

**EVALUACIÓN DE UNA FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE
SUELAS DE CAUCHO MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE CLOROPRENO Y
PARAFINAS CLORADAS EN LA EMPRESA CROYDON COLOMBIA S.A**

**LAURA CAMILA CABALLERO DUCUARA
MICHELLE VALENTINA SANABRIA HERNÁNDEZ**

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

**EVALUACIÓN DE UNA FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE
SUELAS DE CAUCHO MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE CLOROPRENO Y
PARAFINAS CLORADAS EN LA EMPRESA CROYDON COLOMBIA S.A**

**LAURA CAMILA CABALLERO DUCUARA
MICHELLE VALENTINA SANABRIA HERNÁNDEZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

Hever Andrés Chaves Romero

Ingeniero químico

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

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, octubre 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Iván Ramírez Marín

La Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios de ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia quienes han sido el principal motor de mis sueños. Principalmente a la memoria de mi padre Henry, quien, con su amor, trabajo y sacrificio, me permitió cumplir un sueño más, y que a pesar de todo me animó, motivó, apoyó y mantuvo su fe en mí. Sólo espero que, desde allí en aquel alto de ángeles, te sientas orgulloso de mi.

Mi madre Isabel por siempre acompañarme y creer en mí, así mismo, por ser amorosa, comprensiva y enseñarme que para cumplir cada meta se requiere de fe, esfuerzo, constancia y dedicación.

Mi hermano John, por su cariño, consejos y apoyo durante todo este proceso, también por darme el privilegio y la felicidad de ser tía.

A mis tíos y tías por su apoyo moral y acompañamiento a lo largo de esta etapa y a lo largo de mi vida.

A mi compañera de trabajo de grado Valentina por ser una buena amiga y un apoyo, por su paciencia y comprensión durante el desarrollo de este proyecto. Por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento y porque sin ella no hubiera logrado esta meta.

Finalmente, a mi amiga Karen, amigos y colegas Aleja, Jundi, Vivi y Cami, y a aquellos amigos sin frontera, con quienes he compartido momentos únicos, y quienes siempre han estado apoyándome y animándome en momentos difíciles, mediante amor, comprensión y apoyo incondicional. Siempre los llevo y los llevaré en mi corazón.

Laura Camila Caballero

En primera instancia quiero agradecerle a Dios por haberme guiado en el trascurso de mi carrera, por darme la fortaleza y la sabiduría para culminar este sueño de ser ingeniería química.

A mis padres Jaime y Adela por ser mi principal promotor de mis sueños, por haber estado presentes en cada etapa de mi vida y en especial de mi carrera, por su dedicación, comprensión, amor, entrega y sacrificio en todos estos años, A ellos les debo lo que soy hoy en día. Estoy orgullosa de ser su hija.

A mi hermana Stephany, quien me ayudo con su voz de aliento cuando tenía dificultades, quien estuvo en los momentos alegres y difíciles, quien aposto toda su confianza en mí para poder ser una profesional.

A mi novio Jhon por haberme brindado el apoyo moral, la paciencia, por acompañarme y por cuidarme, por ayudarme a solucionar mis problemas de la forma más amorosa, por sacarme sonrisas, por estar a mi lado en esta etapa que culmino.

A mi compañera Camila, por compartir conmigo esta etapa tan importante, porque no pude encontrar mejor persona para realizar este proyecto, por su dedicación y responsabilidad, por las risas y llantos, por la voz de aliento cuando se nos presentó inconvenientes. Por entendernos y ser el mejor equipo.

Finalmente quiero agradecer a todos mis amigos en especial Camila H, Alejandra A, Viviana M y Juan Diego G por apoyarme cuando más los necesite, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor y las risas brindadas cada día.

Valentina Sanabria Hernández

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por habernos permitido culminar otra etapa de nuestra vida, mediante su compañía y guía a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en nuestros momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes y experiencias.

Damos gracias a nuestros padres por el apoyo en todo momento, por los valores que nos inculcaron y por habernos dado la oportunidad de una excelente educación en el transcurso de la vida.

A nuestro director de trabajo de grado el ingeniero Hever Andrés Chaves Romero, quien con sus conocimientos, paciencia y apoyo nos guio a través de cada una de las etapas de nuestro trabajo de grado.

Al ingeniero Carlos Quintero, la empresa Croydon Colombia S.A y a todos sus trabajadores, como los ingenieros Camilo Parra, Oscar Arias, Freddy Ramírez y en especial al personal de laboratorio quienes nos dieron la oportunidad de poder desarrollar nuestro trabajo de grado, brindándonos los recursos y las hermanitas necesarias para culminación de esta etapa.

A los orientadores de comité de proyecto de grado de ingeniería química, especialmente al ingeniero Fernando Moreno quien nos motivó y oriento con sus conocimientos, desde el comienzo, para el cumplimiento de cada uno de los objetivos de nuestro proyecto.

A todos nuestros profesores quienes nos guiaron desde el inicio con su sabiduría, consejos, conocimientos y paciencia para emprender nuestro trabajo.

Por ultimo queremos agradecerles a todos nuestros amigos y colegas quienes nos animaron, comprendieron y apoyaron en cada uno de nuestros pasos para poder lograr ser ingenieras químicas y las personas que somos hoy en día.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	21
1.GENERALIDADES	22
1.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUELAS DE CAUCHO PARA PEGADO EN FRÍO EN CROYDON COLOMBIA S.A	22
1.2 MATERIA PRIMA	26
1.2.1 Caucho	26
1.2.2 Caucho natural (NR)	27
1.2.3 Caucho estireno-butadieno (SBR)	28
1.2.4 Caucho cloropreno (CR)	29
1.3 FORMULACIÓN DEL CAUCHO	32
1.3.1 Base elastoméricas	32
1.3.2 Antioxidantes	32
1.3.3 Agentes homogeneizantes	33
1.3.4 Rellenos	33
1.3.5 Activadores y retardantes	33
1.3.6 Lubricantes	33
1.3.7 Parafinas cloradas	33
1.3.8 Azufre	34
1.4 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS	34
1.4.1 NTC 4811: caucho. determinación de la resistencia a la abrasión del caucho y elastómeros	35
1.4.2 NTC 444. caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos: determinación de las propiedades de tensión	36
1.4.3 NTC 467: propiedades del caucho determinación de dureza con durómetro	38
1.4.4 Caucho vulcanizado. determinación de densidad	38
1.4.5 NTC 632: método de ensayo para medir el deterioro del caucho. crecimiento del corte por medio del aparato de flexión de ross	39
1.4.6 NTC 445: determinación de la resistencia al desgarre del caucho vulcanizado convencional y de elastómeros termoplásticos	40
1.4.7 Determinación de las fuerzas de adhesión	40
1.4.8 Procedimiento interno de croydon colombia s.a. para realizar ensayo de reometría	41
1.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA SUELA DE CAUCHO PRODUCIDA ACTUALMENTE EN CROYDON COLOMBIA S.A	42
1.5.1 Abrasión (mm ³)	42
1.5.2 Dureza (Shore A)	43
1.5.3 Densidad (g/ml)	43
1.5.4 Rasgadura (N/m)	44

1.5.5 Tensión (Mpa)	45
1.5.6 Elongación (%)	45
1.5.7 Flexión (mm)	45
1.5.8 Adhesión(kgf/cm)	46
1.5.9 Análisis de la caracterización de las propiedades de la suela de caucho producida actualmente en Croydon Colombia S.A	47
2.EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE CLOROPRENO Y PARAFINAS CLORADAS EN LA ELABORACIÓN DE LA SUELA DE CAUCHO	49
2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL	50
2.1.1 Elaboración de las probetas para la experimentación	53
2.1.1.1 Reometría	53
2.1.2 Evaluación de propiedades físicas y mecánicas	54
2.1.2.1 Abrasión (mm ³)	55
2.1.2.2 Dureza (Shore A)	55
2.1.2.3 Elongación máxima (%)	56
2.1.2.4 Tensión (Mpa)	56
2.1.2.5 Rasgadura (N/m)	57
2.1.2.6 Densidad (g/ml)	57
2.1.2.7 Flexión (mm)	58
2.1.2.8 Adhesión(kgf/cm)	58
2.1.3 Análisis e interpretación de resultados	59
2.1.3.2 Dureza (Shore A)	60
2.1.3.3 Tensión (Mpa) y Elongación máxima (%)	62
2.1.3.3.1 Elongación máxima (%)	62
2.1.3.3.2 Tensión (Mpa)	63
2.1.3.4 Rasgadura (N/m)	65
2.1.3.5 Densidad (g/ml)	66
2.1.3.7 Flexión (mm)	68
2.1.3.8 Adhesión (kgf/cm)	70
3. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA FORMULACIÓN BASADA EN 5, 10 Y 15 PHR DE CLOROPRENO Y PARAFINAS CLORADAS A ESCALA PILOTO	70
4. CONCLUSIONES	77
5. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Abrasión para suelas, con sus valores de referencia	42
Tabla 2. Dureza para suelas, con sus valores de referencia	43
Tabla 3. Densidad para suelas, con sus valores de referencia	44
Tabla 4. Rasgadura para suelas, con sus valores de referencia	44
Tabla 5. Tensión para suelas, con sus valores de referencia	45
Tabla 6. Elongación para suelas, con sus valores de referencia	45
Tabla 7. Flexión para suelas, con sus valores de referencia	46
Tabla 8. Adhesión para suelas, con sus valores de referencia	47
Tabla 9. Cumplimiento formula base según valores de referencia	48
Tabla 10. Formulación base elastomérica para suela	50
Tabla 11. Formulación base elastomérica con 5 PHR de cloropreno	51
Tabla 12. Formulación base elastomérica con 10 PHR de cloropreno	51
Tabla 13. Formulación base elastomérica con 15 PHR de cloropreno	51
Tabla 14. Formulación base elastomérica con 5 PHR de parafinas cloradas	52
Tabla 15. Formulación base elastomérica con 10 PHR de parafinas cloradas	52
Tabla 16. Formulación base elastomérica con 15 PHR de parafinas cloradas	53
Tabla 17. Tiempo de vulcanización formulaciones basadas en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	54
Tabla 18. Abrasión, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	55
Tabla 19. Dureza, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	55
Tabla 20. Elongación máxima, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	56
Tabla 21. Tensión, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	56
Tabla 22. Rasgadura para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	57
Tabla 23. Densidad para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	57
Tabla 24. Flexión para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	58
Tabla 25. Adhesión para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	58
Tabla 26. Costo formulación actual	74
Tabla 27. formulación basada en 15 PHR de cloropreno con corte sintético negro	75
Tabla 28. formulación basada en 5 PHR de cloropreno con corte sintético gris	75

Tabla 29. formulación basada en 15 PHR de parafinas cloradas con corte sintético negro	76
Tabla 30. formulación basada en 10 PHR de parafinas cloradas con corte sintético gris	76
Tabla 31. Diferencia de costos entre formulación actual y formulaciones propuestas	77

