómero será ajustado a criterio debido a que se considerará como independiente del proceso. El elastómero otorga la funcionalidad al borrador, por tanto, se debe asegurar que este en las proporciones adecuadas.
-) La carga se manejará de la misma manera que el anterior, es decir, se tomará como dependiente de los demás componentes para asegurar la capacidad del extrusor.
-) El ayudante de proceso se agregará según las sugerencias del proveedor.

Finalmente, la variación será en la concentración de elastómero y el de ayudante de proceso, mientras que la carga completará la capacidad del extrusor.

Tercera selección: existe una tercera posibilidad, de un material donde su composición cuenta con todos los materiales necesarios para la elaboración de borrador.

3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el primer tipo de materiales la selección de intervalos se vio determinada por los rangos que se encontraron en las patentes y la información que le empresa facilitó. Se tomó en principio el límite inferior y superior.

Con ayuda con algunos proveedores se inició la pre- experimentación agregando los 6 materiales en proporciones adecuadas.

En cuanto al aceite se tomaron valores pequeños, para la cual se disminuyó la cantidad progresivamente, esto se realiza debido a que a menor proporción de aceite menos será el riesgo de migración en el borrador, sin embargo, el borrador seguía siendo altamente viscoso.

Gracias a estas pre-experimentaciones y a la disponibilidad de otros materiales en el mercado se decide no realizar una prueba con los 6 materiales por separado, por lo tanto, **el desarrollo experimental para el primer tipo de materiales se descarta.**

Para la segunda selección de materiales los rangos para experimentación se determinaron por las fichas técnicas proporcionadas por los proveedores y la patente que proporciona la formulación con más de un tipo de elastómero

Se busca realizar 4 tipos de mezclas con diferentes proporciones, en principio para determinar si los 4 materiales se acoplan de la manera adecuada y si el cambio de proporción en el material clave, en este caso, el elastómero, tiene alguna relevancia en la calidad del borrador. En cuanto a la carga esta completara la capacidad de la extrusora o la capacidad solicitada.

Tabla 13. Ensayos compuesto mezcla.

	Ensayos			
	1	2	3	4
Elastómero	30,0 - 40,0%	40,0-50,0%	30,0 – 40,0 %	40,0-50,0%
Carga	-	-	-	-
Ayudante de proceso	1,0-3,0%	1,0- 3,0%	1,0-3,0%	1,0-3,0%

Fuente: elaboración propia

Para determinar la calidad del borrador se realizan las diferentes pruebas de calidad las cuales son netamente cualitativas y se determina la dureza, verificando que este entre en el rango establecido (63,736+/-3 shore A).

Existe una tercera posibilidad, de un material donde su composición cuenta con todos los materiales necesarios, para este se utilizará una inyectora-extrusora y se elaboraran diferentes replicas para saber si cumple con la calidad del producto.

Por tanto, la ejecución experimental no se realizará para el compuesto de 6 materiales, debido a la pre-experimentación realizada y a la disponibilidad de material. Para el compuesto mezcla se realiza 4 mezclas con diferentes proporciones y se elabora por extrusión. El compuesto completo se procesa mediante una inyectora-extrusora.

4. ELABORACIÓN DE BORRADORES

La elaboración de borradores y la selección de las diferentes proporciones de cada material, se hace de acuerdo a los resultados de las patentes, en donde se evidencia que, entre mayor composición de elastómero, mejor calidad tendrá el producto.

4.1 EJECUCIÓN EXPERIMENTAL

Este desarrollo de experimentos se realizó con una inyectora – extrusora. Se delimito el desarrollo a una carga de 25 kg de cada uno de los materiales.

) El material completo se obtiene peletizado por tanto es posible realizar una inyección. La experimentación se lleva a cabo en el Servicio de Aprendizaje Nacional (SENA), allí el encargado de manipular el equipo es el Ingeniero de polímeros y especialista en química de polímeros Alexander Castillo instructor del área de procesamiento de plásticos en la sede de metalmecánica del SENA.

Para poder realizar la prueba, se hace necesario que el material este paletizado, dado que la maquina no acepta material individual.

En primera medida se realiza el pesaje de 10 kg para el material completo, puesto que, se puede realizar el procedimiento con un extrusora-inyectora y la disponibilidad de material permite esta capacidad.

Imagen 30. Material completo en pellet.



Fuente: elaboración Propia

El equipo utilizado es un extrusora-inyectora *Wittmann Battenfeld de referencia Smartpower 60*, la cual cuenta con una pantalla de manejo, desde donde se controlan todas las variables del proceso, como la temperatura de las diferentes zonas, la velocidad, la presión, el flujo de refrigerante y el tiempo de residencia.

Imagen 31. Inyectora Battenfeld referencia Smartpower 60.



Fuente: elaboración Propia

Se ingresa el material al equipo por medio de un tubo de succión que lo lleva a la tolva hasta llenar la capacidad.

Imagen 32. Succión del material completo para la inyección.

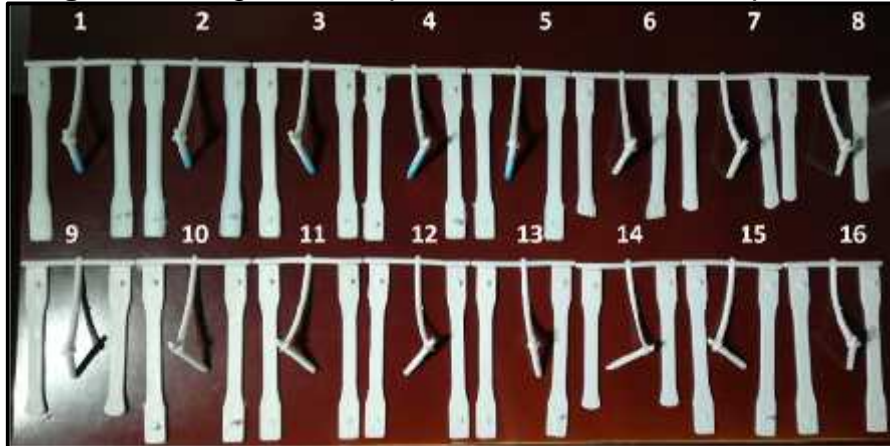


Fuente: elaboración Propia

Para la preparación de la maquina se debe realizar una purga del material que anteriormente se ingresó, en este caso polietileno. Para esto se introduce una cantidad de material que arrastra el polietileno restante que está en el interior; es por lo que los primeros borradores tendrán más contenido de polietileno que del

material de interés. Aproximadamente en el borrador número quince se logra evidenciar que todo el polietileno fue retirado y el borrador solo está compuesto por el material completo.

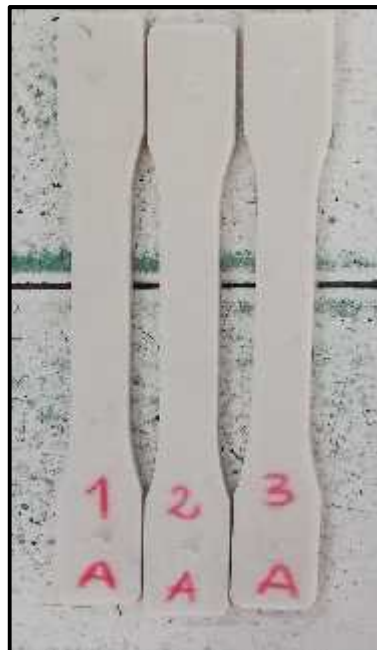
Imagen 33. Progresión de polietileno a material completo.



Fuente. elaboración propia

Luego de obtener los borradores, se seleccionan los últimos 3 para realizar las comparaciones de calidad del producto.

Imagen 34. Borradores seleccionados de materia completo inyectado para elaboración de borradores.



Fuente: elaboración propia.

) El compuesto completo puede ser extruido, pero se debe peletizar antes, debido a que la extrusora no acepta material en polvo altamente abrasivo; al realizar una peletización previa se garantiza una mezcla homogénea y menor afectación al tornillo por parte de la abrasión de la carga.

Las características y las proporciones de cada muestra se encuentran en el capítulo 3 (3.1 Criterios de selección).

Imagen 35. Componentes para extrusión para el compuesto mezcla. (elastómero, carga, ayudante de proceso).



Fuente: elaboración propia.

Imagen 36. Mezclas para extrusión del compuesto mezcla.



Fuente: elaboración propia.

Por medio de la una extrusora se realiza la peletización de cada muestra, con lo que se logra evidenciar que los 4 materiales se acoplan adecuadamente, pues el pellet salió en condiciones óptimas.

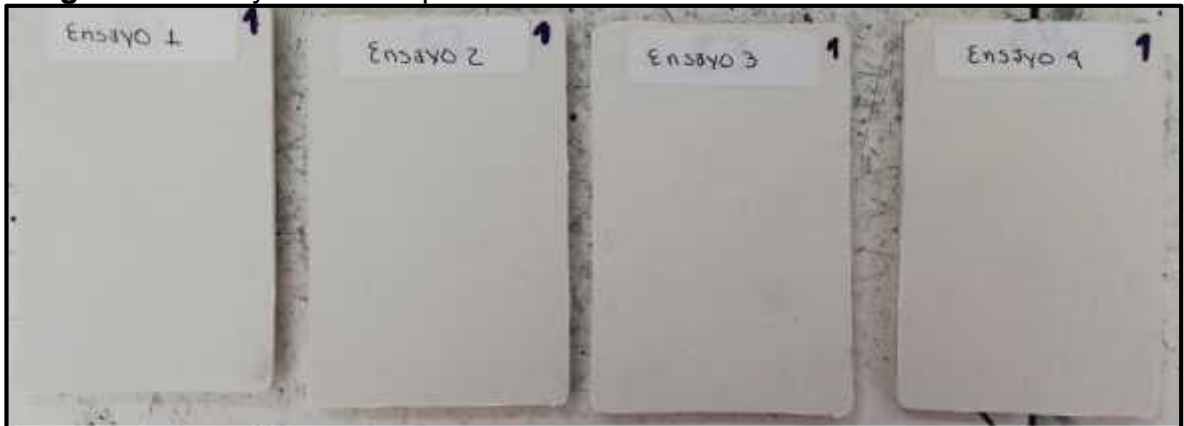
Imagen 37. Peletizado de las mezclas 1, 2 del componente mezcla.



Fuente: elaboración propia.

Luego de esta peletización se llevó el material a una inyectora-extrusora para elaborar los borradores. Aquí se obtuvieron 4 borradores a los cuales se les realizara las pruebas de calidad.

Imagen 38. Ensayos del compuesto mezcla. Dimensiones 67x12x2 mm.



Fuente: elaboración propia.

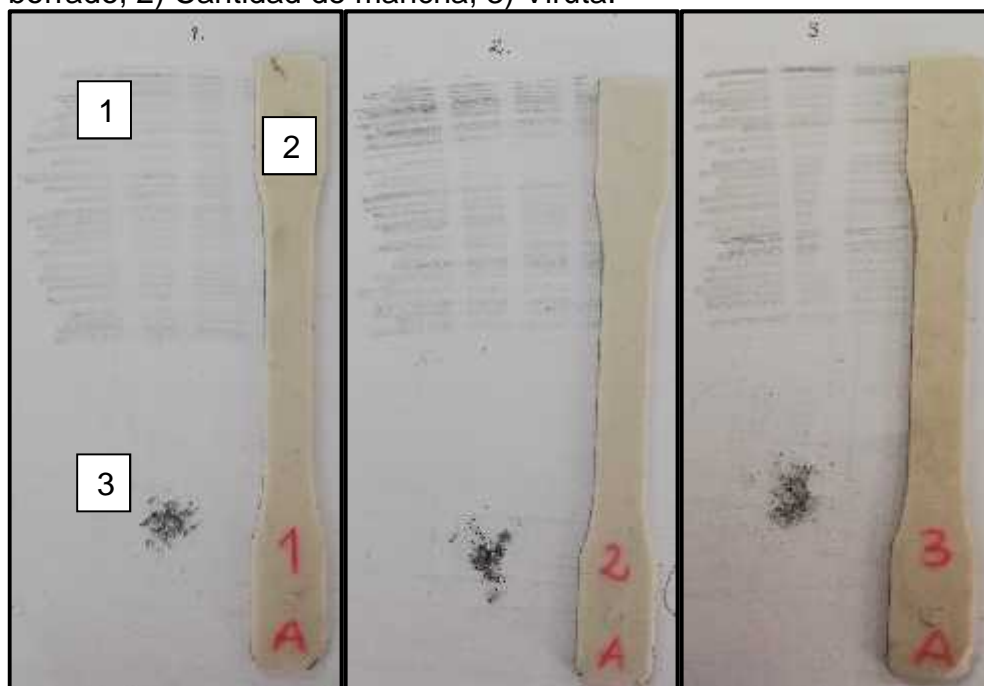
4.1.1 Pruebas de calidad. Luego de realizar la experimentación, se realiza las diferentes pruebas de calidad para corroborar la calidad del producto.

-) **Borrabilidad:** se realiza la prueba para evidencia la calidad del borrado junto con la cantidad de viruta y la manchas que deja tanto en la hoja como en el borrador. El procedimiento es el mismo que el mencionado en las pruebas de comparación física.
-) **Migración:** se realiza esta prueba para determinar si la cantidad de humectante presente en la probeta, puede salir a la superficie generando una mancha. El procedimiento que se lleva a cabo es igual al mencionada en las pruebas de comparación física.
-) **Dureza:** esta se realiza para determinar la resistencia a la penetración, rayado o desgaste. Se emplea el mismo procedimiento que el utilizado en las pruebas de comparación física.
-) **Determinación de densidad:** esta se ve determinada por la cantidad de carbonato de calcio que se ingresa al compuesto.
-) **Prueba Organoléptica:** se realiza para conocer si el material libera color, sabor u olor a caucho.
-) **Abrasión:** esta prueba no se puede realizar, dado que, la probeta estándar no presenta un espesor apropiado para lograr adecuarla al equipo.

4.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS

4.2.1 Compuesto completo. Con los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, se logra evidenciar que la calidad del borrado en el material es buena, puesto que ninguno de los 3 borradores genera mancha en el papel al momento de efectuar el borrado, eliminan todo el grafito en la parte sombreada y la marcha dejada en la línea curvada es poca.

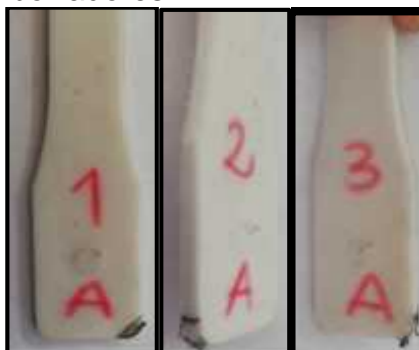
Imagen 39. Pruebas de borrabilidad a los borradores elaboradas con el material completo. Ensayo realizado a tres réplicas. 1) Calidad de borrado, 2) Cantidad de mancha, 3) Viruta.