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cálculo de la abrasión	35
Ecuación 2. Cálculo de la fuerza de tensión	36
Ecuación 3. Cálculo de la elongación	36
Ecuación 4. Cálculo de adhesión	41
Ecuación 5. Cálculo de diferencia de costos de las formulaciones	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso general de la suela de caucho.	23
Figura 2. Proceso de pegado en frío.	24
Figura 3. Proceso de activación.	25
Figura 4. Composición típica del látex de NR.	27
Figura 5. Sistema de vulcanización de NR.	28
Figura 6. Composición para la vulcanización del CR.	32
Figura 7. Equipo para la medición de abrasión: abrasímetro.	35
Figura 8. Tensiómetro para pruebas de tensión, elongación y resistencia al desgarre.	37
Figura 9. Probeta para la resistencia a la tensión.	37
Figura 10. Equipo para medición de dureza: durómetro.	38
Figura 11. Equipo para medición de densidad.	39
Figura 12. Equipo para medición de resistencia a la flexión: flexómetro.	39
Figura 13. Probeta para la resistencia a la flexión.	40
Figura 14. Probeta para la resistencia al desgarre.	40
Figura 15. Equipo para medición de reometría: reómetro.	41
Figura 16. Diagrama del desarrollo experimental.	49
Figura 17. Diagrama para obtención de la prueba de reometría.	54
Figura 18. Obtención de la prueba de abrasión.	59
Figura 19. Obtención de la prueba de dureza.	60
Figura 20. Obtención de la prueba de tensión y elongación.	62
Figura 21. Obtención de la prueba de rasgadura.	65
Figura 22. Obtención de la prueba de densidad.	66
Figura 23. Obtención de la prueba de resistencia a la flexión.	68
Figura 24. Obtención de la prueba de adhesión.	70
Figura 25. Probetas de caucho con 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas para la adhesión con cauchos sintéticos.	70
Figura 26. Probeta para la adhesión de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas con caucho sintético negro.	72
Figura 27. Probeta para la adhesión de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas con caucho sintético gris.	73

LISTA DE GRAFICOS

	pág.
Gráfica 1. Resultados de abrasión de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	60
Gráfica 2. Resultados de dureza de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	61
Gráfica 3. Resultados de elongación de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	63
Gráfica 4. Resultados de tensión de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	64
Gráfica 5. Resultados de esfuerzo al rasgado de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	66
Grafica 6. Resultados de la densidad de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	67
Gráfica 7. Resultados de la flexión de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	69
Grafica 8. Resultados de la adhesión suela de caucho con corte sintético negro de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	71
Gráfica 9. Resultados de la adhesión suela de caucho con corte sintético gris de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas	72
Grafica 10. Costos formulación MB base suela y formulaciones propuestas	77

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Reometrias formulaciones suelas de cacuho	84
Anexo B. Pruebas de adhesión suela-corte	88
Anexo C. Norma tecnica bota tenis NTDM-0090-A4	91

GLOSARIO

AGENTE VULCANIZANTE: sustancia química encargada de llevar a cabo la formación de enlaces de entrecruzamiento del elastómero.

CARDAR: limpiar la superficie revés de la suela y la planta de los cortes montados, con el fin de volver ásperas las superficies que se van adherir.¹

CAUCHO: material elastomérico obtenido natural o sintéticamente, caracterizado por tener propiedades como su elasticidad, resistencia eléctrica y baja afinidad al agua.

CONTRAFUERTE: pieza de refuerzo de material termoestable, que se encuentra en la parte del talón.

LEFA O DENA: plantilla interna del zapato.

MINA DE PLATA: mina de color plata, útil para marcar líneas de corte de patrones y plantillas.

PHR: por sus siglas en inglés, Parts per Hundred of Rubber, es decir, partes por cien de caucho, unidad utilizada para indicar las proporciones de los compuestos de una formulación basada en caucho.

PRIMER: es una base solvente, el cual es necesario para acondicionar tanto la superficie de la suela como la del corte del zapato, para el proceso de halogenación.

PROBETA: porción de material elastomérico con especificaciones de forma y tamaño determinado, para la medición de ciertas propiedades físicas y mecánicas.

SUELAS: parte del calzado que tiene contacto directo con el suelo y puede estar elaborada de distintos materiales como PVC, caucho, cuero y otros materiales expandidos.

TIEMPO ÓPTIMO DE VULCANIZACIÓN (T90): tiempo que arroja la reometría al 90% de la corrida de la prueba, el cual corresponde al tiempo óptimo del proceso de vulcanización.

TIEMPO SCORCH: tiempo que arroja la reometría al 2% de la corrida de la prueba, el cual corresponde al tiempo mínimo para iniciar el proceso de vulcanización.²

¹ Zambrano. Luis. Armado de suelas para calzado de hombre. Multiláteros editores LTDA. 1995, p.9

² HERRERA. Laura y PINEDA. Jair. Evaluación de la mezcla de etileno vinil acetato (Eva) con caucho natural o sintético, para la incorporación en la formulación de suelas y cinta de calzado de la compañía Croydon Colombia S.A. Ingeniero Químico. Bogotá-Colombia. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería.2018. pag.16-17

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo evaluar una formulación para la elaboración de suelas de caucho a través de la incorporación de cloropreno y parafinas cloradas en la empresa Croydon Colombia S.A., mediante mezclas que difieran de la cantidad de caucho sintético y cloro alcanos, evaluando sus propiedades, para así seleccionar aquella con los resultados más eficaces para el uso en suelas.

Inicialmente se caracterizó la suela de caucho elaborada actualmente en la compañía a partir de la medición de abrasión, elongación, rasgadura, tensión, flexión, dureza, densidad y adhesión con corte sintético negro y gris, determinando los valores de aceptación exigidos por la empresa y por la referencia militar NTMD-0090-A4 establecida por el Ministerio de Defensa Nacional. Posterior a esto se desarrollaron seis formulaciones para la elaboración de suelas de caucho, variando las proporciones de cloropreno y parafinas cloradas en tres niveles: 5, 10 y 15 PHR, evaluando las mismas ocho propiedades de la primera etapa.

Dentro de las formulaciones propuestas basadas en cloropreno y parafinas cloradas, las que presentaron resultados favorables en cuanto a la propiedad de adhesión fueron las formulaciones de cloropreno a 5 PHR con un valor de 3.99 kgf/cm y de parafinas cloradas a 10 PHR con 3.12 kgf/cm de adhesión con corte sintético gris; y con respecto al corte sintético negro las que presentaron mejores propiedades de adhesión fueron las de cloropreno y parafinas cloradas a 15 PHR cada una, con valores 6.9 kgf/cm y 4.88 kgf/cm respectivamente.

Teniendo en cuenta el porcentaje de diferencia de las cuatro formulaciones se obtiene que la mezcla a 5 PHR de cloropreno fue la única en presentar una disminución de 4.11% ya que al compararla con la formulación actual presentó un ahorro total de \$50289,45 COP/kg. Por lo que se puede decir que al formular la suela de cloropreno a 5 PHR proporciona una buena adhesión de la suela al corte, brindándole a su vez beneficio a la empresa, puesto que evitaría el proceso de halogenación con ácido tricloroisocianúrico (TIC) en la línea de producción de pegado en frío.

Palabras claves: adhesión, cloropreno, parafinas cloradas, suelas, caucho.

ABSTRACT

The objective of this project is to evaluate a formulation for the elaboration of rubber soles through the incorporation of chloroprene and chlorinated paraffins in the company Croydon Colombia SA, through mixtures that differ from the amount of synthetic rubber and chloro alkanes, evaluating their properties, In order to select the one with the most effective results for use on soles.

Initially, the rubber sole currently manufactured in the company was characterized from the measurement of abrasion, elongation, tearing, tension, bending, hardness, density and adhesion with black and grey synthetic cut, determining the acceptance values required by the company and by the military reference NTMD-0090-A4 established by the Ministry of National Defense. Subsequent to this six formulations were developed for the manufacture of rubber soles, varying the proportions of chloroprene and chlorinated paraffins into three levels: 5, 10 and 15 PHR, evaluating the same eight properties of the first stage.

Among the proposed formulations based on chloroprene and chlorinated paraffins, those that presented favorable results in terms of adhesion property were the chloroprene formulations at 5 PHR with a value of 3.99 kgf / cm and chlorinated paraffins at 10 PHR with 3.12 kgf / cm of adhesion with gray synthetic cut; and with respect to the black synthetic cut, the ones that presented the best adhesion properties were those of chloroprene and chlorinated paraffins at 15 PHR each, with values 6.9 kgf / cm and 4.88 kgf / cm respectively.

Taking into account the percentage of difference of the four formulations, it is obtained that the mixture at 5 PHR of chloroprene was the only one to present a decrease of 4.11% since when compared with the current formulation, it presented a total saving of \$ 50,289.45 COP/kg. So it can be said that by implementing the chloroprene sole at 5 PHR, it provides good adhesion of the sole to the upper, in turn providing benefit to the company, since it would avoid the halogenation process with trichloroisocyanuric acid (TIC) in the cold gluing production line.

Keywords: adhesion, chloroprene, chlorinated paraffins, soles, rubber.

INTRODUCCIÓN

Croydon Colombia S.A lleva a cabo un proceso de pegado en frío, en el cual se efectúa la adhesión de la suela de caucho al corte. Esto se realiza por medio de halogenación con ácido tricloroisocianúrico (TIC) incluyendo como adhesivo en base solvente el poliuretano, con el fin de cambiar la polaridad de la superficie de la suela y lograr una excelente adhesión. Esta técnica es muy usada en la industria del calzado ya que ayuda a la unión del corte a la suela mediante el uso de calor y presión.

Este proceso utilizado actualmente en la compañía representa un 20% de gasto operacional para la producción de un zapato, en el que se incluye maquinaria, mano de obra y materias primas; además de esto, dicho proceso requiere de un tiempo de secado de 35 minutos. Por esta razón, se propone evaluar una alternativa mediante una nueva formulación de la suela de caucho a través de la incorporación de cloropreno y parafinas cloradas, con la intención de determinar si las propiedades y características del producto terminado se ven mejoradas, y de concluir la probabilidad de evitar el proceso de halogenación con ácido tricloroisocianúrico, gracias a la inclusión de esta materia prima, haciendo un especial énfasis en la adhesión. Para esto, inicialmente se valoraron las propiedades de la formulación MB base o estándar de suelas de caucho usadas actualmente en la empresa, posteriormente se desarrollaron formulaciones variando las cantidades de cloropreno y parafinas cloradas, para evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas, de modo que se seleccionó la mezcla con los mejores resultados. Por último, se compararon los costos de materia prima de la formulación base y de la nueva formulación propuesta.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar una formulación para la elaboración de suelas de caucho mediante la incorporación de cloropreno y parafinas cloradas en la empresa Croydon Colombia S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las propiedades de la suela de caucho producida actualmente en Croydon Colombia S.A.
- Evaluar la incorporación de cloropreno y parafinas cloradas en la elaboración de la suela de caucho.
- Realizar una evaluación de los costos de producción a escala piloto.

1. GENERALIDADES

Como primera instancia se pretende mostrar una descripción general de los conceptos que se encuentran relacionados con el desarrollo de este proyecto, de igual forma enfatizar sobre el uso de las maquinarias, las principales operaciones que se implementan en el desarrollo de la fórmula de suelas de caucho y cómo influye el cloropreno y las parafinas cloradas en dicho proceso.

1.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUELAS DE CAUCHO PARA PEGADO EN FRÍO EN CROYDON COLOMBIA S.A

Para empezar, es muy importante resaltar el proceso de fabricación de suelas de caucho en Croydon Colombia S.A, de esta forma se muestra el proceso de modificación a los cuales la materia prima se va a someter.