Fuente: elaboración propia

Esta prueba se realizó de la misma forma que para las pruebas de comparación física realizadas a los borradores encontrados en el mercado y es explicada en el capítulo 2,4,1.

Imagen 40. Mancha presentada luego de la prueba de borrabilidad en los borradores.



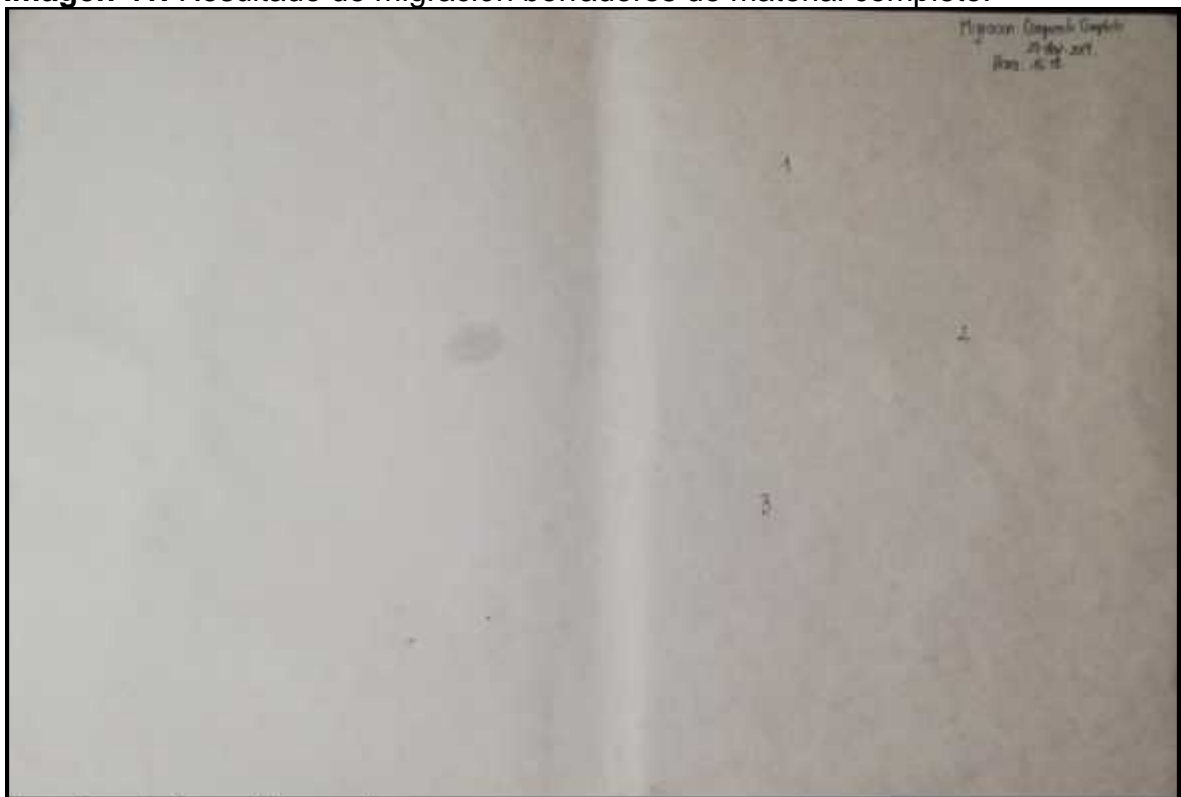
Fuente: elaboración propia

Sin embargo, deja macha en el borrador; al comparar esto con los borradores presentantes en el mercado, se evidencia que son manchas similares.

La cantidad de viruta restante en esta prueba no es abundante lo cual determina una calidad adecuada para el cliente, sin embargo, tampoco es mínima, lo cual indica una ventaja para la empresa.

En la prueba de migración no se evidencia una mancha abundante lo que indica que la cantidad de humectante que tiene el material no está emergiendo en abundancia, esto confirma lo evidenciado en la prueba de borrabilidad al no generar mancha en el borrado.

Imagen 41. Resultado de migración borradores de material completo.



Fuente: elaboración propia

En el anexo G se encuentra el resultado original de esta prueba, en donde se logra evidenciar las marcas que se obtuvieron del borrador elaborado con el compuesto completo.

En la prueba organoléptica se pudo identificar que el borrador no generó color, olor ni sabor al arroz demostrando así la calidad del material empleado, con el paso del tiempo no se presentaron alteraciones en el arroz luego de 24 horas después de la cocción.

Imagen 42. Prueba organoléptica del compuesto completo.



Fuente: elaboración propia

A continuación, se evidencian los resultados cuantitativos referentes a las pruebas.

Tabla 14. Resultados pruebas inyección con el compuesto completo.

#	Dureza De Cada Cara		Dureza (Shore A)	Peso In (g)	Peso Out (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Pérdida De Masa	P/P (%)
1	59.5	57.5	58.500	12.460	12.45	9.409	1.324	0.010	0.0803
2	55.5	56	55.750	12.490	12.48	9.348	1.336	0.010	0.0801
3	55.5	54	54.750	12.460	12.45	9.388	1.327	0.010	0.0803

Fuente: elaboración Propia

La prueba de dureza se puede ver afectada por el grosor del borrador, pues se evidencia que esta es menor a la establecida, por tanto, se debe tomar esta prueba con más de un borrador. De esta forma se puede ver qué diferencia se presenta con respecto a un grosor menor.

De acuerdo, a lo anterior se identificó que no hay un cambio representativo en la dureza, el hecho de poner más de un borrador para realizar la prueba no cambia el valor de dureza. Para los borradores 1,2,3 (imagen 40) se realizó el ensayo de dureza sobreponiendo cada borrador uno encima del otro, y se determinó la dureza tiene un valor de 56,0 shore A y para otros 3 borradores diferentes tiene una dureza de 58,0 shore A.

En cuanto a la densidad, esta es apropiada con respecto a lo evidenciado con las pruebas realizadas con los borradores en el mercado, este valor está acorde con los resultados, por tanto, se puede asegurar que tiene el porcentaje de carbonato adecuado.

La pérdida en peso es similar entre los borradores, y esta no presenta un alto valor, esto se corrobora con la cantidad observada de viruta generada. Este valor es parecido al porcentaje de pérdida que presentan los borradores en el mercado.

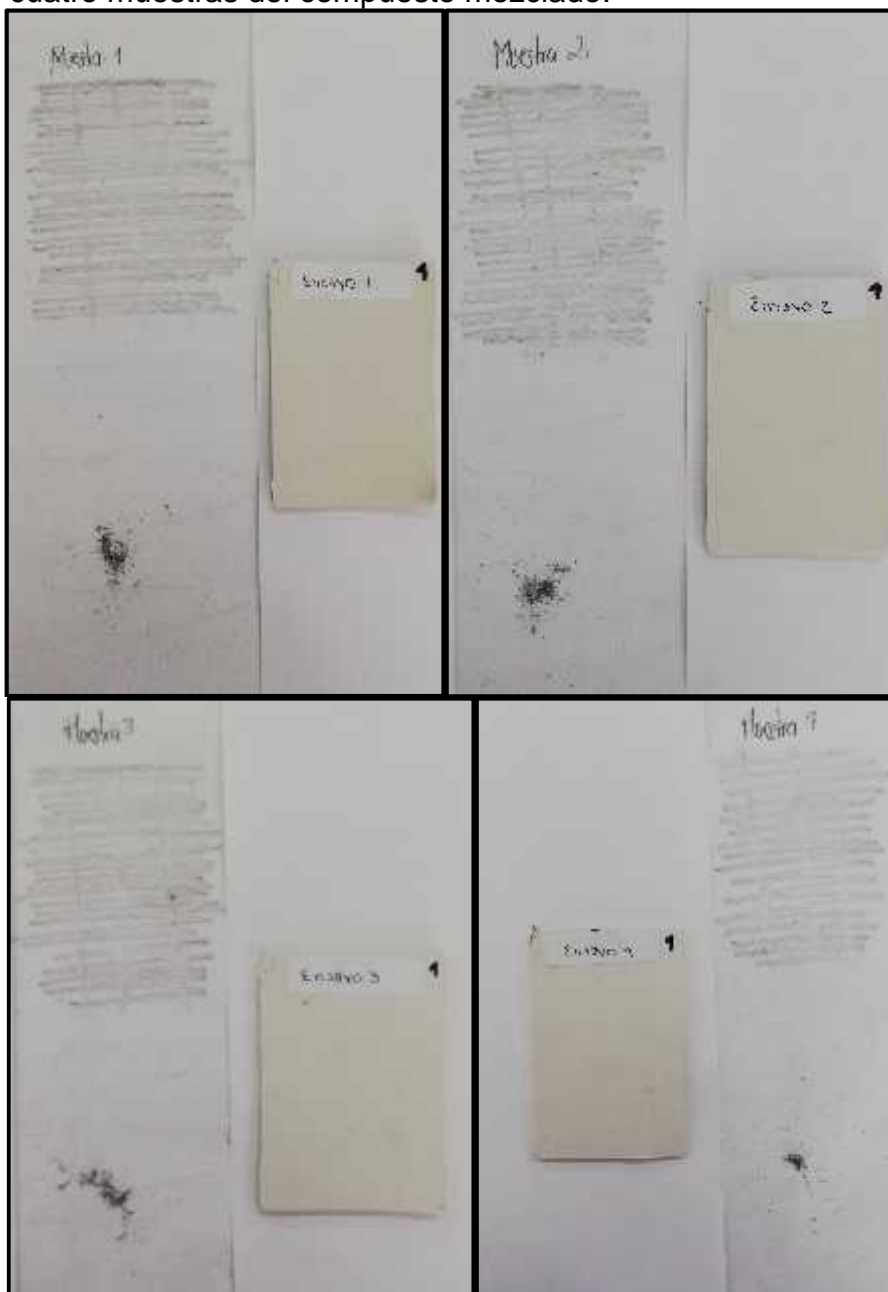
4.2.2 Compuesto mezcla. Al realizar el peletizado, se demostró la compatibilidad de los materiales, puesto que se logró obtener el material mezclado y en pellets. Esto se dio gracias al ayudante de proceso empleado, que permitió la comparación del carbonato junto con el elastómero. Al no llevarse a cabo esto se observaría que el carbonato precipita en al extrusora y el material obtenido puede que no tenga la proporción de este.

En principio se busca conocer la calidad del borrado para esto se realiza la prueba de borraridad de la misma forma como se realiza para los borradores encontrados en el mercado.

Luego de realizar los borradores y obtener las 4 muestras de cada mezcla se evidencia que su consistencia es muy rígida, lo cual no permite que el borrado sea optimo, por tanto, la calidad del borrado es malo y deja mancha en el papel.

A continuación, se muestran las marcas que se obtuvieron de la prueba de borraridad donde se evidencia que el borrado no es buena calidad. Esta prueba de realizo para cada una de las muestras obtenidas en los ensayos del material mezcla.

Imagen 43. Resultados de la prueba de borrabilidad de las cuatro muestras del compuesto mezclado.



Fuente. Elaboración propia.

El borrado no es de buena calidad, dado que el borrador tiene una contextura muy rígida, esto hace que no se logre arrastrar el grafito con facilidad, por tanto, se debe hacer mucha presión para lograr eliminarlo, sin embargo, la marca de grafito no se elimina en su totalidad y por el contrario genera mancha. A causa de esto no queda ninguna mancha o marca en la superficie del borrador.

Con respecto a la cantidad de viruta es mínima, a razón de la rigidez del borrador, este no va a tener una pérdida de peso representativo.

En el anexo I, se encuentran los resultados originales de la prueba de borrabilidad del compuesto mezcla.

A continuación, se evidencian los resultados cuantitativos referentes a las pruebas.

Tabla 15. Resultados pruebas inyección con el compuesto mezclado.

Tipo	Dureza (Shore A)	Densidad (g/cm³)	P/P (%)
1	95.5	1.37300	0.16026
2	94.5	1.40244	1.25392
3	95.5	1.38420	0.07949
4	94.5	1.38593	0.07968

Fuente: elaboración propia

La prueba de dureza arrojó resultados donde se evidencia que las diferentes mezclas presentan una dureza superior a lo esperado para el material, siendo mucho mayor al rango establecido (63,736 +/-3 Shore A). Esta característica se puede llegar a arreglar al disminuir la cantidad de carga agregada y aumentarle la de elastómero, igualmente si se toma una mezcla de elastómero la dureza del borrador disminuirá.

Por lo tanto, se consideran diferentes factores que pudieron llegar a afectar este resultado como la fecha de caducidad de la resina base, la proporción de elastómero presente en cada una de ellas o la necesidad de añadir otro elastómero que contrarreste el efecto que puede llegar a presentar la resina que se empleó.

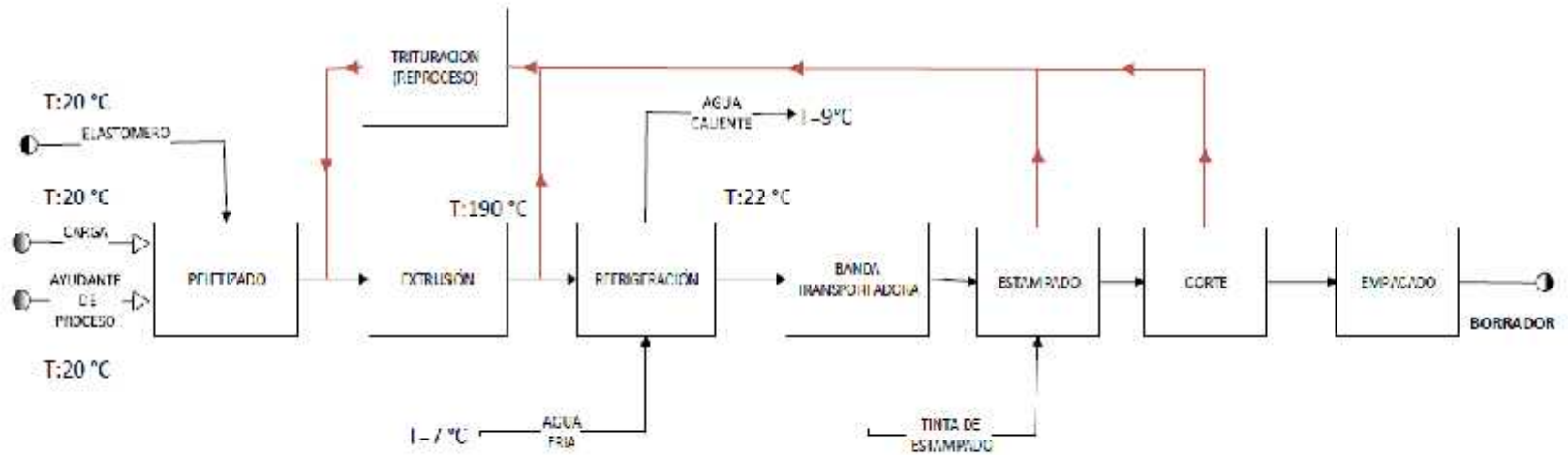
Referente a la densidad, esta es muy similar a los borradores presentes en el mercado lo cual evidencia que la carga se encuentra en proporciones adecuadas y cumple con lo establecido en las patentes.