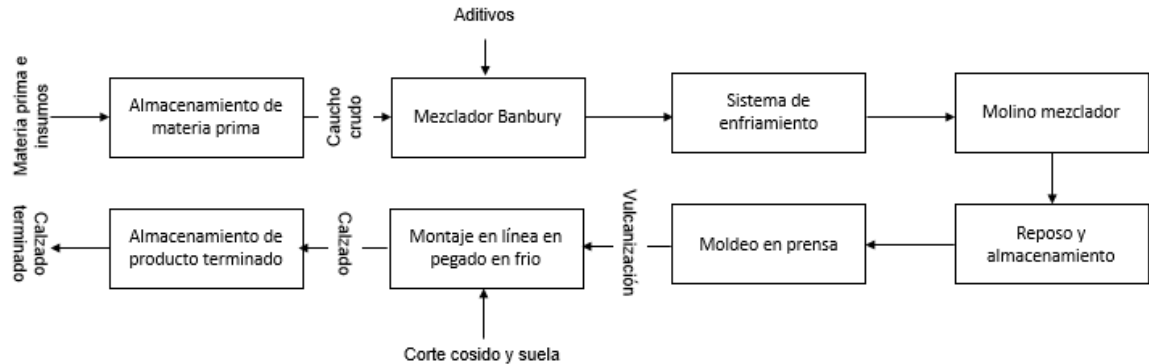
La primera etapa comienza con la admisión de la materia prima los cuales están compuestos por caucho natural (CN) y caucho sintético (IR), estos son trasladados al departamento de calidad para su revisión y aprobación. Una vez culminado este proceso, son llevados al mezclador *Banbury*, esta máquina sirve para homogeneizar los materiales de caucho naturales y sintéticos con sus respectivos porcentajes de aditivos en los que se encuentran los aceites, antioxidantes, activadores, rellenos y acelerantes a una temperatura que oscila entre 150°C a 170°C y con una duración entre 5 a 12 minutos. Posteriormente la mezcla homogenizada es llevada a un molino mezclador donde se lamina y se corta en trozos medianos, luego la mezcla es llevada al túnel de enfriamiento con agua (*hidrocooling*), este proceso tiene como fin refrigerar el producto con la mayor brevedad, con un ciclo medio de 15 minutos a una temperatura de 0.5°C, para así lograr que la mezcla llegue a la temperatura ambiente (16 a 21°C). Posteriormente, el caucho es almacenado en el patio de la planta en donde se, utilizan telas entre cada lámina de caucho, para así evitar que se adhieran.

Después de haber transcurrido 24 horas de almacenamiento, los cortes de caucho son llevados a un segundo molino mezclador, en donde se le adiciona azufre; este compuesto brinda el servicio de agente vulcanizante. Esta mezcla es conocida como caucho acelerado.

Al terminar el proceso, se traslada al moldeo en prensa en donde, inicialmente se realiza un pesaje en dosis proporcionales de caucho acelerado los cuales se transfieren a cinco prensas que trabajan a una temperatura de 150°C con un tiempo de 5 minutos, se emplean moldes metálicos con distintos tamaños de suelas, al finalizar se retira los residuos los cuales son llamados rebaba de caucho.

Por último, la suela de caucho es llevada al proceso de pegado en frío donde se adhiere al corte y se pasan a los túneles de secado y duran alrededor de 35 minutos, al finalizar son revisados por operarios de calidad y empaquetados en cajas de cartón para su almacenamiento y distribución.

Figura 1. Proceso general de la suela de caucho.



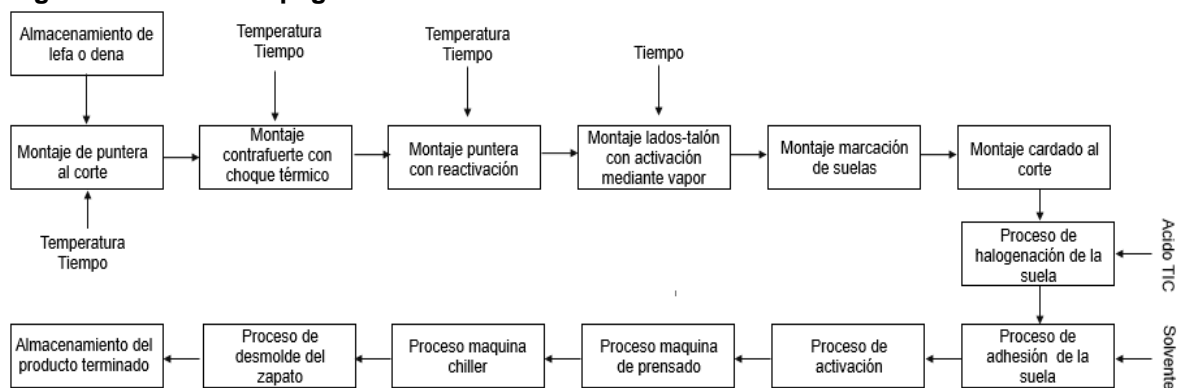
Fuente: elaboración propia.

Uno de los principios fundamentales es establecer el método de fabricación del calzado, lo principal es distinguir los dos métodos de fabricación que se emplean en la empresa, los cuales son vulcanización y pegado en frío. Estos difieren en el modo en que se adhieren la suela al corte; en el cual este último es el enfoque del proyecto. A continuación, se describe el método de pegado en frío ver Figura 2 implementado en la empresa Croydon Colombia S.A.

1. Comienza con el almacenamiento de *lefa* o "*dena*" en donde se aplican los adhesivos.
2. Montaje de puntera al corte, en este proceso se varía de 180 °C a temperatura ambiente (16 a 21 °C) en un intervalo de 8 segundos; esto tarda en un tiempo total de 8 a 12 minutos.
3. Montaje contrafuerte con choque térmico, el corte experimenta un cambio de temperatura de 200°C a temperatura ambiente (16 a 21 °C), este cambio ocurre en un intervalo de 12 segundos y tiene un tiempo de 8 a 12 minutos.
4. Montaje de puntera con reactivación, tiene como finalidad activar el proceso tras una situación de recesión mediante un cambio de temperatura, esto quiere decir que se vuelve a variar la temperatura de 220°C a temperatura ambiente (16 a 21 °C), este cambio se efectúa en un tiempo de 18 segundos.
5. Montaje lados-talón con activación mediante vapor, mecanismo por el cual se retienen contaminantes orgánicos en la superficie, esto se realiza en un tiempo de 8 segundos aproximadamente a una temperatura ambiente.

6. Montaje marcación de suelas, para este proceso se implementa una mina de plata con el fin de marcar en el corte, la zona por donde se adherirá la suela.
7. Montaje cardado al corte, se utiliza la máquina cardadora para cardar el revés de la suela y la planta de los cortes montados; con el fin de darle porosidad al material (corte y suela del zapato), pues al aumentar el tamaño de poro en la superficie, mejoran las condiciones de adhesión y se evitan posibles despegues de la suela al corte.
8. Halogenación de la suela, esta se halógena con ácido tricloroisocianúrico (TIC) al 3 % y se deja secar durante 25 minutos a una temperatura ambiente. Con la finalidad de cambiar la polaridad de la superficie de la suela y lograr así una adhesión apropiada.
9. Adhesión, se aplica un adhesivo en base solvente sobre la suela, para este caso el poliuretano al 3% y se deja secar entre 25 a 30 minutos a temperatura ambiente.
10. Activación, el corte, la capellada y la suela son llevados a un horno que se encuentra a una temperatura de 85°C. Esto se hace con el fin de que el TIC y el adhesivo logren cambiar la polaridad de las superficies.
11. Máquina de prensado, esta máquina ejerce compresión sobre el calzado de manera que se dé una adecuada terminación en cuanto a la adhesión de la suela al corte.
12. Máquina *chiller*, proceso en el que ocurre un cambio de caliente a frío, mediante el uso de un refrigerador líquido, de 85°C a -3°C.
13. Desmolde del zapato.
14. Terminación del calzado.

Figura 2. Proceso de pegado en frío.



Fuente: elaboración propia.

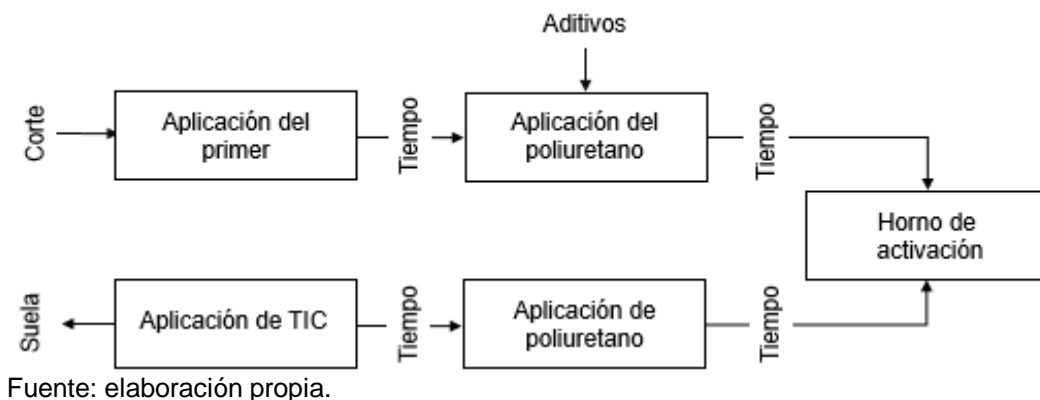
En el proceso de activación se quiere expresar específicamente la preparación del corte y la suela, para que se dé la adhesión.

Proceso de corte, el corte pasa a una aplicación de *primer* (poliuretano de baja viscosidad), este *primer* permite incrementar la energía superficial y protege la superficie del corte contra la acción química y otros procesos medioambientales no deseados, para así lograr un incremento de tiempo entre el tratamiento superficial y la aplicación del halógeno (TIC), una vez terminado la aplicación, el corte pasa por una banda transportadora en la cual tarda un tiempo de 6 o 7 minutos, para llegar a la segunda aplicación de *primer* (poliuretano de alta viscosidad), este tiene como finalidad permitir una alta adhesión y ser resistente al envejecimiento, al culminar este proceso es llevado al horno activador por otra banda transportadora que requiere de un tiempo de 21 minutos.

Proceso de suela, la suela llega con una determinada polaridad al proceso de montaje donde se le aplica un halógeno (ácido tricloroisocianúrico), el método de halogenar la suela produce una oxidación de la superficie lo que crea grupos polares, esto se hace con el fin de que tanto la suela como el corte tengan la misma polaridad y así lograr una buena adhesión, posterior a esto la suela pasa por un secador vertical con un tiempo de 15 minutos, para llegar a la aplicación del *primer* (poliuretano de alta viscosidad) en donde se le aplica a la suela para lograr formar una película de adhesión, una vez completado el proceso de la aplicación del *primer*, la suela es llevada al horno de activación, este lapso tiene un tiempo mayor a 15 minutos.

Al entrar la suela y el corte al horno activador, las propiedades de adhesión se activan a una temperatura de 85 °C por un tiempo de 20 segundos.

Figura 3. Proceso de activación.



Es importante tener en cuenta que, para llevar a cabo un proceso de activación eficaz, la suela y el corte deben tener un tratamiento superficial adecuado, esto se logra mediante el empleo de adhesivos de poliuretano y la halogenación con un

compuesto orgánico. Para el caso de Croydon Colombia S.A, se utiliza poliuretano de alta y baja viscosidad como adhesivo, y el ácido tricloroisocianúrico como compuesto orgánico.

El poliuretano es un adhesivo que se aplica para la unión de elastómeros a fibras y metales, el cual consiste en una disolución de un poliuretano termoplástico (resina) en disolventes orgánicos de tipo cetónico o éster. Este adhesivo se caracteriza por factores como la viscosidad, ya que esta puede variar por la cantidad de resina y disolvente que contenga. Teniendo en cuenta esto, en la empresa se manejan dos clases de poliuretano: de alta y baja viscosidad (donde su empleo depende del tipo de calzado que se quiera producir); el de alta se caracteriza por contener más resina y menos disolvente, mientras que el poliuretano de baja viscosidad se identifica por contener menos resina y más disolvente. También es importante tener presente que para que se dé una unión resistente a la separación, el adhesivo debe ser aplicado tanto para la superficie de la suela de caucho como para la superficie del corte.

El ácido tricloroisocianúrico es un disolvente orgánico dador de cloro de tipo cetónico o éster, este es aplicado sobre la superficie de la suela de caucho con el fin de modificar la química, morfología y energía superficial de esta, de tal manera que se obtengan buenas propiedades de adhesión. Cabe resaltar que para ejecutar este proceso de aplicación de TIC sobre la superficie del material se requiere de un tiempo de secado (6 o 7 minutos), el cual implica un costo adicional para la línea de producción de pegado en frío.