La pérdida en peso es similar con respecto a los borradores presentes en el mercado y con el compuesto completo, evidenciando que la pérdida es poca lo cual se corrobora con la cantidad de viruta generada.

Los resultados completos se encuentran en el anexo J. Finalmente esta propuesta se podría arreglar con la adición de otro elastómero o la disminución de carga.

4.3 ESQUEMA DEL PROCESO

Diagrama 6. Esquema del proceso de producción de borradores.



Fuente: elaboración propia

Nota: en el caso de que no se lleguen a alcanzar las especificaciones en la unidad de extrusión se realiza un reproceso (línea roja) unidad de trituración.

4.3.1 Peletizado. Se emplea un sistema de extrusión que peletiza, en donde se alimenta el elastómero termoplástico, la carga y el ayudante de proceso, a temperatura ambiente; la materia prima se alimenta en proporción a lo que se va a obtener.

El proceso se ejecuta a temperaturas de acuerdo al perfil suministrado por el proveedor, en donde lo que se obtiene son hilos de material, los cuales pasan por un sistema de refrigeración para compactar y reducir su temperatura; por último, son seccionados mediante un sistema de corte para ser almacenados y poder ser suministrados a la tolva de alimentación de la extrusora.

4.3.2 Extrusión. Se emplea una extrusora que cuenta con un sistema de doble husillo, los cuales están hechos de acero inoxidable, junto con alabes del mismo material alrededor del mismo, generando un perfil de velocidad constante durante todo el proceso, este permite un flujo continuo de material.

Por otro lado, el equipo cuenta con cuatro zonas de calentamiento, las cuales poseen juegos de resistencias incorporadas, donde permiten generar un perfil de temperatura entre los rangos de 170°C a 200°C, estas temperaturas están definidas de acuerdo al material empleado, el cual está definido por la dureza de este, además, cuenta con un sistema de alimentación, el cual es una tolva que tiene un tornillo Cramer para una alimentación continua. Al entrar al cilindro empieza a aumentar su temperatura en donde el material se compacta a tal punto de generar una pasta homogénea al atravesar las diferentes zonas; el material llega finalmente al dado, el cual presenta las dimensiones de 1.069 cm de alto por 2.227 cm de ancho.

El proceso de extrusión es directo, pues en este sentido no se genera un gran esfuerzo tanto del tornillo como del equipo, reduciendo así el costo energético del mismo.

4.3.3 Trituración. Se emplea una trituradora de cuchillas, esta cuenta con una capacidad de una tonelada, en donde se alimenta paulatinamente el material.

El proceso tiene un lapso de doce horas para efectuar el triturado total del material. El material por triturar es aquel que no cumple con los requerimientos necesarios para su distribución, al presentar alguna alteración en dimensiones o perturbaciones en los costados, manchas de tinta al estampado o que el corte no cumple con las especificaciones de la referencia.

4.3.4 Refrigeración. Se lleva a cabo en un canal de refrigeración, los cuales son hechos de acero inoxidable, empleando como refrigerante agua, la cual es suministrada al sistema a partir de aspersores en la parte superior a lo largo del

canal. Este tiene una temperatura de entrada de 7°C y de salida de 9°C, permitiendo así la reducción de temperatura al producto, ya que sale del proceso de extrusión a una temperatura alrededor de 140°C y llega a una temperatura de 22°C; el flujo de agua suministrada a los canales es contante, y es recirculada durante todo el tiempo de operación

Se emplea un sistema de reciclo que conecta con un intercambiador de calor, donde se reduce la temperatura de esta para volver a ser suministrada al sistema de producción de borradores, además de eso cuenta con serpentines en la parte inferior del canal permitiendo realizar el intercambio térmico.

4.3.5 Banda Transportadora. Se emplea una banda transportadora de rodillos con una banda de caucho, que cuenta con un metro de longitud, esta hala el material, manteniendo una velocidad contante con respecto a la salida de la extrusora, pues el material puede presentar acumulación en la boquilla, generando perdidas, por otro lado, si se aumenta la velocidad el perfil puede llegar a cambiar sus dimensiones al ser un componente elástico se reduciría su espesor y no cumpliría con las especificaciones de la empresa.

4.3.6 Estampado. Se emplea un sistema de tampografía, el cual cuenta con almohadillas que son cargadas de tinta, mediante rodillos, para efectuar un estampado 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. El proceso se realiza a temperatura ambiente con tinta permanente de secado rápido.

4.3.7 Corte. Se realiza mediante una guillotina mecánica la cual cuenta con un sensor de luz, el cual registra la posición del estampado previamente realizado, para cortar y seccionar el borrador a la longitud de la referencia producida.

4.3.8 Empacado. Se lleva a cabo manualmente en donde se empelan dos operarios los cuales de acuerdo a la presentación que se va a comercializar realizan en el empaado, como es el caso de presentación por cajas.

4.4 EXTRUSIÓN EN LA MANUFACTURA DE BORRADORES

En la manufactura de borradores se debe utilizar extrusión como método de procesamiento, dado que, el material que se va a utilizar es un elastómero termoplástico y resulta en un producto semiacabado que necesita de otro proceso para ser terminado

El proceso de extrusión consiste en calentar el termoplástico en el cilindro, hasta la temperatura adecuada para su procesamiento, y forzarlo a pasar por un molde, que en este caso se llama dado, el cual le dará la forma final al producto.

Esta extrusión es un proceso continuo que formará el producto de dos dimensiones, la tercera dimensión la dará el volumen de lo extruido. Estas especificaciones del proceso funcionan para la elaboración de borrador y la longitud de lo extruido es determinado por la demanda del producto.

Las variables de control se requieren en las fases del proceso para asegurar el procesamiento adecuado del material, estas se determinan para las partes críticas de extrusora.

4.4.1 Tipo de extrusión. Para el procesamiento de un material plástico flexible se recomienda las siguientes condiciones de extrusión:

-) Extrusión en caliente: se utiliza esta, dado que se necesita la fundición del material, donde no se presente endurecimiento en condiciones de temperaturas y velocidad elevados. Igualmente, esta extrusión se utiliza para elaborar piezas simétricas⁹²
-) Extrusión directa: el material funde en la misma dirección que el pistón, por tanto, la presión será en función de la longitud del perfil.⁹³
-) Extrusión continua: se recomienda realizar una extrusión continua para cada lote de producto que se requiera, pues de esta forma se reducirán las pérdidas, por incrustación en el tornillo y el cilindro de extrusión, igualmente no se perderá material al detener el proceso.
-) Extrusión de doble husillo: se da una mejor mezcla cuando lleva carga en su composición, más torque y mayor efecto de cizalla. Aumenta la fuerza de cizalla contra las paredes del cilindro y en los husillos.

⁹²Modelado de procesos de manufactura. Extrusión [en línea].

⁹³Ibid.

Se recomienda usar este tipo de tornillo por que la mezcla y homogenización del producto es un variable critica en el proceso, pues los aditivos deben estar bien incorporados.

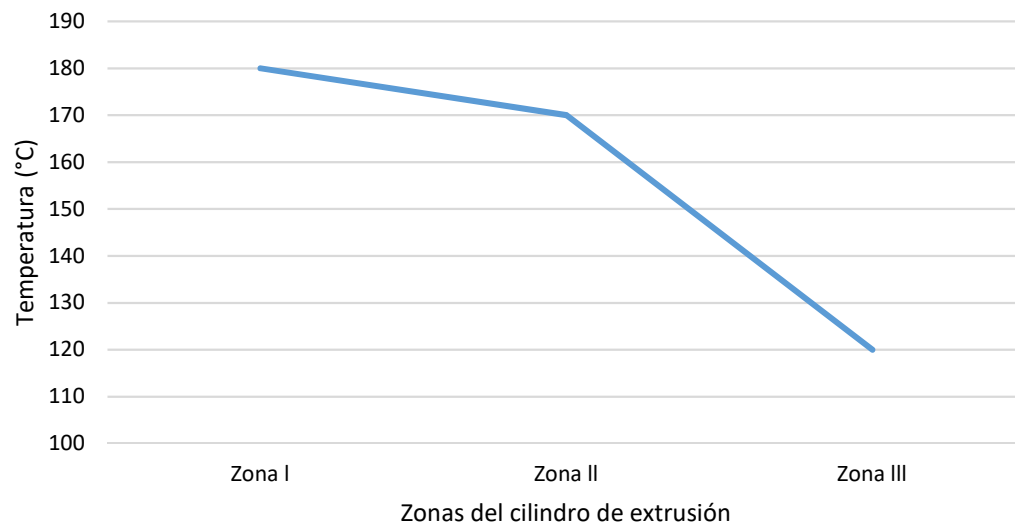
4.4.2 Condiciones del dado.

-) Material: generalmente esta parte de la extrusión está elaborada en acero inoxidable, con recubrimiento para evitar el deterioro a corto y mediano plazo.
-) Forma: está directamente relacionada con el tamaño del borrador que se desea obtener, por tanto, este debe ser semi rectangular asegurando que las medidas de las dos dimensiones sean apropiadas a los establecido por la calidad de la empresa, es decir, un ancho de 2.227 cm y un alto de 1.069 cm, junto con un rechupe que permite al salir el material no pierda sus dimensiones.

4.4.3 Temperatura. La temperatura es una variable de control con la extrusión pues esta, está directamente ligada al límite de fundición de los materiales que se ingresan.

Para el material completo se recomienda el siguiente perfil de temperaturas, pero cabe aclarar, que este puede cambiar dadas las condiciones de la maquinaria y el tipo de dado que se utilice.

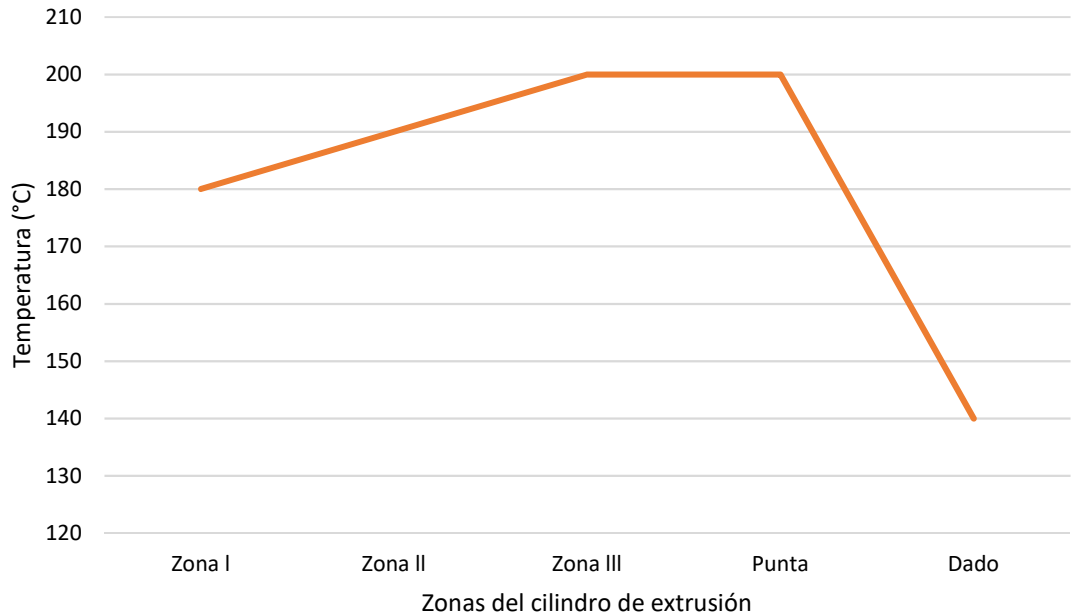
Gráfica 5. Perfil de temperatura para la extrusión del material completo.



Fuente: elaboración propia

En el caso de la mezcla de los 3 materiales, se toma como temperatura critica para el perfil de temperaturas, la del elastómero.

Gráfica 6. Perfil de temperatura para la extrusión de los materiales mezclados.



Fuente: elaboración propia.

4.4.4 Velocidad. En los termoplásticos no debe sobrepasar la velocidad donde se funde o la de fractura, esto sucede cuando la velocidad del fluido excede la velocidad crítica.

En el caso de los borradores, se debe realizar pruebas de ensayo y error para el material o la mezcla que se quiere utilizar, para poder determinar una velocidad apropiada con la mezcla en específico, sin embargo, para los materiales empleados se recomienda una velocidad de 15 rpm a 25 rpm y su presión de extrusión debe ser menor a 35 MPa.⁹⁴

El proceso más eficiente con respecto a gasto energético y facilidad de manipulación es la extrusión, en esta las variables más relevantes son la temperatura, la velocidad y las condiciones del dado. En cuanto a extrusión debe ser directa, continua, en caliente, con doble husillo y el material debe estar en pellets.

⁹⁴COMPOSICION DE BORRARDOR NO PVC

5. COSTOS DE LA ELABORACIÓN DE BORRADORES LIBRE DE PVC

Partiendo de los costos asociados a la producción de borradores libres de PVC, se evidencia la materia prima necesaria, la mano de obra directa e indirecta, los equipos empleados y los servicios que se utilizan.

Esta relación de costos se realiza solo para el compuesto completo puesto que por calidad es el seleccionado como la mejor opción. Con el compuesto mezcla solo cambiaría el costo de materia prima.

Se tomo como base los borradores presenten en el mercado y el costo que tiene cada uno de ellos.

5.1 COSTOS FIJOS

En estos se contempla los servicios intrínsecos como la electricidad que se utiliza en el motor de la extrusora, en la banda transportadora, en la bomba de suministro de agua, en la estampadora y en el sistema de cortado.

También se tiene en cuenta lo costos administrativos, es estos entra los gastos de papelería, los servicios de internet y teléfono, los sueldos de mano de obra indirecta, es decir, los salarios de las personas que manejan todo sobre comercialización, procesos legales y de control.

Se tiene en cuenta los costos de distribución, depreciación de los equipos y reparación o mantenimiento.