1.2 MATERIA PRIMA

Uno de los ítems más importantes a la hora de llevar a cabo la fórmula para una suela de caucho es elegir la materia prima, la cual consiste en seleccionar adecuadamente los cauchos y los insumos, para asegurar que todos los componentes cumplan con la normativa establecida por Croydon S.A.

1.2.1 Caucho. Son polímeros amorfos formados por macromoléculas que poseen un ligero entrecruzamiento espaciado, lo que les confiere la propiedad de elasticidad. Estos polímeros se caracterizan por:³

- Estirarse rápida y considerablemente bajo tensión, alcanzando altos alargamientos (500-1000%) con pequeña amortiguación.
- Contraerse rápidamente, mostrando el fenómeno de recuperación.
- Recobrar completamente sus dimensiones al liberarse de la tensión, exhibiendo los fenómenos de resiliencia y baja deformación permanente.

³GIRALDO. Alicia. Evaluación de la formulación para una suela de caucho traslúcido a partir de la vulcanización con peróxidos orgánicos para la empresa Croydon Colombia S.A. Ingeniero Químico. Bogotá-Colombia. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería.2018. pag.25- 26.

1.2.2 Caucho natural (NR). El caucho natural es un polímero elástico. Este tipo de polímero se puede definir como un material macromolecular que luego de ser deformado regresa rápidamente a su forma y dimensión inicial, luego de cesar dicho esfuerzo. El caucho natural desde el punto de vista químico, corresponde a la molécula de poliisopreno (nC_5H_8) y el monómero que lo conforma es el isopreno (C_5H_8).⁴

- **Estructura.**

A continuación, se presenta la composición típica del látex de NR.

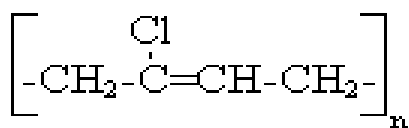
Figura 4. Composición típica del látex de NR.

Contenido de sólidos	36%
Proteínas	1-1.5%
Resinas	1-1.5%
Cenizas	<1%
Azúcares	1%
Agua	Ca.60%

Fuente: RAMOS. Luis y SANCHEZ. Saúl. Vulcanización y Formulación de hules. México. Lumusa, S.A, 1999. 16p. ISBN 968-18-5043-2.

Los constituyentes que forman parte de la molécula de hule, tienen una marcada influencia en las técnicas para procesar el látex y en el proceso de coagulación, así como en las características de vulcanización y de envejecimiento de compuestos de hule natural.⁵

La molécula de NR es la del cis-1,4 poli-isopropeno.



- **Propiedades.**

El hule natural es soluble en hidrocarburos alifáticos y en algunos otros solventes que contengan un parámetro de solubilidad similar al del NR. El NR tiene una temperatura de transición vítrea "Tg" de -73°C . Debido a su estructura regular, el hule natural es capaz de cristalizarse. Así, la temperatura de fusión cristalina "Tm" es de 25°C , y la velocidad de cristalización alcanza su máximo a -25°C , además, la

⁴ PEÑA. Jenny. Evaluación de formulaciones de caucho natural con cargas orgánicas e inorgánicas. Ingeniero Químico. Caracas-Venezuela. Universidad Central de Venezuela.2007. Pág. 20.

⁵ RAMOS. Luis y SANCHEZ. Saúl. Vulcanización y formulación de hules. México: Lumusa, S.A, 1999. 16p. ISBN 968-18-5043-2.

cristalización en el NR puede ser inducida por deformación (extensión). Esto permite que el hule natural exhiba gran resistencia en pruebas de tensión-elongación; lo anterior no sucede con otros hules como en el SBR, que no cristalizan y tienen que ser formulados con negro de humo para alcanzar su alta resistencia.⁶

- **Vulcanización.**

Un sistema típico de vulcanización para hule natural incluye cuatro componentes básicos: azufre, acelerador, activador y ácido graso; estos se utilizan en concentraciones, como se indica a continuación:

Figura 5. Sistema de vulcanización de NR.

	<i>Sistema de vulcanización</i>	
	<i>convencional</i>	<i>eficiente</i>
Hule natural	100 phr	100 phr
Azufre	2.0-3.5	0.4-0.8
Acelerador	1.5-0.5	5.0-2.0
Activador (ZnO)	3-5	3-5
Acido graso (esteárico)	1-2	1-2

Fuente: RAMOS. Luis y SANCHEZ. Saúl. *Vulcanización y Formulación de hules*. México. Lumusa, S.A, 1999. 17p. ISBN 968-18-5043-2.

Los aceleradores varían menormente en sus efectos, pero en un caso típico se requiere aproximadamente de 20 minutos a 140°C para la vulcanización de un compuesto de hule.⁷

1.2.3 Caucho estireno-butadieno (SBR). Los dos monómeros utilizados para producción del SBR (estireno y butadieno) se obtienen a partir del petróleo.

La mayor parte del SBR se obtiene por el método de polimerización en emulsión utilizando radicales libres. Antes de 1950, esta polimerización se llevaba a cabo a 50°C, utilizando persulfato de potasio como indicador, desde entonces se le ha llamado *polimerización en caliente*. A partir de 1950, esta *polimerización* se lleva a cabo también a 5 °C, se usa para un sistema redox como indicador; se le denomina *polimerización en frío*.

Para la polimerización en solución de estireno y butadieno se utilizan catalizadores de alquil-litio.⁸

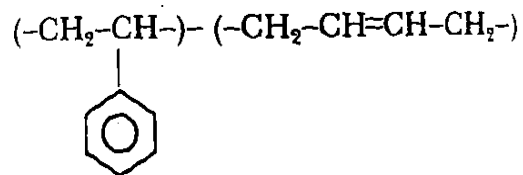
⁶ *Ibíd.*, pag.17.

⁷ *Ibíd.*, pag.17.

⁸ *Ibíd.* pag.21.

- **Estructura.**

La mayoría de los hules estireno-butadieno producidos comercialmente tiene un contenido de estireno alrededor de 23, 5%. Esto equivale a una unidad de estireno por cada seis unidades de butadieno en el copolímero. Sin embargo, la estructura simplificada de SBR se representa de la siguiente manera.⁹



1.2.4 Caucho cloropreno (CR). Los policloroprenos tienen una buena combinación de resistencia a solventes, aceites grasos, así como el calor, al ozono y a la flama; han sido importantes como hules de uso especial durante varios años. Sin embargo, recientemente han tenido cada vez más competencia por parte de otros hules como el etileno-propileno-dieno o EPDM.¹⁰

- **Preparación.**

A nivel comercial, la polimerización se lleva a cabo en emulsión utilizando radicales libres. Típicamente, la polimerización se hace a 40°C utilizando persulfato de potasio y de amonio como indicadores. A una determinada conversión se agrega un agente de transferencia de cadena (como un mercaptano) para detener la reacción.¹¹

- **Estructura.**

Igual que con otros hules, las propiedades de flujo y procesamiento dependen principalmente de la macroestructura, mientras que las propiedades “elastómeras” dependen principalmente de la microestructura.

Durante la polimerización, tiende a ocurrir formación de gel (es decir formación de entrecruzamiento) a una conversión del 30%.

Esto se puede evitar o minimizar, ya sea copolimerizando el cloropreno con una pequeña proporción de azufre para producir algunos enlaces de tipo sulfuro a lo

⁹ Ibid. pag.22.

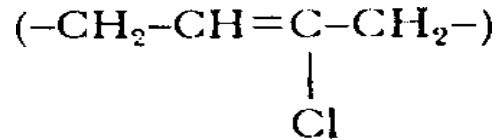
¹⁰ Ibid., pag.63.

¹¹ Ibid., pag.63.

¹¹ Ibid., pag.64

largo de la cadena molecular “-S-” (la molécula de estos copolímeros puede ser degradada mecánicamente con el auxilio de tiuramios para producir moléculas más cortas de menor peso molecular) o utilizando agentes de transferencia de cadena, como un mercaptano.¹²

La estructura básica del CR es:



La presencia de cloro tiene los siguientes efectos principales:¹³

- Aumentar la resistencia del hule hacia los aceites y grasas hidrocarbonadas.
- Aumentar la resistencia a la flama.
- Reduce considerablemente la reactividad química de la doble ligadura y de su alrededor. Como consecuencia, el CR tiene mayor resistencia al oxígeno y al ozono que el NR.

- **Propiedades.**

De esta manera se desprende que las principales propiedades de CR son:¹⁴

- Mejor resistencia al calor que otros hules.
- Muy buena resistencia al oxígeno, al ozono y a la luz solar.
- Buena resistencia a la flama.
- Buena resistencia a los aceites y grasas hidrocarbonadas.
- Alta resiliencia, alta tensión y alta resistencia a la abrasión.
- Mayor contenido de gel.

Los vulcanizantes de copolímeros de cloropreno y azufre son superiores en los siguientes aspectos:¹⁵

- Resistencia al desgarre.
- Resistencia a las tajaduras iniciadas por flexión.
- Mayor adhesión a sustratos de NR y SBR.
- Mayor modulo y dureza.

¹³ Ibid., pag.64

¹⁴ Ibid., pag.65.

¹⁵ Ibid., pag.65.

Los vulcanizados de homopolímeros son superiores en los siguientes aspectos:¹⁶

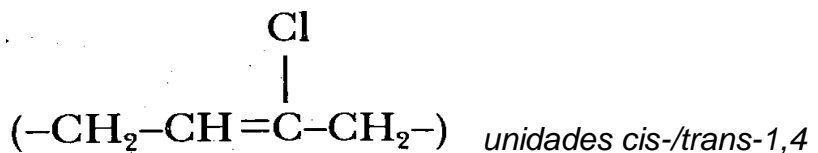
- Mayor tensión.
- Menor deformación permanente (menor *compression set*).
- Mejor resistencia al calor.

- **Propiedades y vulcanización.**

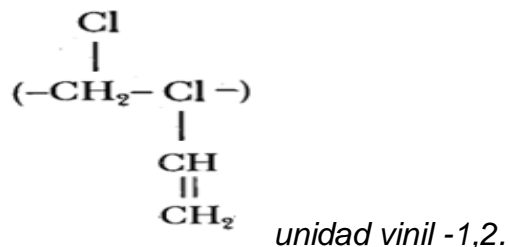
La degradación mecánica de los copolímeros con azufre se puede acelerar con la adición de algunas sustancias conocidas genéricamente como peptizantes. La sustancia peptizante más utilizada es un acelerador del tipo ditiocarbamato (piridina pentametileno ditiocarbamato), en concentraciones desde 0,25 hasta 1,0 PHR. Algunos otros aceleradores (DPG, DOTG O MBTS) se pueden usar como peptizantes; con estos, sin embargo, se puede presentar el problema de la vulcanización prematura o quemado durante el mismo proceso de masticado.¹⁷

- **Sistema de vulcanización.**

El átomo de cloro en la unidad repetitiva cis o trans-1,4,



Desactiva por completo el área alrededor de la doble ligadura (principalmente por impedimento estérico), de modo que esta no se ve involucrada en la reacción de vulcanización. Sin embargo, el átomo de cloro es la unidad repetitiva vinil-1,2.¹⁸



Es un cloro alílico terciario altamente reactivo, es el que interviene en la reacción de vulcanización.

Por lo tanto, un sistema de vulcanización para CR incluye, por lo general, los siguientes componentes.

¹⁶ *Ibid.*, pag.65.

¹⁷ *Ibid.*, pag.66-67.

¹⁸ *Ibid.*, pag.67

Figura 6.Composicion para la vulcanización del CR.

Oxido se zinc
Oxido de magnesio
Acelerador de la reacción de cuadro
Retardador de la reacción de curado

Fuente: RAMOS. Luis y SANCHEZ. Saúl. Vulcanización y Formulación de hules. México. Lumusa, S.A, 1999. 67p. ISBN 968-18-5043-2.

La función de óxido de zinc es precisamente abstraer los átomos de cloro de las unidades vinil-1,2 para promover la formación de entrecruzamiento entre las diferentes cadenas moleculares, a través de puentes de oxígeno (en el caso de los copolímeros) o puentes de azufre (en el caso de los homopolímeros).¹⁹

1.3 FORMULACIÓN DEL CAUCHO

En esta sección se explica la forma de preparación de la fórmula de caucho y los principales tipos de aditivos que se utilizan, por ejemplo, acelerantes, activadores, aceites, entre otras.

1.3.1 Base elastomérica. Está compuesta por diversos tipos de caucho natural, sintético y/o mezclas de ambos, se caracteriza por restablecer su forma original casi en su totalidad después de aplicar una determinada fuerza. La base elastomérica le otorga al producto la propiedad viscoelástica.²⁰

1.3.2 Antioxidantes. Son sustancias químicas capaces de prevenir la degradación por oxígeno del material sobre el que actúa, en el caso de los cauchos, los factores que aceleran la oxidación son, entre otros, el calor, la luz UV, la humedad e iones metálicos, debido a que el caucho se obtiene de sustancias orgánicas y contiene en su mayoría enlaces insaturados, en los cuales el oxígeno puede atacar y provocar efectos adversos. La forma en la que actúan los antioxidantes es atrapando los radicales libres antes de que estos reaccionen con el caucho o evitando la formación de hidroperóxidos antes que estos puedan descomponerse en radicales libres, siendo los últimos usados para proteger al caucho durante su almacenamiento y su procesado.²¹

¹⁹ Ibid., pag.67

²⁰ CASTRO. Lina y PATIÑO. Karen. Evaluación del porcentaje de incorporación del subproducto de caucho crudo (filler) en el proceso de fabricación de la bota de caucho en la empresa Croydon Colombia S.A. Ingeniero Químico. Bogotá-Colombia. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería.2019. pag.29-30.

²¹ HERRERA y PINEDA Opcit pág. 36

1.3.3 Agentes homogeneizantes. Son sustancias que facilitan el proceso de mezclado de todos los aditivos con el caucho, haciendo más rápida la incorporación de los componentes de la formulación. Se encargan de mejorar la dispersión de la carga, las propiedades físicas y la impermeabilidad, son útiles para los casos en los que hay mezcla de elastómeros.²²

1.3.4 Rellenos. Son compuestos que se mezclan con los vulcanizados de goma pura para aumentar sus propiedades mecánicas como rigidez, resistencia al desgarramiento y resistencia a la abrasión, también llamados cargas reforzantes. Existe otro tipo de rellenos que se conocen como cargas inertes o no reforzantes, los cuales no modifican las propiedades del material, pero si son útiles para bajar el costo. Estas cargas se usan también para actuar sobre la calidad y el costo de los compuestos, según la Revista SLT Caucho, es recomendable dosificar las cargas reforzantes a 10 PHR, las semirreforzantes entre 20 y 100 PHR y las inertes a 100 PHR o más en la mezcla.²³

1.3.5 Activadores y retardantes. Según Sánchez y Guzmán, los activadores permiten el aumento de la velocidad de vulcanización al reaccionar con los acelerantes, potenciando su efecto, y al activar el azufre para iniciar la vulcanización. Los activadores más comunes son la combinación del óxido de zinc y el ácido esteárico. Éste último, hace a su vez un papel de lubricante, reduciendo la viscosidad en el mezclado. Los retardantes son utilizados para disminuir la velocidad de vulcanización con el fin de que ésta última se produzca de manera homogénea.²⁴

1.3.6 Lubricantes. Son sustancias que actúan sobre las mezclas con caucho, de manera que mejoran la procesabilidad de compuestos y características de curado. Se caracterizan por tener un bajo punto de fusión, mejorar el mezclado y reducir la pegajosidad de los compuestos. En particular, los ésteres de ácidos grasos estimulan la humectación y la dispersión de los materiales del compuesto. Los principales beneficios que tienen los lubricantes dependen de la etapa de la elaboración de productos de caucho; en el mezclado hay una incorporación de la carga más rápida, mejor dispersión y una viscosidad reducida, en el procesamiento los lubricantes hacen del calandrado y extrusión procesos más rápidos, fáciles y de menor consumo de energía, por último, en el moldeo proporcionan un llenado de la cavidad más rápido a menor presión de operación, ciclos más cortos y una disminución en el ensuciamiento del molde.²⁵

1.3.7 Parafinas cloradas. Las parafinas cloradas son alcanos lineales que se hacen reaccionar con cloro gaseoso para incorporar átomos de este elemento en las cadenas de hidrocarburos. La longitud de su cadena puede variar entre 10 y 30

²² Ibid., pag.37

²³ Ibid., pag.35

²⁴ DUARTE y RIVERA Opcit pág. 31

²⁵ HERRERA y PINEDA Opcit pág. 35

átomos de carbono y el contenido de cloro, medido en peso, entre un 20 y 70% (Schenker, 1979).²⁶

- **Usos y producción.** Las parafinas cloradas tienen múltiples aplicaciones, pero las principales son: plastificantes (para PVC), aditivos para lubricantes de metales que trabajan a alta presión, retardantes de flama y aditivos en pinturas, selladores y adhesivos (WHO, 1996) asimismo, se emplean para la preparación de los licores grasos para el tratamiento del cuero.²⁷
- **Vulcanización.** Es el cambio plástico a elástico de un compuesto elastómero: este proceso le confiere las características finales a un producto.²⁸
- **Agentes vulcanizantes.** Los agentes vulcanizantes son sustancias que llevan a cabo el proceso de vulcanización (también llamado proceso de curado, entrecruzamiento o reticulación). Los más importantes agentes son: azufre, donadores de azufre, sulfuros de tiuramio, peróxidos y algunos óxidos metálicos.²⁹

1.3.8 Azufre. El agente de vulcanización más importante para hules es el azufre elemental. El azufre utilizado para vulcanización debe tener cuando menos una pureza de 99.5%. Además, deberá estar libre de ácidos, ya que este medio retarda la vulcanización. Por otro lado, es esencial una dispersión uniforme del azufre en el compuesto, para una vulcanización uniforme y un vulcanizado con las mejores propiedades mecánicas.³⁰

1.4 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

En este numeral se quiere exponer los métodos y sus equipos para la medición de las propiedades físicas como lo son resistencia a la abrasión, resistencia al desgarrar, resistencia a la flexión, elongación, tensión, dureza y densidad, estas pruebas son fundamentales para la determinación de la conducta de los materiales como lo son las suelas de caucho.

²⁶ FERNANDEZ. Adrián, YARTO. Mario y CASTRO. José. Las sustancias tóxicas persistentes. México. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).2004.142p. ISBN 968-187-703-2

²⁷ *Ibíd.*, pag.142

²⁸ BOLIVAR. Gioluz y CUENCA. María. Evaluación del proceso de pirolisis como alternativa de valorización para la rebaba de caucho en Croydon Colombia S.A. Ingeniero Químico. Bogotá- Colombia. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería.2019. pag.35

²⁹ RAMOS y SANCHZ Opcit pág. 83

³⁰ *Ibíd.*, pag.83

1.4.1 NTC 4811: Caucho determinación de la resistencia a la abrasión del caucho y elastómeros. El método se basa en determinar la pérdida en masa de una probeta hecha del elastómero a ensayar, el cual es desplazado bajo una presión de contacto y una velocidad constante a lo largo de una distancia previamente definida sobre un cilindro en rotación. Para lo anterior, las probetas deben ser de forma cilíndrica con un diámetro de $16 \pm 0,2$ mm y un espesor mínimo de 6 mm. El equipo consiste básicamente de una porta muestra que se desplaza lateralmente y un cilindro giratorio al cual se fija una tela abrasiva como se evidencia en la Figura 4. La fórmula utilizada para determinar la abrasión es la siguiente ecuación:³¹

Ecuación 1. Cálculo de la abrasión.

$$A = \frac{\Delta m * S_o}{\rho * S}$$

Donde:

A= Abrasión en mm^3 .

Δm = Pérdida de masa en mg de la muestra evaluada.

S_o = Grado de abrasión nominal (200 mg).

ρ = Densidad en g/cm^3 de la muestra evaluada.

S= Grado de abrasión real del patrón.

Figura 7. Equipo para la medición de abrasión: abrasímetro.



Fuente: elaboración propia.

Este ensayo permite mantener la apariencia de la suela cuando se roza con otro objeto, lo cual resulta ser una de las propiedades con vital importancia ya que determina parte de calidad de la suela, en cuanto a su durabilidad, al momento de generar fricción contra cualquier superficie.

³¹ HERRERA y PINEDA. Opcit pág. 44

1.4.2 NTC 444. Caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos: determinación de las propiedades de tensión. Para realizar este ensayo se deben tomar muestras del material en forma de corbatín de área transversal uniforme; la medición debe ser hecha en probetas que no han sido tensionadas previamente ya que se basan en el área original de la sección transversal de la probeta. Luego de tener las probetas se posicionan en el dinamómetro y a una velocidad constante y sin interrupción se le aplica una fuerza de tensión hasta que la muestra se fatigue o fracture. La fórmula utilizada para determinar el esfuerzo a la tensión es la siguiente ecuación:³²

Ecuación 2. Cálculo de la fuerza de tensión.

$$T = \frac{F_2}{A_2}$$

Donde:

T = Fuerza de tensión (Pa).

F_2 = Valor de fuerza a la ruptura (N).

A_2 = Área de sección transversal de la probeta (m^2).

Los equipos para realizar esta prueba consisten en el tensiómetro, el cual está provisto por un motor eléctrico capaz de moverse a una velocidad uniforme de separación de mordazas para una distancia de mínimo 750 mm, éste debe tener un dinamómetro y debe indicar o registrar la fuerza aplicada, como también debe tener capacidad para medir la elongación de la probeta en incrementos mínimos del 10%, una cámara de ensayo, troquel y dos mordazas, una de ellas sujeta al tensiómetro. La fórmula utilizada para determinar la elongación es la siguiente ecuación:³³

Ecuación 3. Cálculo de la elongación.

$$E = \frac{(l_f - l_0)}{l_0} * 100\%$$

Donde:

E = Alargamiento o deformación unitaria.

l_f = Longitud de la probeta en un momento determinado (mm).

l_0 = Longitud inicial de la probeta (76mm).

³² GIRALDO. Opcit pág. 36

³³ HERRERA y PINEDA. Opcit pág. 46

Figura 8. Tensiómetro para pruebas de tensión, elongación y resistencia al desgarre.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Probeta para la resistencia a la tensión.



Fuente: elaboración propia.

Es así como se define la propiedad de tensión para una suela, la cual hace parte de las características que se incluyen con mayor frecuencia en las especificaciones de cauchos sintéticos y naturales. Debido a que la tensión requerida para romper una muestra representa la resistencia a la tracción del material, es importante resaltar que este ensayo se realiza con el fin de definir la capacidad de la suela para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo, lo que resulta considerable para aspectos como la durabilidad y la resistencia

1.4.3 NTC 467: Propiedades del caucho determinación de dureza con durómetro. Esta norma describe el método para la determinación de dureza, especificando la medición por indentación de materiales como elastómeros, termoplásticos, caucho vulcanizado, materiales celulares esponjados y microporosos, materiales tipo gel y algunos plásticos. Este método de ensayo está basado en la penetración de un indenter al ser ubicado con una fuerza determinada sobre el material, bajo ciertas condiciones específicas. Las probetas deben ser planas, con un radio de 6 mm tomado desde el punto del penetrador y un espesor mínimo (depende de la profundidad del indenter) de 6 mm.³⁴

Figura 10. Equipo para medición de dureza: durómetro.