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

5.2 COSTOS VARIABLES

Se consideran los gastos de mano de obra directa, los cuales van relacionados con el número de operarios y salario mínimo. En este se tiene en cuenta el valor del salario mínimo vigente con sus diferentes prestaciones, es decir, seguridad social, pensión, salud, caja de compensación, entre otros. También se tiene en cuenta el auxilio de transporte, prima de servicios censarias y sus intereses.

Para el proceso de fabricación de borradores se hace necesario 4 operarios para operar la maquinaria y la materia prima, para el empaque de las diferentes presentaciones y para llevar cada uno a cajas de distribución.

Tabla 16. Cálculo del salario mínimo.

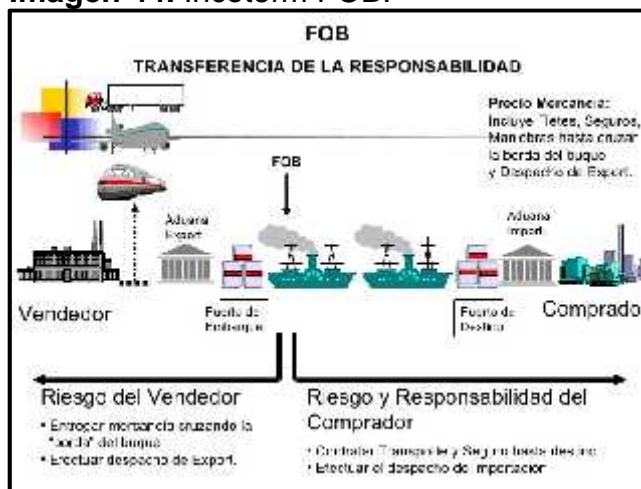
Salario	
Ítem	Valor
Salario mínimo vigente	\$ 826.116
Auxilio de transporte	\$ 97.032
Seguridad social (Salud)	\$ 103.515
Seguridad social (pensión)	\$ 132.499
Seguridad social (riesgos profesionales)	\$ 36.023
Seguridad social (caja de compensación)	\$ 33.125
Cesantías	\$ 77.096
Intereses de cesantías	\$ 9.251
Primas de servicios	\$ 77.096
TOTAL	\$ 1.391.753

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la materia prima, se debe conocer si esta es importada y si es así analizar qué tipo de indicativo INCOTERM.

En el caso del compuesto completo esta es proveniente de otro país y su referente incoterm es FOB, lo cual significa que el vendedor costea el transporte desde la empresa hasta el puerto del país de origen, por ende, en comprador debe hacerse responsable del costo de transporte desde dicho puerto hasta la puesta de la empresa.

Imagen 44. Incoterm FOB.



Fuente. Comercio y aduana. ¿Qué es Incoterm FOB? [en línea] Disponible en <https://www.comercioyaduanas.com.mx/incoterms/incoterm/que-es-incoterm-fob/>

Este material tiene un costo de 1,68 USD/Kg FOB, por tanto, este valor debe precio en peso colombiano, para lo cual, se toma como valor de cambio por cada dólar \$3,178 pesos colombianos (esta tasa de cambio es el promedio del costo del dólar para el mes de junio).

Tabla 17. Materia prima directa (compuesto completo).

Materia prima directa		
Ítem	Valor USD/kg	
Elastómero COMPLETO	\$	5.340 FOB
Transporte puerto a puerta	20% ^{95*}	

Fuente: elaboración propia.

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

Tabla 18. Costo de la propuesta por borrador.

Costos	Mín	Máx
Fijos	143,7	205,3
Variables	15,6	16,0
Total	159,3	221,3

Fuente: elaboración propia.

Los valores concretos para cada uno de los costos intrínsecos de la elaboración de borradores libres de PVC fueron calculados por el personal de la empresa, por lo tanto, estos costos son confidenciales de la empresa, es por esto que no se evidencia detalladamente cada uno de los valores utilizados en la fabricación del producto, por el contrario, solo se presenta el valor global que costara cada borrador.

5.3 COMPARACIÓN DE COSTOS

Al realizar una comparación de costos con el proceso actual elaborada a base de PVC, podemos notar que el borrado a base de elastómero sale más costoso debido a la diferencia de precios entre el PVC y el elastómero.

Por tanto, podemos afirmar que el precio al cual saldrá al mercado será más costoso que al que actualmente se vende.

⁹⁵ **NOTA:** este porcentaje para el precio FOB fue dado por la empresa Pelikan Colombia S.A.S.

5.3.1 Borradores en el mercado. Al realizar una comparación de costos con los borradores encontrados en el mercado, podemos encontrar que este es más costoso con relación a los elaborados con PVC.

A continuación, se presenta una tabla con diferentes presentaciones de los borradores encontrados en el mercado, en esta se evidencia unas presentaciones económicas de 20 y 10 unidades, donde el precio del borrador por unidad es menor, también se encuentra una presentación de 2 unidades, en esta el precio del borrador aumenta. Con esta tabla se busca conocer un precio aproximado de los borradores encontrados en el mercado y así logra comparar si el valor al cual se proyectaría vender el borrar elaborado libre de PVC es competitivo en el mercado.

Tabla 19. Productos en el mercado.

Tipo	Presentación (Und)	Precio publico	Precio por unidad	Distribuidor
BMO	2	\$ 2.650	\$ 1.325	Panamericana
BFC	2	\$ 2.350	\$ 1.175	Panamericana
	20	\$ 9.000	\$ 450	Papelería Antioquia
BFC 2	2	\$ 2.150	\$ 1.075	Panamericana
	10	\$ 6.100	\$ 610	Panamericana
	1	\$ 550	\$ 550	Distribuidor empresa
BMP - prisma	2	\$ 6.500	\$ 3.250	Panamericana
BBR	20	\$ 4.100	\$ 205	Papelería Antioquia
BBN	1	\$ 800	\$ 800	Papelería Antioquia

Fuente: elaboración propia.

Finalmente se determina que el proceso de producción de borradores libre de PVC a base de elastómero termoplástico es más costoso que la producción actual de borradores a base de PVC; esto se da por el costo de materia prima, pues los elastómeros tienen un mayor valor que el PVC. Por otro lado, se debe tener en cuenta el beneficio que aporta utilizar materiales más amigables con el medio ambiente.

Igualmente se evidencia que el precio al cual se vendería el borrador está en relación con los precios actuales en el mercado.

6. CONCLUSIONES

- J Luego de la revisión bibliográfica para determinar los diferentes materiales, se determinó que se deben emplear 6 materiales para la elaboración del borrador libre de PVC, una resina base, que por características y propiedades lo más apropiado es usar un elastómero termoplástico similar al caucho natural, una carga, en este caso, el carbonato de calcio, por su amplia aplicación en plásticos, además de reducir los costos del producto. Se utiliza un lubricante para evitar que se adhiera al tornillo, un humectante el cual se emplea para compactar el material, un estabilizante térmico que evita la degradación térmica y por último un pigmento que le dará color.
- J Se realizó un desarrollo experimental, donde se obtuvieron 2 propuestas diferentes, una con un material completo y otra con una mezcla de 4 componentes. Con los resultados obtenidos se concluyó que el compuesto completo es el de mejor calidad de borrado, puesto que el compuesto mezclado presenta una alta rigidez lo cual interfiere en la calidad de borrado, generando una mancha y no arrastra el grafito con facilidad.
- J Para la elaboración de borradores libres de PVC (formulación propuesta) es necesario realizar un proceso extrusión, dado las condiciones del material que se usan. Esta debe ser en caliente, directa, continua, con doble husillo y el material debe estar peletizado. Debido a estas especificaciones la maquinaria de la empresa debe ser sustituida pero el proceso seguirá siendo extrusión.
- J La formulación contemplada es más costosa debido a los materiales puesto que por disponibilidad en el mercado el PVC es más económico que un elastómero.
- J Se obtuvieron dos formulaciones para la elaboración de borradores, una de ellas contemplaba un material que cuenta con las características suficientes para poder procesarlo, sin la necesidad de aditivos o complementos y una segunda que cuenta con cuatro materiales diferentes, debido a que proveedores generan mezclas de componentes en donde se obtiene un solo material que cumple con las condiciones necesarias para emplearlo en la manufactura.

7. RECOMENDACIONES

- J Se recomienda realizar ensayos en una extrusora de nivel laboratorio para así mejorar la calidad del producto a nivel industrial.
- J Al realizar la experimentación con el compuesto completo se evidencio una compatibilidad con el polietileno, por eso, se recomienda probar estos dos materiales como posible materia prima.
- J En la experimentación con inyección se recomienda, iniciar con una temperatura menor a la suministrada por la ficha técnica de los materiales e ir incrementándola poco a poco y evaluar los cambios de propiedades y rendimiento en el producto.
- J Con los materiales utilizados se reduce el daño ecológico y el efecto de liberación de las dioxinas. Se recomienda realizar un borrador biodegradable, puesto que la disposición de final del borrador es en viruta o es un trozo de producto que se extravía y no es conocido donde se hace su disposición final.

BIBLIOGRAFIA

BATISTA, Luis., REALES, Jenyffer. Diagnóstico cuantitativo del impacto ambiental del negro de humo de una empresa del sector industrial de Cartagena mediante la aplicación de las ISO 14040 y 14044. Trabajo de grado ingeniería química. Cartagena de Indias.: Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena. Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño, 2014. 69 p.

BARNA.ART. Gomas de borrar. [en línea] (Consultado 6 Abril 2019) Disponible en <https://www.barna-art.com/gomas-de-borrar>

BELTRÁN, Cristóbal. Ingeniería Básica De Una Planta De Producción De Policloruro De Vinilo (PVC) Granular. Ingeniería química. Sevilla. Universidad de Sevilla. 2016. p. 49.

BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tema 2. Tipos de plásticos, aditivación y mezclado. Universidad de Alicante. 2011.

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

BRYDSON, J.A; Thermoplastic elastomer-Properties and Applications (1995). p.3.Editorial 11.

CALCINOR. Carbonato de calcio precipitado PCC. [en línea] (Consultado 1 de diciembre 2019) Disponible en <https://www.calcinor.com/es/productos/carbonato-de-calcio-precipitado-pcc/>

CALLISTER, William. Introducción a la ingeniería de materiales volumen 2. Primera Edición, 1996.

CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMOESTABLES. [Anónimo] [en línea], p.18-22 (Consultado 20 de enero de 2019) Disponible en <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6686/06Txrj6de14.pdf?sequence=6>

CELANASE. Elastómeros termoplásticos [en línea] (Consultado 15 de mayo de 2019) Disponible en http://www.softergroup.com/es/elasticos_termoplásticos

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

CHEMICAL AND ENGINEERING NEWS. Eraser [en línea] (consultado:1 abril 2019). Disponible en <http://pubs.acs.org/cen/whatstuff/stuff/8050erasers.html>

CHEMICAL SAFETY FACTS. Dióxido de Titanio [en línea] (20 de abril de 2018) Disponible en <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/dioxido-de-titanio/>

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. LIBRO VERDE. Cuestiones relacionadas con el PVC. Bruselas (-). p.14-15.

COMPOSICIÓN DEL BORRADOR NO DE PVC. WIPO WO2011122719 (24/11/2018)

CRUZ, Anastasia., MORENO, Giovanni., LARA, Mauricio.; Toxicología de las dioxinas y su impacto en la salud humana. Revista de Medicina Veterinaria N°19/ Enero-junio. Bogotá D.C., Colombia: Universidad de La Salle, 2010. p. 73-84.

DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. REGLAMENTO (UE) No 835/2012 DE LA COMISIÓN EUROPEA [en línea] (15 mayo de 2019) Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:252:0001:0003:ES:PDF>

DIOXINAS [Anónimo] [En línea] (5 de mayo de 2019) Disponible en <http://www.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/vol324.htm>

ECONOMATO DE ARTE. Gomas de borrar. [en línea] (Consultado 6 abril 2019) Disponible en https://economatodearte.com/gomas-borrar/#Goma_de_miga_de_pan

EQUIPOS Y SISTEMAS DE MANEJO DE MATERIALES A GRANEL. Negro de Humo [en línea] (20 de abril de 2018) Disponible en <http://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Negro-de-Humo.html>

EPA. Science Advisory Board's review of the Draft Dioxin Exposure and Health Effects Reassessment Documents [en línea] (Consultado 7 de octubre de 2018) Disponible en [https://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/0D86745602ADB6C68525719B006B0260/\\$File/ec95021.pdf](https://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/0D86745602ADB6C68525719B006B0260/$File/ec95021.pdf)

ERASMO, Daniel., ¿Que son los aditivos auxiliares para procesamiento de polímeros? 2004.[en línea] (Consultado 1 diciembre 2018). Disponible en <http://www.plastico.com/temas/Que-son-los-aditivos-auxiliares-para-procesamiento-de-polimeros+3031683>

FABRICACIÓN. Técnicas de moldeo de los plásticos. [en línea] (Consultado 3 de abril 2019) Disponible en <http://aliso.pntic.mec.es/cm1a0029/PLASTICOS/fabricacion.html>

TERMOFISHER SCIENTIFICS. FTIR Applications [en línea], 2013. <https://www.thermofisher.com/co/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-applications.html>

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. 130 p.

GENERAL INDUSTRIAL POLYMERS. SIS (styrene-isoprene-rubber) [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en <http://generalpolymers.net/sis.cfm>

GREENPEACE. Ftalatos (Esteres de ftalatos).2003 [en línea] (Consultado 3 de Abril 2019). p.1-4. Disponible en <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/ftalatos-esteres-de-ftalato.pdf>

HERNANDEZ, Juan.; SALINAS, Eleazar.; BLANCO, Alberto.; CERECEDO, Eduardo. Carbonato de calcio en México, características geológicas, mineralógicas y aplicaciones [en línea] (Consultado 1 de abril de 2019) Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6264/>

HERRERA, Francisco., Ciencia de los polimeros. Aditivos en polimeros [en línea] (Consultado 6 abril 2019) Disponible en http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polimeros/TEMA02_Aditivos%20en%20los%20polimeros.pdf

HOW IT'S MADE. How It's made eraser [en línea] (Consultado 2 Abril 2019) Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=7i35S0jV5no>

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] (5 septiembre de 2018) Disponible en <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/%3Fvgnnextoid%3Dc022e54bcbe99110VgnVCM1000000705350aRCRD%26vgnnextchannel%3Dbf78908b51593110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>

JUAREZ, David.; BALART, Rafael.; Ferrándiz, Santiago.; GARCIA, David. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia. Agosto, 2012, p. 1-22

JUAREZ, David.; BALART, Rafael.; Ferrándiz, Santiago.; GARCIA, David. Análisis del estado del arte de plástico flexible y mejora del conform térmico en los sectores de ortopedia del pie y puericultura ligera En: Revista de investigación 3 Ciencias de la Universidad Politécnica de Valencia. Agosto, 2012, p. 31

KALLE, Hanhi., MINNA, Poikelispää., Hanna-Mari Tirilä., Elastomeric materials. 2007. p.56

KRATON. KRATON G (SEBS, SEP, SEPS) [en línea] (Consultado 3 de mayo de 2019) Disponible en http://www.boundarybayenterprises.com/files/Kraton_G.pdf

KUTZ, Myer. Applied Plastics Engineering Handbook. 2017. p. 533-553.