Fuente: elaboración propia.

La dureza por indentación esta inversamente relacionada con la penetración y depende del módulo elástico y el comportamiento visco-elástico, las cuales son características fundamentales del material. Este método de ensayo es empírico y está previsto principalmente para propósitos de control. Adicional a esto, esta propiedad se da como una indicación de la rigidez del material, frente a esfuerzos moderados, como lo que frecuentemente ha de soportar una suela de caucho.

1.4.4 Caucho vulcanizado. determinación de densidad. Consiste en determinar la densidad por el método del principio de Arquímedes, que tiene como fundamento que todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta un empuje o fuerza vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

³⁴ Ibíd., pag.48

Figura 11. Equipo para medición de densidad.



Fuente: elaboración propia.

La densidad se da como uno de los mejores indicadores de la composición de un producto (suela de caucho), además de esto es una propiedad importante para el control de calidad de un compuesto de caucho, puesto que garantiza uniformidad al producto final.

1.4.5 NTC 632: Método de ensayo para medir el deterioro del caucho. crecimiento del corte por medio del aparato de flexión de Ross. Esta norma tiene como objetivo especificar el método, para medir al caucho vulcanizado, el crecimiento del corte, mediante la prueba de flexión por doblado repetida. Las probetas tienen forma rectangular con dimensiones de 15 cm de largo, 2.54 cm de ancho y 6 mm de espesor.³⁵

Figura 12. Equipo para medición de resistencia a la flexión: flexómetro.



Fuente: elaboración propia.

Este ensayo brinda un estimado de la capacidad del producto de caucho vulcanizado para resistir el crecimiento de grietas de una probeta perforada sujeta

³⁵ Ibid., pag.50

a flexión por doblado. Lo que quiere decir que es de gran importancia para la aplicación en suelas, ya que determina que tan cuan resistente es el producto final.

1.4.6 NTC 445: Determinación de la resistencia al desgarre del caucho vulcanizado convencional y de elastómeros termoplásticos. La norma tiene como fin establecer los procedimientos para llevar a cabo la medición de la propiedad de resistencia al desgarre de caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos, es decir, una ruptura bajo los esfuerzos a los que se deba someter la pieza en su uso.³⁶

Figura 13. Probeta para la resistencia a la flexión.



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Probeta para la resistencia al desgarre.



Fuente: elaboración propia.

El caucho vulcanizado y los elastómeros termoplásticos con frecuencia presentan una rotura denominada desgarre, que es generada y propagada durante el uso de los mismos. Es por esto que se mide la resistencia a la acción de desgarre, de tal manera que se determine que tan resistente y durable puede llegar a ser el producto final.

1.4.7 Determinación de las fuerzas de adhesión. Este método de ensayo describe la resistencia a la separación de la suela con el corte del zapato. Aplica a todos los tipos de calzado, para los cuales es necesario evaluar la adhesión de la suela sobre el corte.

Para la medición de la fuerza requerida de la suela se implementa un tensiómetro con un registrador continuo de carga con graficador. La muestra es adecuada y colocada en las mordazas de la máquina de tensión, esta debe actuar a una velocidad constante de 100 mm/min \pm 10 mm/min.

³⁶ Ibíd., pag.51

La muestra consta de la parte lateral de la suela-corte del zapato; primero que todo la suela debe ser cardada y adherida al corte, mediante la aplicación de adhesivos como el solvente en base de poliuretano, el ácido tricloroisocianúrico y/o reticulantes. Para el cálculo de esta propiedad se aplica la siguiente ecuación:³⁷

Ecuación 4. Cálculo de adhesión.

$$R = \frac{F}{A}$$

Donde:

R= resistencia de la unión de la suela al corte en N/mm.

F= valor de fuerza a la ruptura en N.

A= área de la pieza de ensayo en mm.

Este ensayo es de gran importancia ya que se desarrolla como una prueba de calidad, la cual demuestra la vida útil del zapato o de un determinado calzado al momento de uso.

1.4.8 Procedimiento interno de Croydon Colombia s.a. para realizar ensayo de reometría. Este procedimiento establece el método para el uso del reómetro, equipo que simula el vulcanizado de una muestra circular de 10 gramos de aproximadamente 4 cm de diámetro y 0.7 cm de espesor o una muestra cuadrada de 3 cm de lado y 1 cm de espesor, compuesta por un material de caucho que proporciona una curva continua de módulo contra tiempo.³⁸

Figura 15. Equipo para medición de reometría: reómetro.



Fuente: elaboración propia.

³⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Método de ensayo para la totalidad del zapato. Adhesión de la suela. NTC 2919. Bogotá. ICONTEC, 2001.

³⁸ *Ibíd.*, pag.57

1.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA SUELA DE CAUCHO PRODUCIDA ACTUALMENTE EN CROYDON COLOMBIA S.A

En esta etapa determinan las propiedades de la suela de caucho fabricada actualmente en la empresa Croydon Colombia S.A., dentro de las que se incluye abrasión, tensión, elongación, rasgadura, dureza, flexión, adhesión y densidad. Para llevar a cabo esto, se realizará mediante la obtención de las probetas y el análisis de los resultados correspondientes, determinando así los límites de aceptación de acuerdo con los valores exigidos por la norma militar NTMD-0090-A4 y los parámetros internos requeridos por la compañía.

Inicialmente se obtuvieron dos tipos de suelas Z-29 y Z-24, las cuales son unas de las más producidas actualmente en la empresa y fueron proporcionadas por la misma. A partir de estas se llevó a cabo la obtención de probetas de ambas suelas, teniendo en cuenta las especificaciones y dimensiones exigidas por la norma técnica colombiana (NTC).

Cabe resaltar que para la medición de la propiedad de adhesión se realizó únicamente con la suela Z-29 con dos cortes sintéticos (negro y gris).

1.5.1 Abrasión (mm³). A partir de los resultados de la Tabla 1, se evidenció que la probeta de la suela Z-29 y de la suela Z-24 se encuentran dentro de los valores permitidos y establecidos, tanto por la norma militar NTMD-0090-A4 como por Croydon Colombia S.A., puesto que estas exigen un valor máximo de abrasión de 170 mm³ y 220 mm³ respectivamente. Así mismo se puede afirmar que la suela Z-29 presenta una mejor abrasión, ya que un valor menor de esta propiedad representa un mínimo desgaste de la suela al momento de rozar con un objeto o con el suelo.

Tabla 1. Abrasión para suelas, con sus valores de referencia.

Probetas	Abrasión (mm ³)	Valor de referencia norma (mm ³)	Valor de referencia interna (mm ³)
Suela Z-29			
1	147.5		
2	135.2		
3	101.1	Máx 170	Máx 220
Promedio	127.93		
Suela Z-24			
1	202.8		
2	163.5		
3	122.3	Máx 170	Máx 220
Promedio	162.87		

Fuente: elaboración propia.

1.5.2 Dureza (Shore A). Comparando los resultados obtenidos con el rango de aceptación planteado por la norma NTMD-0090-A4 de 55 a 65 Shore A, se observa en la Tabla 2 que tanto el promedio de la dureza para la suela Z-29 como para la Z-24 cumplen con lo establecido, además de que se encuentran dentro de los límites de referencia interno de 50 a 70 Shore A. También es posible decir que la suela Z-24 presenta una mayor resistencia que la suela Z-29, lo que quiere decir que cuesta más deformarla plásticamente al momento de aplicar una fuerza.

Tabla 2. Dureza para suelas, con sus valores de referencia.

Probetas	Dureza (Shore A)	Valor de referencia norma (Shore A)	Valor de referencia interna (Shore A)
Suela Z-29			
1	56.4		
2	51.7		
3	57.2	55-65	50-70
Promedio	55.1		
Suela Z-24			
1	53.5		
2	58.2		
3	56.7	55-65	50-70
Promedio	56.13		

Fuente: elaboración propia.

1.5.3 Densidad (g/ml). Para determinar la densidad se implementó el principio de Arquímedes, el cual afirma que “todo cuerpo sumergido en el seno de un fluido, sufre una fuerza ascendente (empuje) cuyo valor es igual al peso del fluido desalojado por el cuerpo”. Al realizar el ensayo se encuentra que todas las probetas de la suela Z-29 y de la suela Z-24 tienen una densidad de 1.08 g/mL y 1.30 g/mL respectivamente, resultados que se pueden observar en la Tabla 3. Con base en estos datos se evidencia que tanto el valor de la suela Z-29 como el de la suela Z-24 se encuentran dentro del rango establecido por Croydon Colombia S.A, el cual corresponde a 0.98-1.35 g/mL. Sin embargo, la densidad obtenida por la suela Z-24 no se encuentra dentro del rango establecido por la norma militar de 1.08-1.18 g/mL, esto se puede dar por el caucho sintético y los aditivos que se utilizan para la fabricación de esta suela, puesto que son diferentes a los que se implementan en la suela Z-29, y que difieren dependiendo del tipo de calzado que se quiera producir.

Tabla 3. Densidad para suelas, con sus valores de referencia.

Probetas	Densidad (g/ml)	Valor de referencia norma (g/ml)	Valor de referencia interna (g/ml)
Z-29	1.08	1.08-1.18	0.98-1.35
Z-24	1.3	1.08-1.18	0.98-1.35

Fuente: elaboración propia

1.5.4 Rasgadura (N/m). En la Tabla 4 se evidencia el valor de rasgado y carga máxima de la suela Z-29 y Z-24, los cuales corresponden a 22210.15 N/m y 22391.85 N/m respectivamente, valores que no cumplen con los estándares internos de la empresa, los cuales para suelas deben ser mayores a 24500 N/m para el esfuerzo de rasgado.

Teniendo en cuenta que este ensayo mide la resistencia del caucho bajo esfuerzos físicos, hasta que se genere o propague una laceración del material, y que una suela de caucho para calzado no está expuesta a tales esfuerzos, se puede decir que hay suelas de caucho que presentan esfuerzos al rasgado menores a los valores propuestos por la compañía.

Tabla 4. Rasgadura para suelas, con sus valores de referencia.

Probetas	Carga máxima (N)	Valor de referencia interna (N)	Esfuerzo al rasgado (N/m)	Valor de referencia interna (N/m)
Suela Z-29				
1	48.84		21929.46	
2	45.31	Mín. 55	19116.67	Mín. 24500
3	56.98		25584.33	
Promedio	50.37		22210.15	
Suela Z-24				
1	55.62		24516.62	
2	52.14	Mín. 55	23045.63	Mín. 24500
3	46.34		19613.3	
Promedio	51.37		22391.85	

Fuente: elaboración propia.

1.5.5 Tensión (Mpa). La Tabla 5 expone que el valor promedio de tensión obtenido por la suela Z-29 y por la suela Z-24 (9.32 y 9.01 respectivamente) no cumplen con lo establecido internamente (mínimo 9.35 MPa). Esto se debe a que las suelas no son expuestas a fuerzas de tensión durante el procesamiento.

Tabla 5. Tensión para suelas, con sus valores de referencia.

Probetas	Carga máxima (N)	Valor de referencia interna (N)	Tensión (MPa)	Valor de referencia interna (MPa)
Suela Z-29				
1	89		9.05	
2	78	Mín 120	9.50	Mín 9.35
3	79		9.42	
Promedio	82		9.32	
Suela Z-24				
1	109		9.48	
2	92	Mín 120	8.59	Mín 9.35
3	124		8.96	
Promedio	108		9.01	

Fuente: elaboración propia.

1.5.6 Elongación (%). De acuerdo a la Tabla 6, el dato de referencia establecido por la empresa, para la propiedad de elongación en suelas, es de mínimo 940%, el resultado promedio de las mediciones para la suela Z-29 y para la suela Z-24 (354% y 391% respectivamente) no cumplen con este criterio, puesto que las suelas en su procesamiento son expuestas al moldeo por compresión mas no a este tipo de deformación, el cual está directamente relacionado con el estiramiento.