LA GOMA DE BORRAR. [en línea] (consultado 3 abril 2019) Disponible en https://www.dibujosparapintar.com/curso_de_dibujo2j.html

LUBLEARN. Espectroscopia infrarroja para transformadas de Fourier. [Noria Latín América] [en línea] (15 de mayo de 2019) <http://noria.mx/lublearn/espectrometria-infrarroja-por-transformadas-de-fourier/>

MACROGALLERIA. SBS Rubber [en línea] (Consultado 15 de octubre de 2018) Disponible en <https://pslc.ws/spanish/sbs.htm>

MASSÓ, Marc. Disseny d'un sistema de detecció de vehicles lents. Propietats de la resina ABS [en línea] (Consultado 8 de enero 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 3 diciembre 2019) Disponible en https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_8.html

MEXPOLIMEROS. SEBS [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en <https://www.mexpolimeros.com/sebs.html>

MEXPOLIMEROS. Poliolefinas [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en <https://www.chemieuro.com/es/polymer-catalogue/polyolefines/>

MEXPOLIMEROS. TPO [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en <https://www.mexpolimeros.com/tpo.html>

MEXPOLIMEROS. TPE Vulcanizado [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en www.mexpolimeros.com/tpe%20vulcanizado.html

MINISTERIO DE JUSTICIA DE COLOMBIA. Control para el manejo de sustancias y productos químicos. [en línea] (Consultado 15 octubre de 2018) 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)

MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA. Extrusión [en línea] (20 de mayo de 2019) Disponible en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2548/9/09-MPM-Cap6-Final.pdf>

MURPHY. John., Additives for Plastics Handbook. Second edition. 2001.

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

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. [en línea] (4 octubre 2018) Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>

PALET, Antoni. Identificación química de pigmentos artísticos. p.11-12.

PATRICK. Stuart.; PVC Compounds and processing. ISBN 1-85957-472-6. p.3

PLASTIC ENGINEERING COMPANY. Moldeo por compresión. Estados Unidos. 2009. [en línea] (Consultado 6 abril 2019) Disponible en [https://www.plenco.com/plenco_processing_guide_spanish/Sect%2012%20Compression%20Molding%20\(Spanish\).pdf](https://www.plenco.com/plenco_processing_guide_spanish/Sect%2012%20Compression%20Molding%20(Spanish).pdf)

PIQUÉ, Teresa. VÁZQUEZ, Analía. Uso de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. En: Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo. Enero-junio, 2012. Vol. 3, no. 2, p. 62-71

POLYMER PROPERTIES DATABASE. Styrene-isoprene-styrene Rubber [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en <http://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/SIS.html>

POLYMER PROPERTIES DATABASE. Styrene-ethylene-propylene-styrene thermoplastic elastomer (SEPS) [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en <http://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/SEPS.html>

POLYMER PROPERTIES DATABASE. Ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) [en línea] (Consultado 8 de enero de 2019) Disponible en <http://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/EVA.html>

POLVOLENO. Policloruro de vinilo (PVC). [en línea] (consultado 1 diciembre 2019) Disponible en <http://polvoleno.com/descargas/productos/polpvcp.pdf>

REFIL. Talco [en línea] (Consultado 1 de abril de 2019) Disponible en <https://www.refil.com.ar/productos-talco.php>

REINECHE. Helmut., PVC ¿Cuáles son sus efectos en el ambiente y la salud humana? (Julio 2003) [en línea] (consultado 1 diciembre 2018) Disponible en <http://www.plastico.com/temas/PVC,-Cuales-son-sus-efectos-en-el-ambiente-y-la-salud-humana+3027117?pagina=3>

SANTOS, Eduardo. Lubricación Industrial. Tesis de maestría. San Nicolas de los Garza Nuevo León.: Universidad Autónoma de Nuevo León, 1992, 102 p.

SKOOG, Douglas. Principios de Análisis Instrumental. Quinta Edición, 2001.

STAEDTLER. Eraser production. [en línea] (consultado 2 de abril 2019) Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=FocX6Fews6k>

SWEDISH CHEMICAL AGENCY. Chemical Substances in Elastomer Materials [en línea] (15 de abril de 2019) Disponible en <https://www.kemi.se/global/pm/2018/pm-4-18-chemical-substances-in-elastomer-materials.pdf>

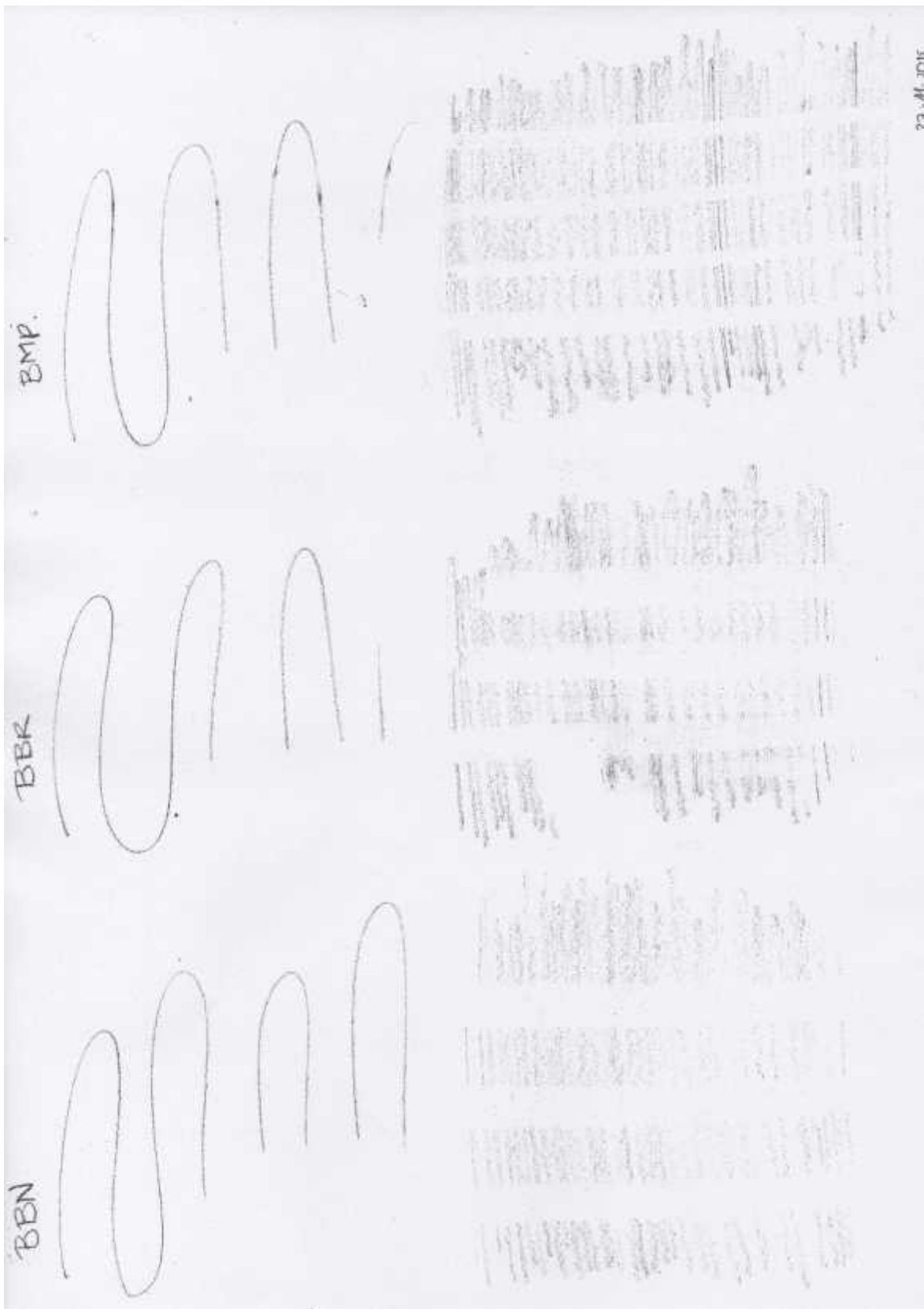
TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES [en línea] (15 de enero de 2019) Disponible en <http://reluvs.com.mx/tips/sistema%20de%20lubricacion/tipos%20y%20clasificacion%20de%20aceite.pdf>

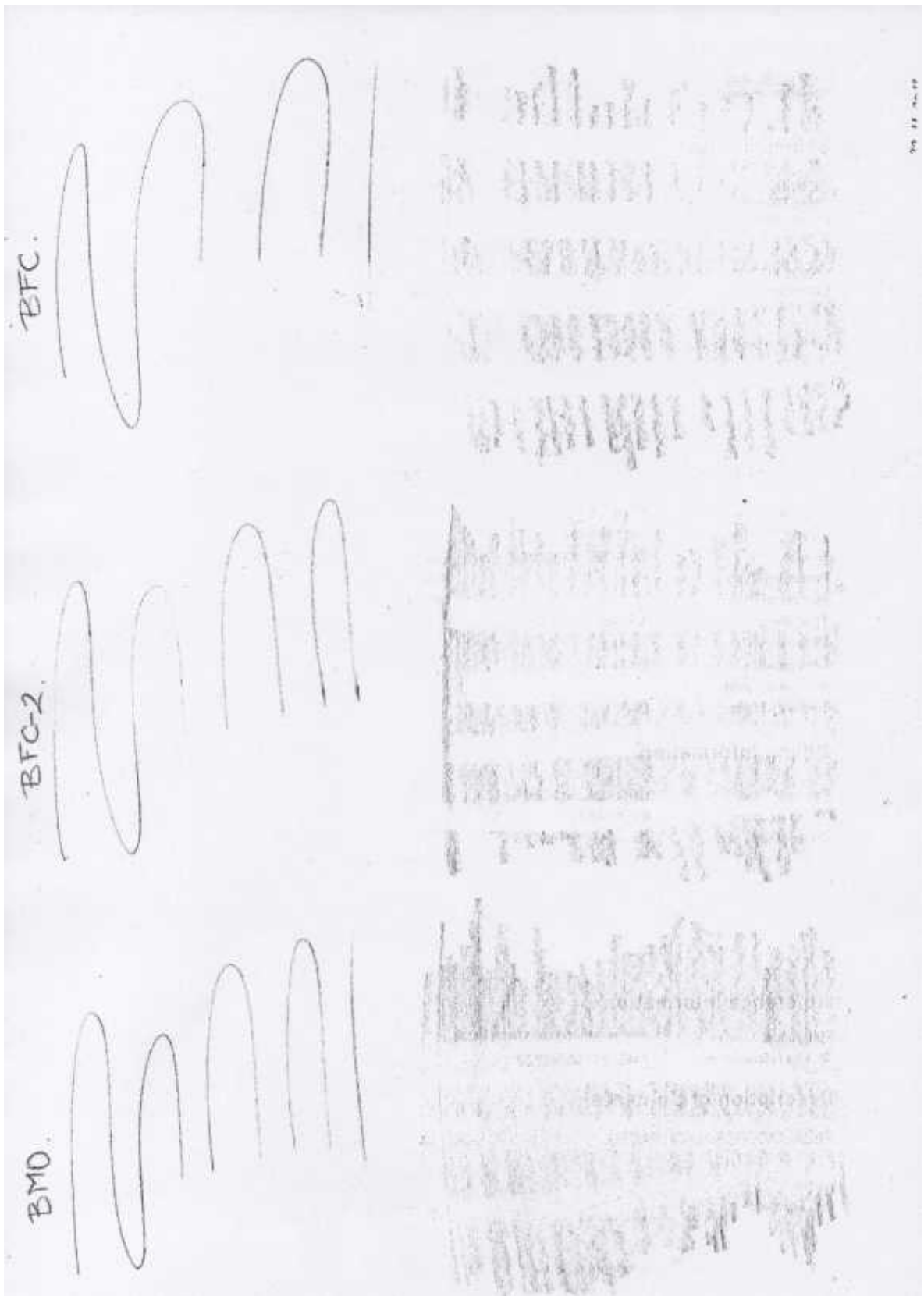
TORRES, FERNANDO. Polímeros: Proceso de manufactura y diseño. Parte 1: Termoplásticos. Revista de Química. Vol. 13, N° 1. Manchester, Reino Unido: Universidad de Manchester Instituto de Ciencia y Tecnología (UMIST), 1991. p. 1-14.