Tabla 6. Elongación para suelas, con sus valores de referencia.

Probeta	Elongación en máximo (%)	Valor de referencia interna (%)
Suela Z-29		
1	344	
2	394	Mín 940
3	324	
Promedio	354	
Suela Z-24		
1	349	
2	404	Mín 940
3	420	
Promedio	391	

Fuente: elaboración propia.

1.5.7 Flexión (mm). En base a los resultados obtenidos de flexión por la suela Z-29 y suela Z-24 se puede afirmar que estos se encuentran por debajo del límite máximo propuesto por Croydon Colombia S.A. Adicional a esto, se observa en la Tabla 7 que la suela Z-29 presenta un valor menor que la suela Z-24, esto quiere decir que tiene una mejor resistencia a la flexión ya que el corte realizado en la parte media de la probeta obtuvo un crecimiento mínimo a los 150000 ciclos de flexión.

Tabla 7. Flexión para suelas, con sus valores de referencia.

Probetas	Ciclos de flexión	Resistencia a la flexión (mm)	Valor de referencia norma (mm)	Valor de referencia interna (mm)
Suela Z-29	150000	4	Máx 15 a	Máx 15 a
Suela Z-24	150000	5	200000 ciclos de flexión	150000 ciclos de flexión

Fuente: elaboración propia.

1.5.8 Adhesión (kgf/cm). A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 8 se puede decir que la suela Z-29 no cumple con el valor establecido de la norma interna, esto se debe a los errores de medición que se presentan al momento de la realización de la prueba de adhesión.

Para este caso los errores de medición se pueden presentar por dos motivos, los cuales corresponden al tipo de material y al modelo de suela que se emplee. Ya que ambos pueden variar dependiendo del calzado que se esté produciendo o fabricando. En el caso de la línea de pegado en frío, los materiales más utilizados para la fabricación del calzado corresponden al sintético negro y gris. Estos difieren en cuanto a su composición, puesto que el sintético gris consta de una microfibras y una película plástica mientras que el sintético negro presenta un recubrimiento de PVC. Además, en esta línea de producción las suelas empleadas se diferencian por su composición, dado que varía dependiendo del tipo de calzado que se quiera elaborar (deportivo, casual, convencional, entre otros).

Tabla 8. Adhesión para suelas, con sus valores de referencia.

Probetas	Adhesión (kgf/cm)	Valor de referencia interna
Suela Z-29 con sintético negro		
1	C.S*	Mín 2.50
2	C.S	
Suela Z-29 con sintético gris		
1	1.79	Mín 2.50
2	2.67	
3	1.51	
Promedio	2.05	

Fuente: elaboración propia.

*Nota: C.S indica que los materiales adheridos entre si presentan desgarre y no despegue entre ellos. Los valores obtenidos presentaron de laminación total del acabado del sintético sobre la superficie del caucho.

1.5.9 Análisis de la caracterización de las propiedades de la suela de caucho producida actualmente en Croydon Colombia S.A. Con base en los datos obtenidos, se detalló el cumplimiento de las suelas elaboradas actualmente en la empresa, con respecto a los valores de referencia establecidos por la norma militar como por la compañía Croydon Colombia S.A. De estos datos se logró observar que algunos resultados obtenidos de la suela Z-29 y suela Z-24 son aceptables para la empresa, ya que los parámetros de aceptación planteados por la compañía son más adaptables que los propuestos por la norma militar, puesto que esta última se fundamenta en requisitos para productos con un uso específico, por lo que, al momento de requerir el cumplimiento de esta, generaría un aumento en costos de materia prima y procesamiento. A su vez se determinó que la suela Z-29 presenta mejores resultados de calidad que la suela Z-24, esto se debe al tipo de zapato en el que se emplee cada una, ya que la suela Z-29 es fabricada especialmente para el calzado del ejército o calzados deportivos y presenta componentes mejores y diferentes que la suela Z-24, la cual es utilizada principalmente para zapato común (más utilizado en calle).

De igual forma también se encontraron propiedades que no cumplen con las especificaciones como lo es la rasgadura, tensión y elongación, esto se debe a que estas propiedades no son aplicables para suelas, pero aun así son evaluadas para detallar más a fondo el comportamiento que puede llegar a tener una suela de caucho estándar en la compañía.

A continuación, se observa un análisis gráfico en cuanto a los resultados obtenidos por la suela Z-29 y suela Z-24.

Tabla 9. Cumplimiento formula base según valores de referencia.

Propiedad	Suela	Promedio	Norma militar	Promedio	Croydon Colombia S. A
Abrasión	Z-29	127.93	✓	127.93	✓
	Z-24	162.87	✓	162.87	✓
Dureza	Z-29	55.1	✓	55.1	✓
	Z-24	56.7	✓	56.7	✓
Densidad	Z-29	1.07	✓	1.07	✓
	Z-24	1.3	✓	1.3	✓
Rasgadura	Z-29	N/A	N/A	50.37	X
	Z-24	N/A	N/A	51.37	X
Tensión	Z-29	N/A	N/A	9.32	X
	Z-24	N/A	N/A	9.01	X
	Z-29	N/A	N/A	354	X
Elongación	Z-24	N/A	N/A	391	X
Flexión	Z-29	4	✓	4	✓
	Z-24	5	✓	5	✓
Adhesión	Z-29/S.N	N/A	N/A	C.S	X
	Z-29/S.G	N/A	N/A	2.05	X

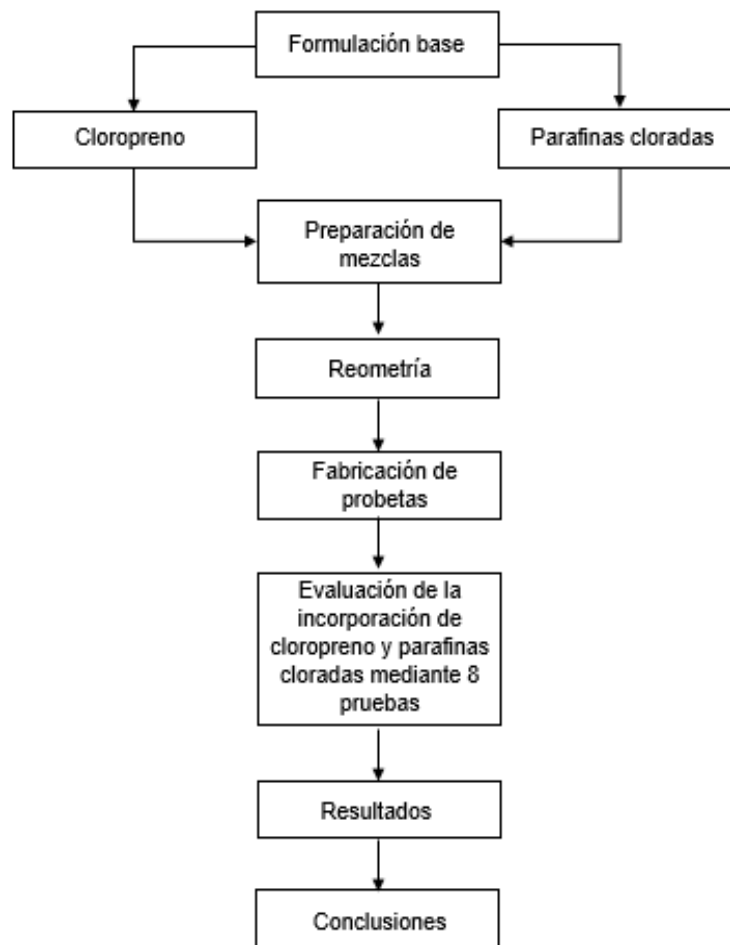
Fuente: elaboración propia.

2.EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE CLOROPRENO Y PARAFINAS CLORADAS EN LA ELABORACIÓN DE LA SUELA DE CAUCHO

En este apartado se describe la metodología utilizada en el desarrollo experimental, la cual se puede observar en la Figura 16 con lo anterior se busca realizar las expectativas planteadas de ésta. El diagrama muestra las etapas de experimentación, comenzando con la formulación base la cual es modificada con cloropreno y parafinas cloradas, posterior a esto se preparan las seis mezclas a las cuales se les realiza la prueba de reometría (tiempo de vulcanización).

Como parte final se lleva a cabo la fabricación de las probetas ya acondicionadas para las pruebas requeridas y se les realiza su respectivo análisis.

Figura 16. Diagrama del desarrollo experimental.



Fuente: elaboración propia.

Con lo antes mencionado se determinó las concentraciones, incorporando cloropreno y parafinas cloradas en la fórmula MB base suela brindada por la empresa. Para esto se estableció como variable independiente las concentraciones de cloropreno y parafinas cloradas en la formulación y como variables dependientes las propiedades físico-mecánicas y químicas.

Tabla 10. Formulación base elastomérica para suela.

Fórmula base elastomérica para suela	
Grupo	PHR
Caucho natural (CN)	69.231
Caucho sintético (SBR)	30.769
Aceite	4.615
Antioxidantes	3
Activadores	9.385
Relleno	78.461
Sistema de vulcanización	3.7
Ayuda de proceso	5

Fuente: elaboración propia.

2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para la elaboración de la experimentación se tiene en cuenta las cantidades de PHR que se van a modificar o añadir en la formulación base empleado como referencia el libro de Ramos y Sánchez. *vulcanización y formulación de hules*.³⁹, el cual brinda información de la dosificación recomendada de cloropreno y parafinas cloradas que va entre un rango de 5 a 15 PHR. Por tal razón se tomaron tres composiciones de cloropreno y parafinas cloradas de 5, 10 y 15 PHR, obteniendo así seis mezclas en total para realizar la experimentación.

En cuanto a las tres formulaciones o mezclas de cloropreno, se realizó la modificación de la fórmula MB base suela sustituyendo el caucho sintético (SBR) por caucho cloropreno (CR) puesto que para la elaboración de la suela se tiene en cuenta una base elastomérica, la cual se basa solo en dos tipos de caucho: natural y sintético; ya que este tipo de combinación da una mejor propiedad visco-elástica, es decir, que recuperan su forma original después de aplicar una fuerza sobre ésta.

Por otro lado, se le añadió a la formulación base parafinas cloradas, las cuales proporcionan flexibilidad, retardancia a la flama y adhesión a la suela ya que es un aditivo. Por lo anterior se obtuvieron las siguientes formulaciones.

³⁹ RAMOS y SANCHEZ Opcit pág. 60-70.

Tabla 11. Formulación base elastomérica con 5 PHR de cloropreno.

No. de mezcla 1	
Grupo	PHR
Caucho natural (CN)	69.231
Caucho cloropreno (CR)	5
Aceite	4.615
Antioxidantes	3
Activadores	9.385
Rellenos	78.461
Sistema de vulcanización	3.7
Ayudas de proceso	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Formulación base elastomérica con 10 PHR de cloropreno.

No. de mezcla 2	
Grupo	PHR
Caucho natural (CN)	69.231
Caucho cloropreno (CR)	10
Aceite	4.615
Antioxidantes	3
Activadores	9.385
Rellenos	78.461
Sistema de vulcanización	3.7
Ayudas de proceso	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Formulación base elastomérica con 15 PHR de cloropreno.

No. de mezcla 3	
Grupo	PHR
Caucho natural (CN)	69.231
Caucho cloropreno (CR)	15
Aceite	4.615
Antioxidantes	3
Activadores	9.385
Rellenos	78.461
Sistema de vulcanización	3.7
Ayudas de proceso	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Formulación base elastomérica con 5 PHR de parafinas cloradas.