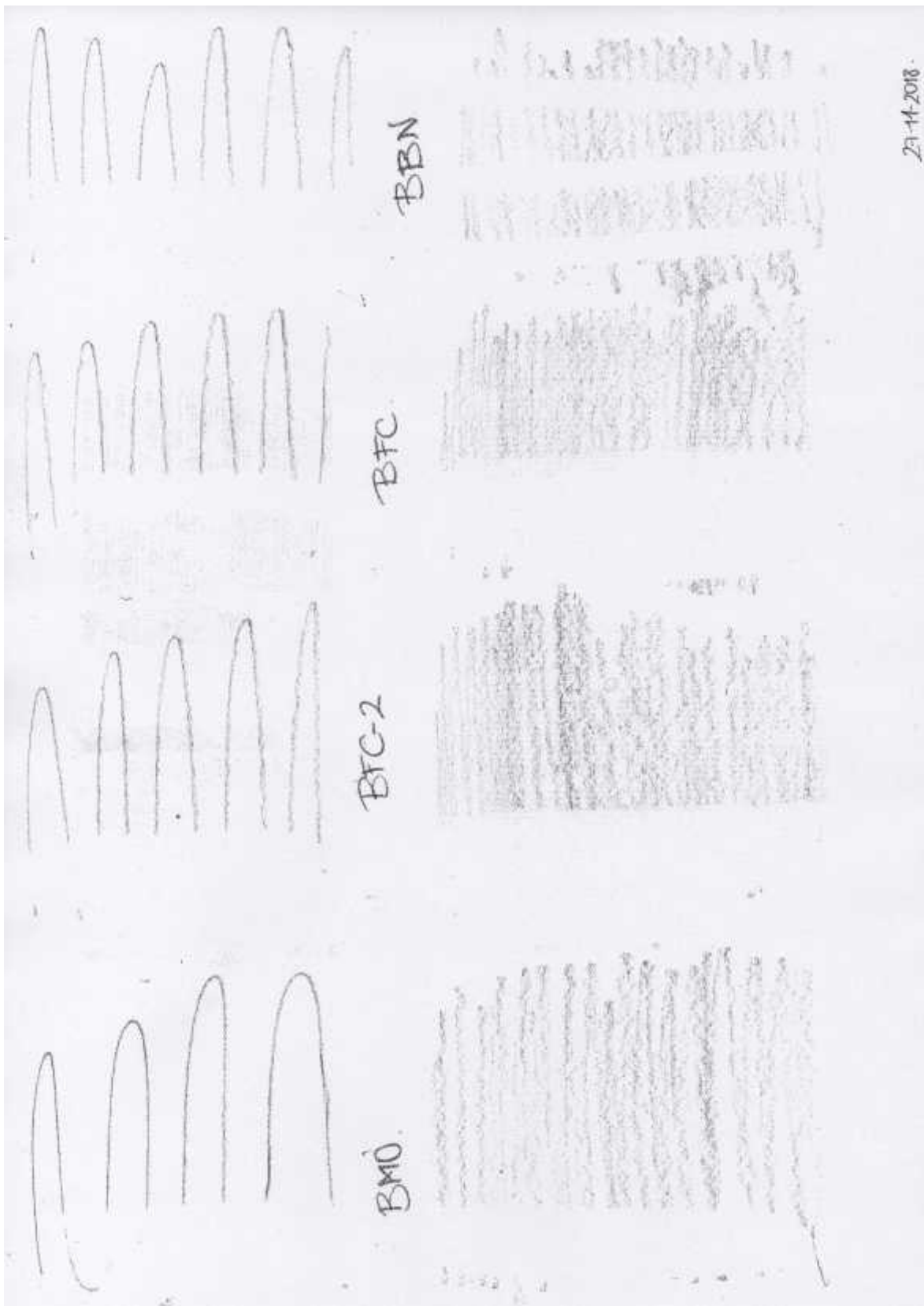
WYPYCH, George. Handbook of Plasticizers. Second Edition, 2012. p. 85-109

ANEXOS

**ANEXO A.
PRUEBA DE BORRABILIDAD DE LOS BORRADORES ENCONTRADOS EN EL
MERCADO**







27-11-2018



BMP.

Handwritten notes in a cursive script, appearing to be a list or a set of instructions. The text is mostly illegible due to the handwriting and fading.



BBR.

Handwritten notes in a cursive script, similar to the notes above. The text is mostly illegible.

**ANEXO B.
PRUEBA DE MIGRACIÓN DE LOS BORRADORES ENCONTRADOS EN EL
MERCADO.**

Punto de migración
24/1/18

BEN

BMP

BK

BFC-2

BMO

BFC

Prueba de Migración
23/11/18

BBN

BMP













BBB

BTC-2

BMO

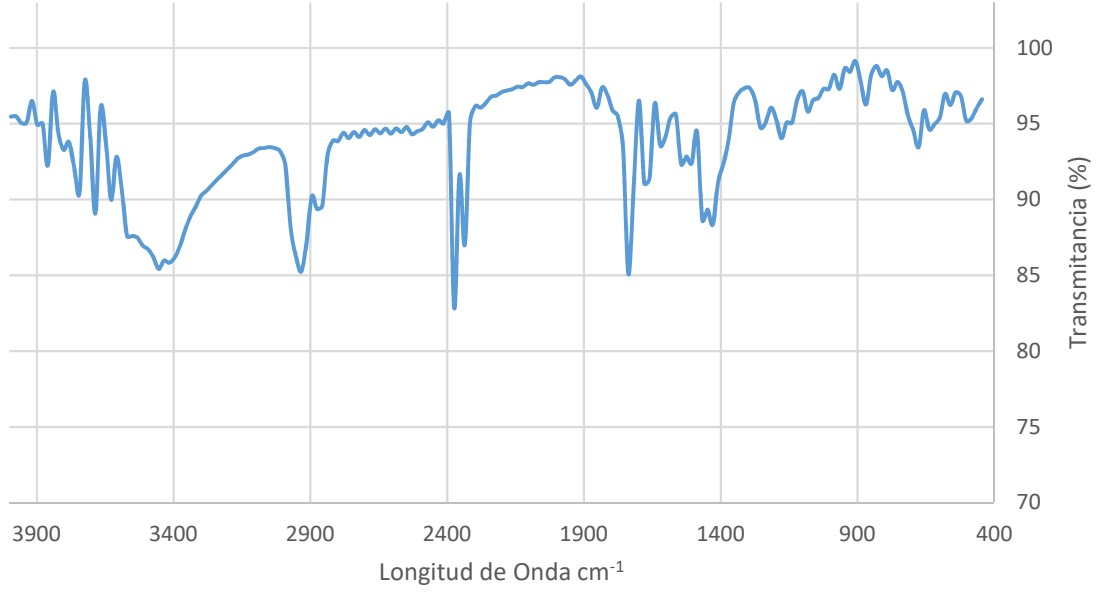
BFC

**ANEXO C.
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPARACIÓN PARA LOS DIFERENTES BORRADORES
ENCONTRADAS EN EL MERCADO.**

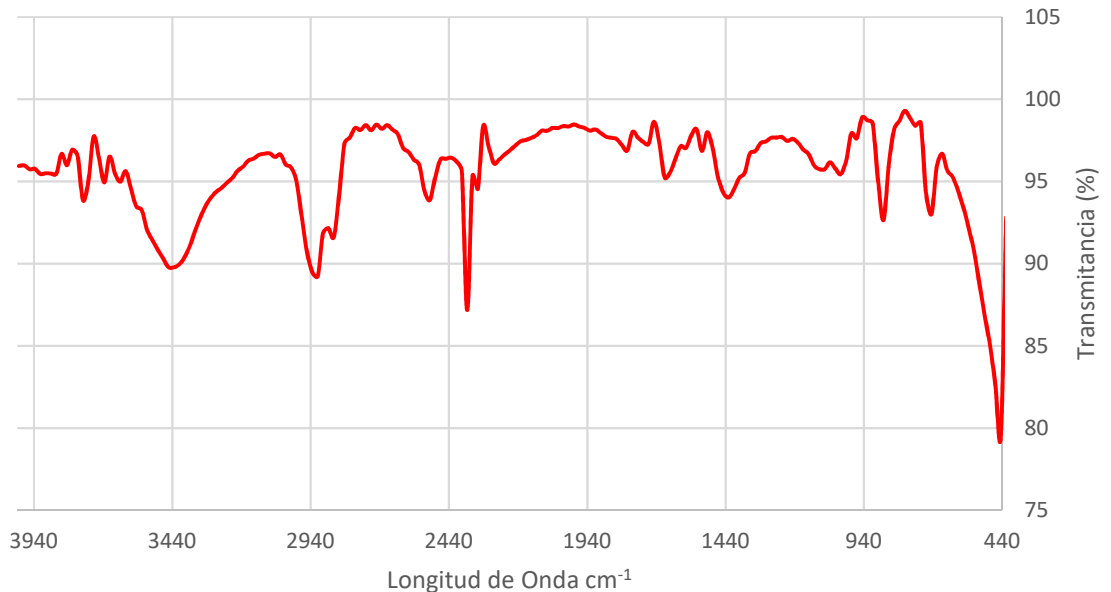
TIPO	GRÁFICO	COLOR	DUREZA DE CADA CARA			DUREZA (Shard A)	ALTO (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PESO IN (g)	PESO OUT (g)	FORMA	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	DIJETA	PERDIDA DE MASA	PIP (%)	ABRASIÓN (mm ²)			
UI C-2		Bianco	53	53,5	58,5	60	61	51	61,083	0,962	5,552	2,072	15,800	15,79	Rectangular	11,856	1,332		0,010	0,0623	205,55
REC		Negro	59,5	60	55,5	63	62	51	60,083	0,955	5,587	2,068	15,430	15,42	Rectangular	11,767	1,311		0,010	0,0618	201,89
DER		Bianco	56	54	62,0	65	67	56	63,607	1,020	3,040	1,065	20,340	20,32	Rectangular	12,200	1,904		0,020	0,0789	430,45
DMO		Bianco	50	54	50	65	66	50	64,700	1,175	0,627	2,000	21,990	21,96	Rectangular	12,954	1,676		0,130	0,5912	431,99
RMP		Bianco	69	66	72,5	73	70		70,100	1,291	6,991	1,291	15,600	15,46	Prisma	11,652	1,330		0,040	0,2581	511,52
BEN		Negro	54	57	56,5	53	56	56	56,167	1,143	4,055	2,263	21,050	21,03	Rectangular	10,605	1,985		0,020	0,0900	Sin costos

**ANEXO D.
ESPECTROS DE LOS BORRADORES PRESENTES EN EL MERCADO.**

Espectro de FTIR para el BFC

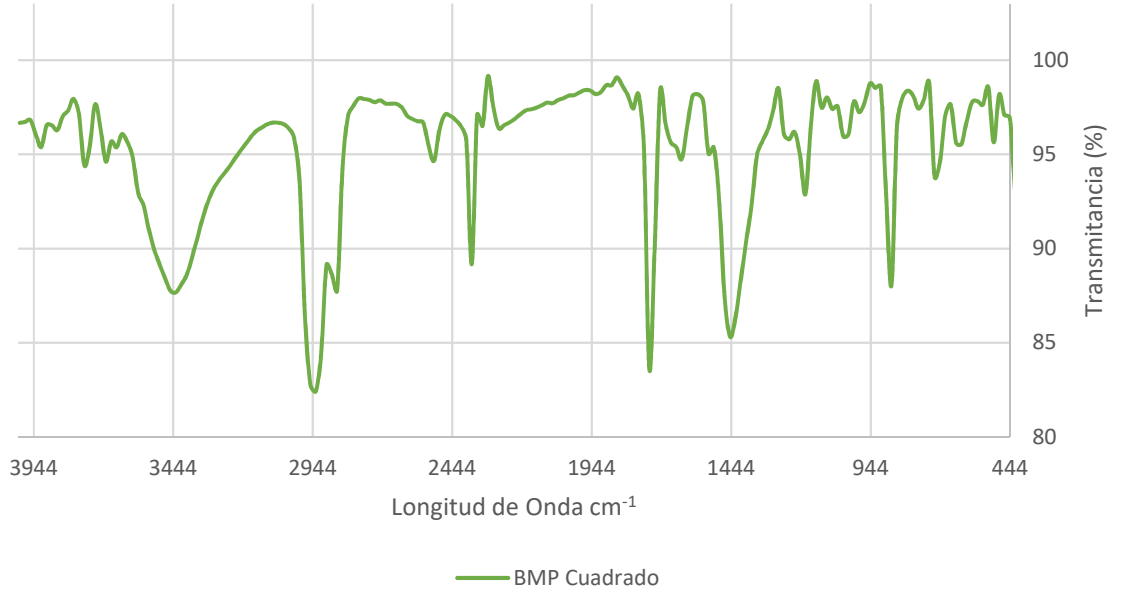


Espectro de FITR para el BMP prisma



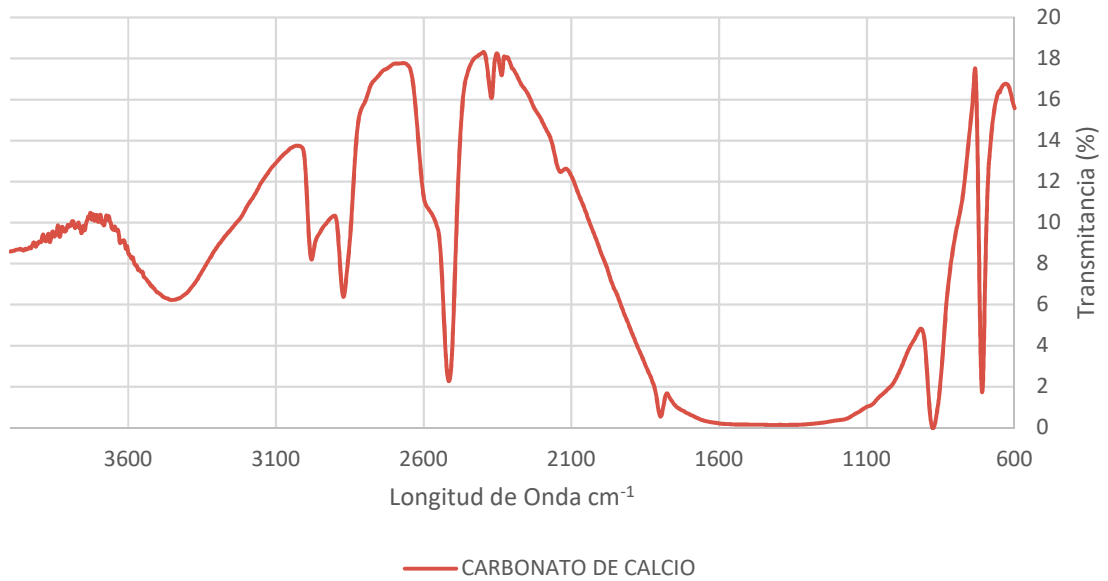
— BMP Prisma

Espectro de FITR para el BMP Cuadrado

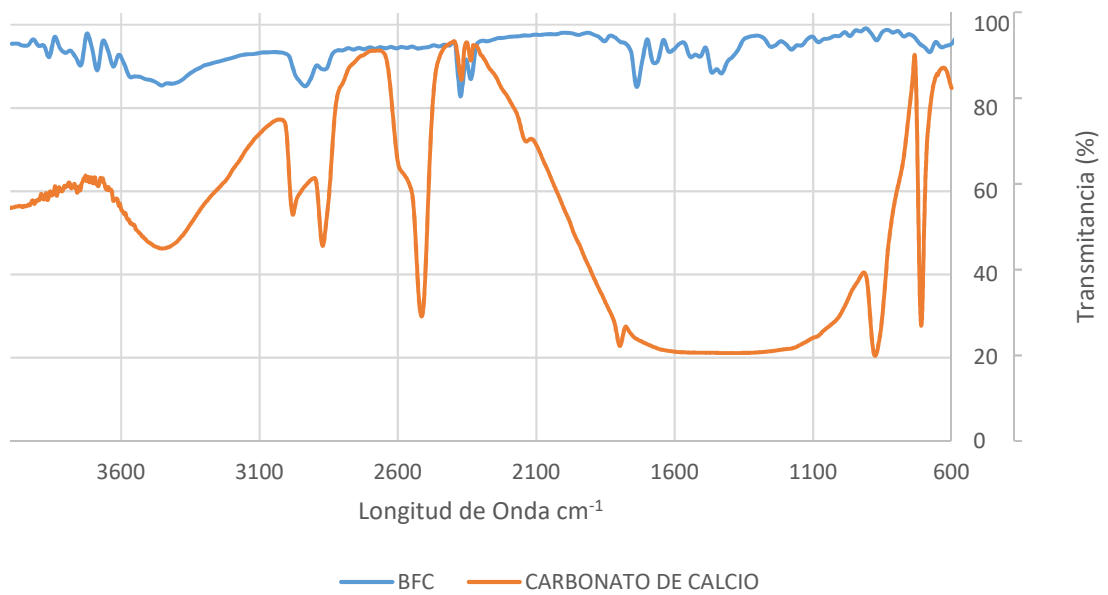


**ANEXO E.
ESPECTRO DE LOS BORRADORES SOBREPUESTO CON EL ESPECTRO
DEL CARBONATO DE CALCIO.**

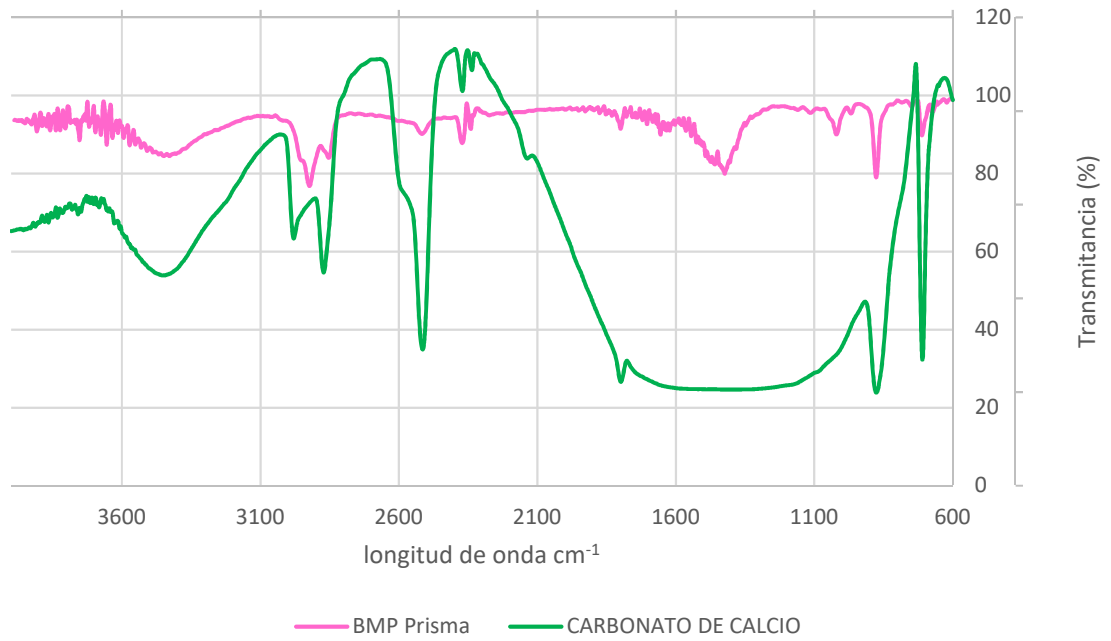
Espectro de FTIR para Carbonato de calcio



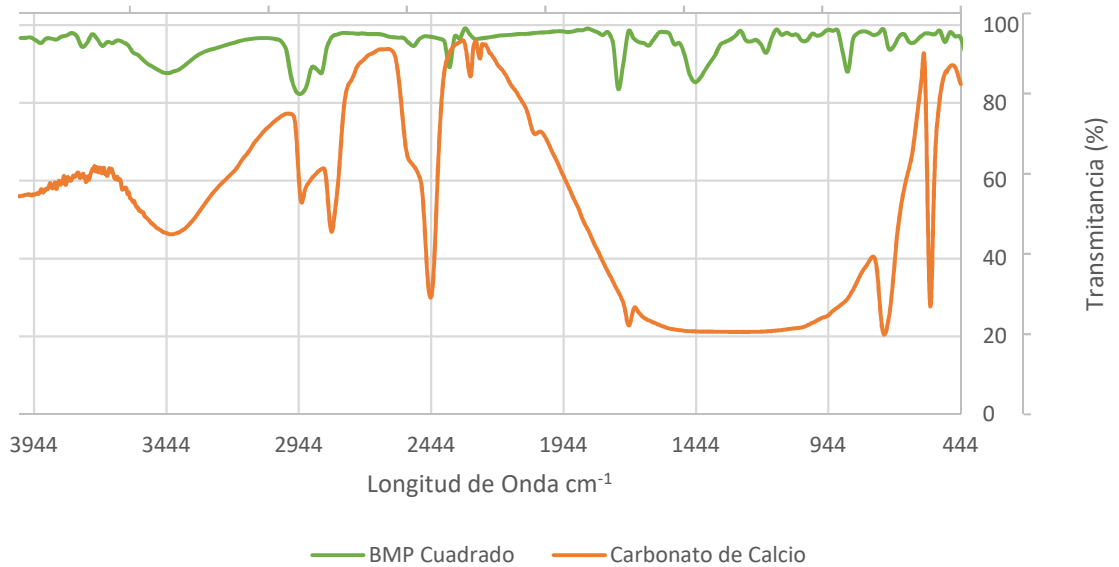
Espectros sobrepuestos de BFC y Carbonato de calcio



Espectro sobrepuesto de BMP prisma y Carbonato de calcio

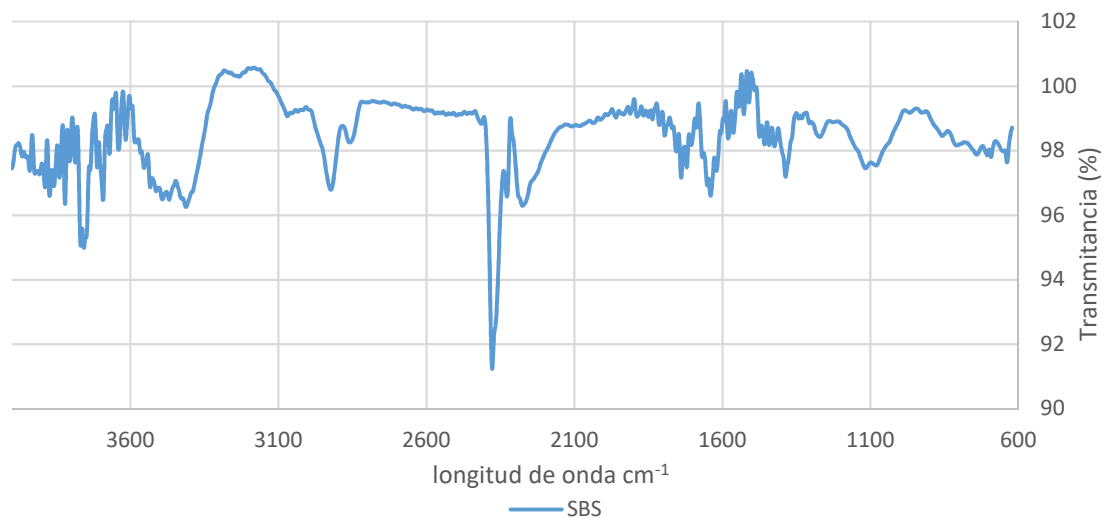


Espectro sobrepuesto de BMP con Carbonato de calcio

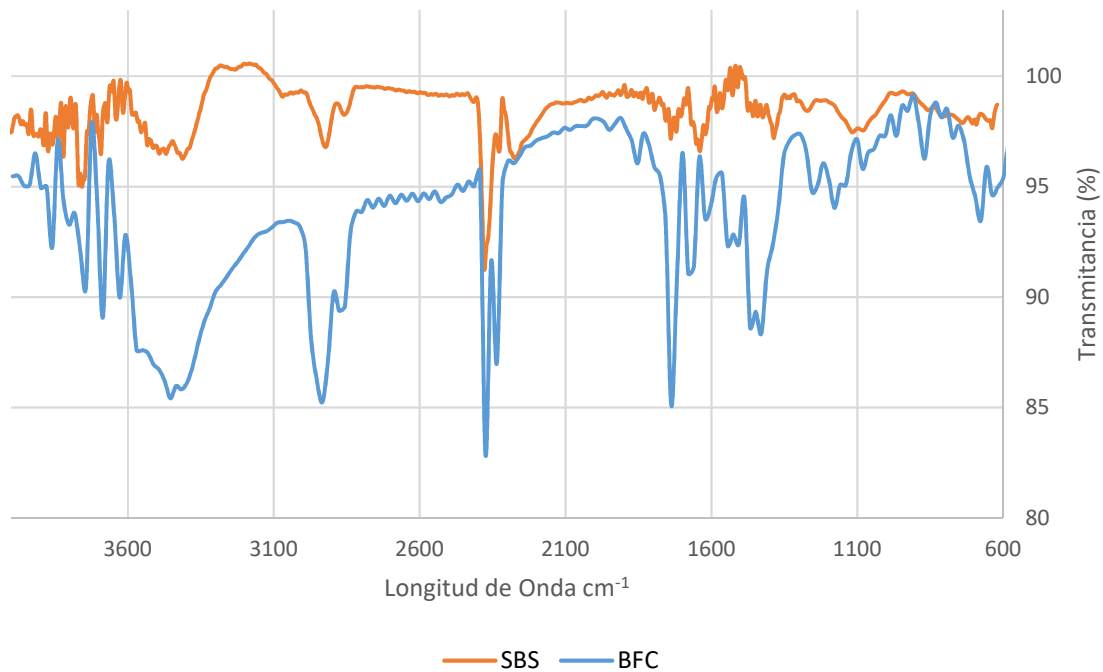


**ANEXO F.
ESPECTRO DE LOS BORRADORES SOBREPUESTOS CON EL ESPECTRO
DEL SBS.**

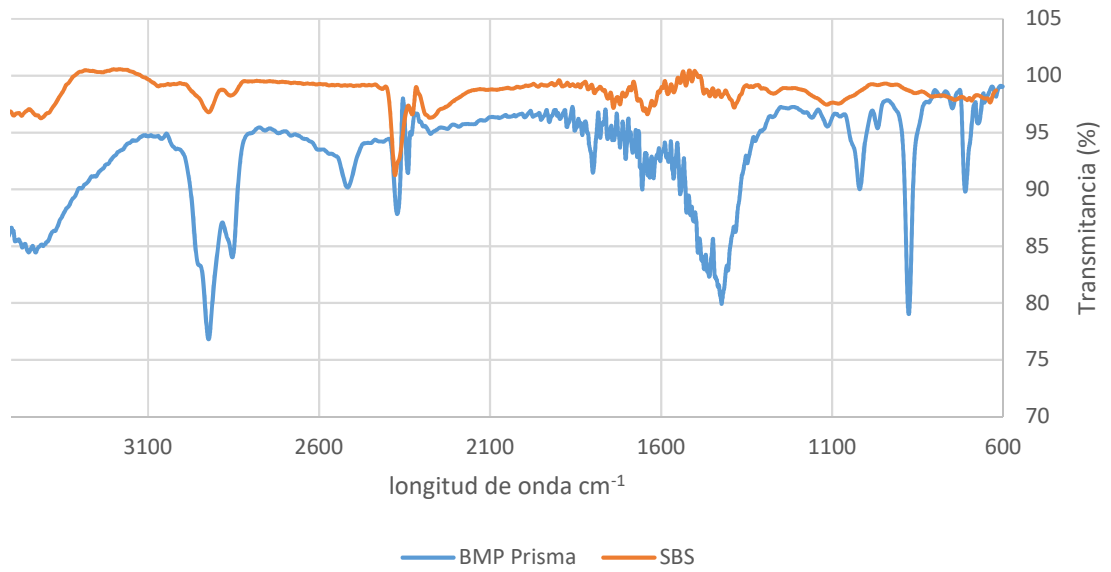
Espectro FITR del SBS



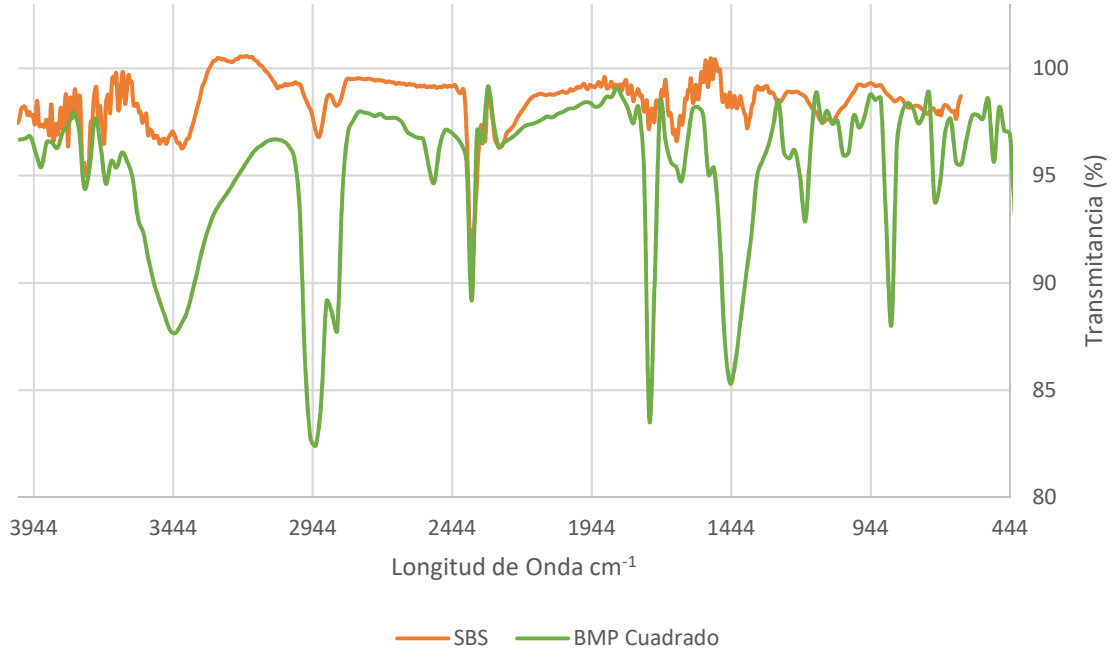
Espectro sobrepuesto de BFC con SBS



Espectro sobrepuesto de BMP prima con SBS

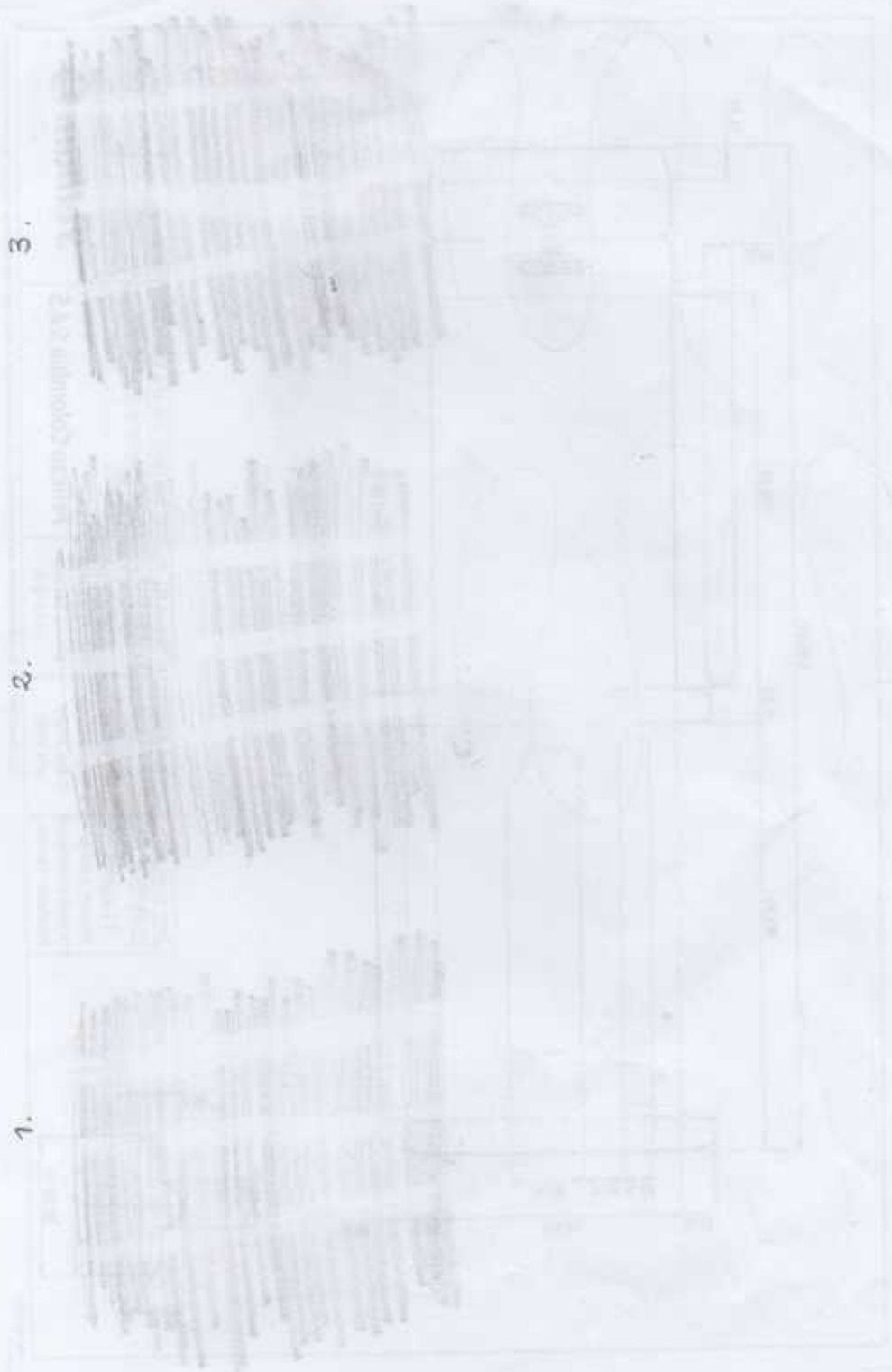


Espectro sobrepuesto de BMP cuadrado con SBS



**ANEXO G.
RESULTADOS DE BORRABILIDAD DE LOS BORRADORES DEL
COMPUESTO COMPLETO.**

Compuesto completo



**ANEXO H.
RESULTADOS DE MIGRACIÓN DE LOS BORRADORES DEL COMPUESTO
COMPLETO.**

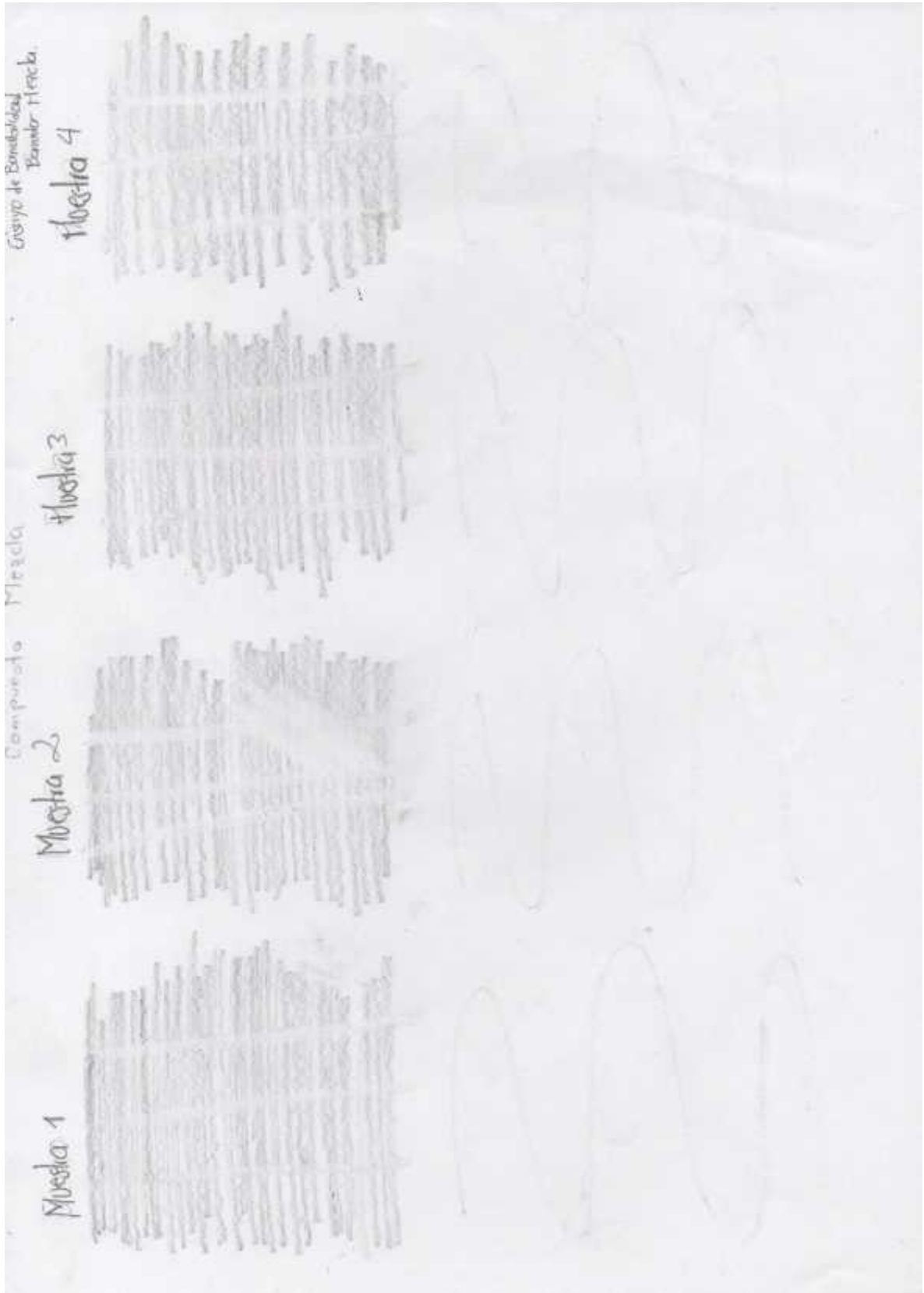
Migration: Complete
27-May-2019
Hana: AG:18

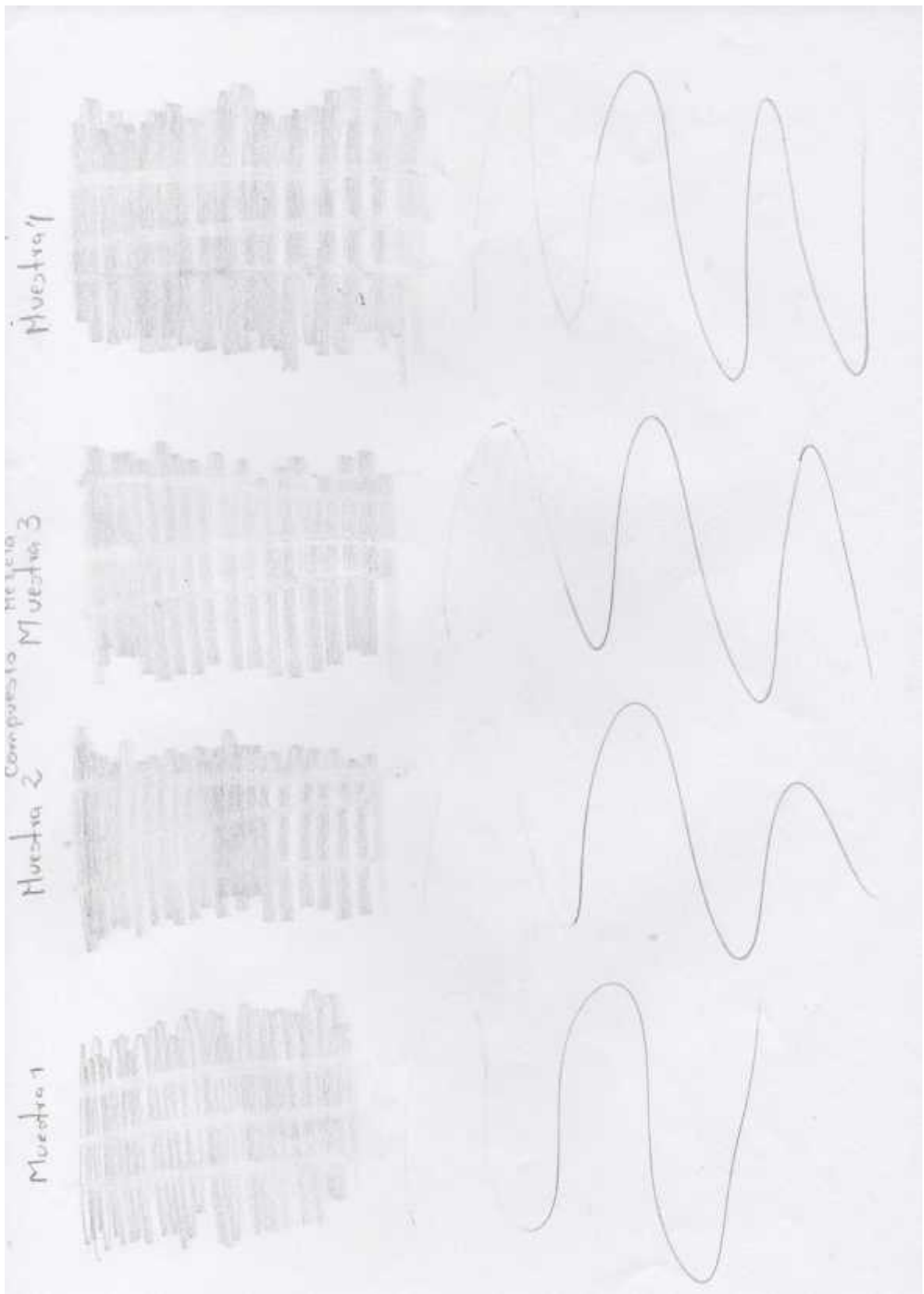
1

2

3

**ANEXO I.
RESULTADOS DE BORRABILIDAD DE LOS BORRADORES DEL
COMPUESTO MEZCLA.**





**ANEXO J.
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPARACIÓN PARA LOS DIFERENTES BORRADORES DEL
COMPUESTO COMPLETO.**

TIPO	DUREZA (Shore A)	ALTO (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PESO IN (g)	PESO OUT (g)	PERDIDA DE MASA	FORMA	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	P/P (%)
1A	95.5	7.632	5.068	0.235	12.48	12.46	0.02	rectangular	9.0896	1.3730	0.1003
2A	94.5	7.663	5.074	0.234	12.76	12.6	0.16	rectangular	9.0984	1.4024	1.2539
3A	95.5	7.659	5.071	0.234	12.58	12.57	0.01	rectangular	9.0883	1.3842	0.0795
4A	94.5	7.667	5.069	0.233	12.55	12.54	0.01	rectangular	9.0553	1.3859	0.0797
1D	95.5	7.644	5.073	0.239	12.48	12.44	0.04	rectangular	9.2679	1.3466	0.3205
2B	95	7.647	5.082	0.234	12.78	12.75	0.03	rectangular	9.0937	1.4054	0.2347
3B	94.5	7.639	5.077	0.236	12.63	12.5	0.13	rectangular	9.1528	1.3799	1.0293
4B	94	7.638	5.073	0.237	12.59	12.45	0.14	rectangular	9.1832	1.3710	1.1120

**ANEXO K.
ESPECIFICACIONES DE INYECTORA - EXTRUSORA.**

 Sistema de gestión de la calidad	SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA TALLER DE PLÁSTICOS FICHA TÉCNICA INYECTORA DE PLÁSTICOS	Fecha: 29/01/2019 Versión: 1 N°: 1
FOTO DE LA MAQUINA		
		
Elaborado por: Diego Andrés Díaz Cuervo		
DATOS DE MAQUINARIA		
Denominación del Equipo	Máquina inyectora de Plásticos	
Referencia	SMARTPOWER 60	
Fuerza de Cierre	50 Toneladas	
Distancia entre Columnas	370- 320 mm	
Diámetro del Tornillo	30 mm	
Voltaje	230V / 60 Hz	
Unidad de Cierre		
Fuerza de Cierre	60	Tn
Distancia entre Bajas	480 x 480	mm
Altura del Molde	200	mm
Carrera de apertura / Fuerza de apertura	40,7	mm
Max Apertura	600	mm
Carrera de expulsor / Fuerza de Expulsor	150	mm/KN
Unidad de Inyección		
Diámetro del tornillo	30	mm
Cuerpo del tornillo	175	mm
Rotación L/D	22	
Volumen teórico de disparo	123	cm ³
Presión específica de inyección	2035	bar
Max. espesores de fabricación	11,6	mm
Numero de zonas de calefacción	3+1	#
Unidad de Potencia		
Potencia de motor eléctrico	3464	KVA
Potencia eléctrica max		
Presión de Trabajo		
Capacidad de llenaje de alente		
Presión específica de inyección		

DIEGO ANDRÉS DIAZ CUERVO
 ELABORO
 REVISO
 APROBO