No. de mezcla 4	
Grupo	PHR
Caucho natural (CN)	69.231
Caucho sintético (SBR)	30.769
Aceite	4.615
Antioxidantes	3
Activadores	9.385
Rellenos	78.461
Sistema de vulcanización	3.7
Ayudas de proceso	5
Parafina clorada	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Formulación base elastomérica con 10 PHR de parafinas cloradas.

No. de mezcla 5	
Grupo	PHR
Caucho natural (CN)	69.231
Caucho sintético (SBR)	30.769
Aceite	4.615
Antioxidantes	3
Activadores	9.385
Rellenos	78.461
Sistema de vulcanización	3.7
Ayudas de proceso	5
Parafina clorada	10

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Formulación base elastomérica con 15 PHR de parafinas cloradas.

No. de mezcla 6	
Grupo	PHR
Caucho natural (CN)	69.231
Caucho sintético(SBR)	30.769
Aceite	4.615
Antioxidantes	3
Activadores	9.385
Rellenos	78.461
Sistema de vulcanización	3.7
Ayudas de proceso	5
Parafina clorara	15

Fuente: elaboración propia.

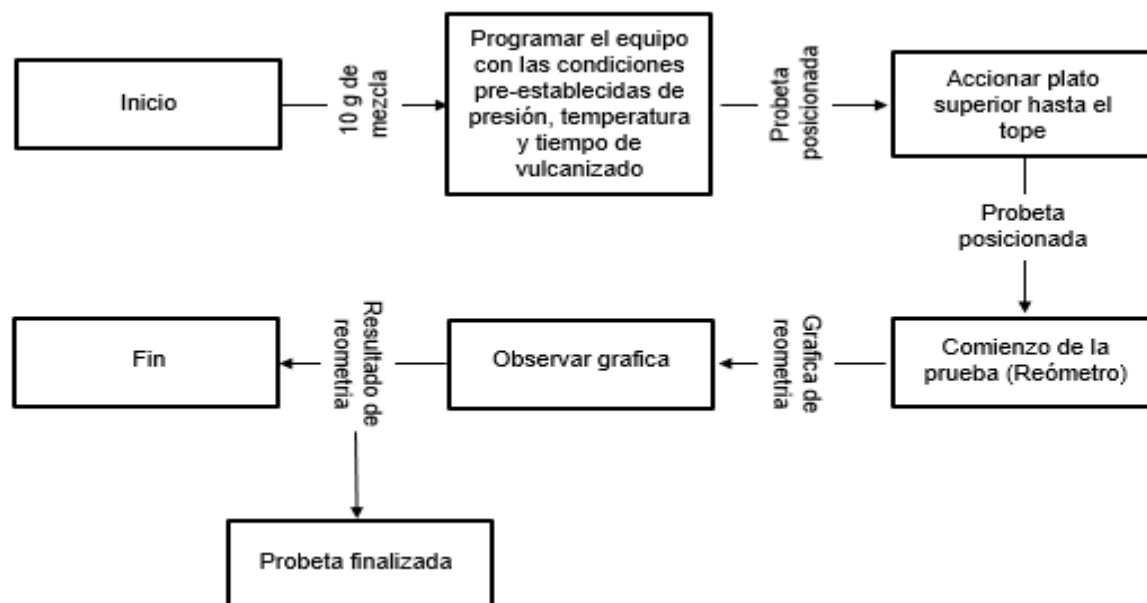
2.1.1 Elaboración de las probetas para la experimentación. Las sustancias químicas utilizadas en la fórmula base suela y sus respectivas cantidades, fueron establecidas con en base los fundamentos prácticos de Croydon Colombia S.A., de igual manera las composiciones recomendadas de algunos aditivos, de cloropreno y parafinas cloradas fueron establecidos de acuerdo al libro de Ramos y Sánchez, vulcanización y formulación de hules.⁴⁰

Para la realización de las ocho pruebas físico-mecánicas y químicas las cuales son: abrasión, dureza, densidad, rasgadura, tensión, elongación, flexión y adhesión, se desarrolló un duplicado por cada una exceptuando la flexión y adhesión debido a que son pruebas que requiere un tiempo de tres días. La densidad se determinó por el principio de Arquímedes y se mantiene constante.

2.1.1.1 Reometría. El procedimiento para determinar este ensayo en las formulaciones de cloropreno y parafinas cloradas se observa en el siguiente diagrama:

⁴⁰ RAMOS y SANCHEZ Opcit pág. 60-70.

Figura 17. Diagrama para obtención de la prueba de reometría.



Fuente: elaboración propia.

En la prueba de reometría, los resultados obtenidos de las seis mezclas se muestran en la Tabla 17 en donde se tomaron dos tiempos, el tiempo *scorch* (2%) y el tiempo óptimo de vulcanización (90%), a partir de eso se estableció un tiempo estándar de 12 minutos a una temperatura de 150°C con una presión de 16-psia. (Anexo A).

Tabla 17. Tiempo de vulcanización formulaciones basadas en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

No. de muestra	ML(Lbf/in)	MH(Lbf/in)	t2%(min)	t90%(min)
Suela estándar	18	40	2.86	4.65
1	1.10	5.52	2.61	3.5
2	0.35	20	1.95	3.25
3	0.5	44.1	1.32	2.1
4	0.38	22.4	2.86	4.6
5	2.15	21.35	3.25	5.72
6	2.2	19.4	3.5	5.5

Fuente: elaboración propia.

2.1.2 Evaluación de propiedades físicas y mecánicas. En esta sección se presentarán los resultados de las mediciones de las propiedades físicas y mecánicas para las seis formulaciones propuestas, a las tres composiciones recomendadas y seleccionadas (5, 10 y 15 PHR).

Los datos obtenidos de las seis mezclas se encuentran consignados en las Tablas (18-24) donde se muestra las réplicas realizadas con sus respectivos promedios.

2.1.2.1 Abrasión (mm³).

Tabla 18. Abrasión, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Abrasión (mm³)			
Valor de referencia norma: Máx 170			
Valor de referencia interna: Máx 220			
Mezclas	Cloropreno	Mezclas	Parafinas cloradas
1	352.17	4	269.17
	354.49		270.36
Promedio	353.33	Promedio	269.765
2	312.24	5	267.65
	307.61		277.53
Promedio	309.925	Promedio	272.59
3	300.81	6	289.33
	312.63		276.82
Promedio	306.72	Promedio	283.075

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.2 Dureza (Shore A).

Tabla 19. Dureza, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Dureza (Shore A)			
Valor de referencia norma: 55- 65			
Valor de referencia interna: 50-70			
Mezclas	Cloropreno	Mezclas	Parafinas cloradas
1	67.66	4	66.6
	71.8		67.23
Promedio	69.73	Promedio	66.91
2	72.9	5	64.45
	77.55		63.4
Promedio	75.22	Promedio	63.92
3	74.36	6	62.7
	74.6		58.03
Promedio	74.48	Promedio	60.36

Fuente: elaboración propia

2.1.2.3 Elongación máxima (%).

Tabla 20. Elongación máxima, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Elongación máxima(%)			
Valor de referencia interna: Mín 940			
Mezclas	Cloropreno	Mezclas	Parafinas cloradas
1	497	4	443
	451		424
Promedio	474	Promedio	433.5
2	444	5	440
	443		503
Promedio	443.5	Promedio	471.5
3	461	6	363
	477		359
Promedio	469	Promedio	361

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.4 Tensión (Mpa).

Tabla 21. Tensión, formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Tensión (Mpa)			
Valor de referencia interna: Mín 9.35			
Mezclas	Cloropreno	Mezclas	Parafinas cloradas
1	12.31	4	11.67
	9.83		12.18
Promedio	11.07	Promedio	11.92
2	12.95	5	10.67
	11.96		13.4
Promedio	12.45	Promedio	12.03
3	12.4	6	12.28
	13.85		10.37
Promedio	13.13	Promedio	11.33

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.5 Rasgadura (N/m).

Tabla 22. Rasgadura para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Rasgadura (N/m)			
Valor de referencia interna: Mín 24500			
Mezclas	Cloropreno	Mezclas	Parafinas cloradas
1	15958.09	4	50000
Promedio	16279.80	Promedio	35319.15
2	16118.94	5	42659.57
Promedio	21531.40	Promedio	43283.58
3	21377.46	6	47528.52
Promedio	21454.43	Promedio	45406.05
	19976.49		42682.93
	20108.26		38695.65
Promedio	20042.37	Promedio	40689.29

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.6 Densidad (g/ml).

Tabla 23. Densidad para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Densidad (g/ml)	
Valor de referencia norma: 1.08-1.18	
Valor de referencia interna: 0.98-1.35	
Mezcla cloropreno	Mezcla parafinas cloradas
1.3	1.25

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.7 Flexión (mm).

Tabla 24. Flexión para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Flexión (mm)		
Valor de referencia norma: Máx 15 a 200000 ciclos de flexión		
Valor de referencia interna: Máx 15 a 150000 ciclos de flexión		
Mezclas	Ciclos de flexión	Resistencia a la flexión
Cloropreno		
1	50000	Rotura total
2	50000	Rotura total
3	50000	Rotura total
Parafinas cloradas		
4	50000	Rotura total
5	70000	Rotura total
6	90000	Rotura total

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.8 Adhesión (kgf/cm).

Tabla 25. Adhesión para la formulación basada en 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.

Adhesión (kgf/cm)			
Valor de referencia interna: Mín 2.50			
Sintético negro			
Mezclas	Cloropreno	Mezclas	Parafinas cloradas
1	3.36	4	2.58
2	3.37	5	3.01
3	6.9	6	4.88
Sintético gris			
Mezclas	Cloropreno	Mezclas	Parafinas cloradas
1	3.99	4	2.64
2	3.07	5	3.12
3	3.57	6	2.15

Fuente: elaboración propia.

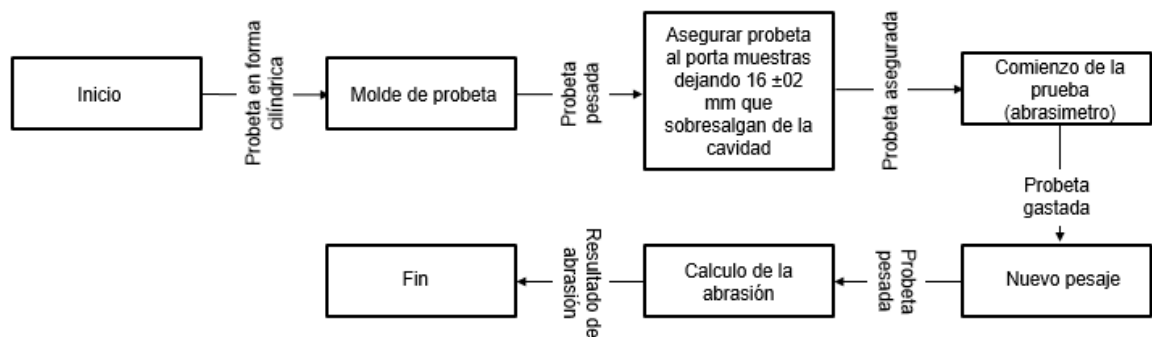
* Nota: las altas fuerzas de adhesión producen ruptura del corte durante el ensayo.

2.1.3 Análisis e interpretación de resultados. En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos de las formulaciones basadas de cloropreno y parafinas cloradas en las tres composiciones (5, 10 y 15 PHR), para las ocho propiedades anteriormente mencionadas.

Para llevar a cabo un análisis e interpretación de forma más clara, se realizaron tablas de las pruebas con sus respectivos promedios y duplicados y ocho gráficas mostrando el comportamiento de las mismas.

2.1.3.1 Abrasión (mm³). El método para determinar esta propiedad en las formulaciones de cloropreno y parafinas cloradas se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 18. Obtención de la prueba de abrasión.



Fuente: elaboración propia.

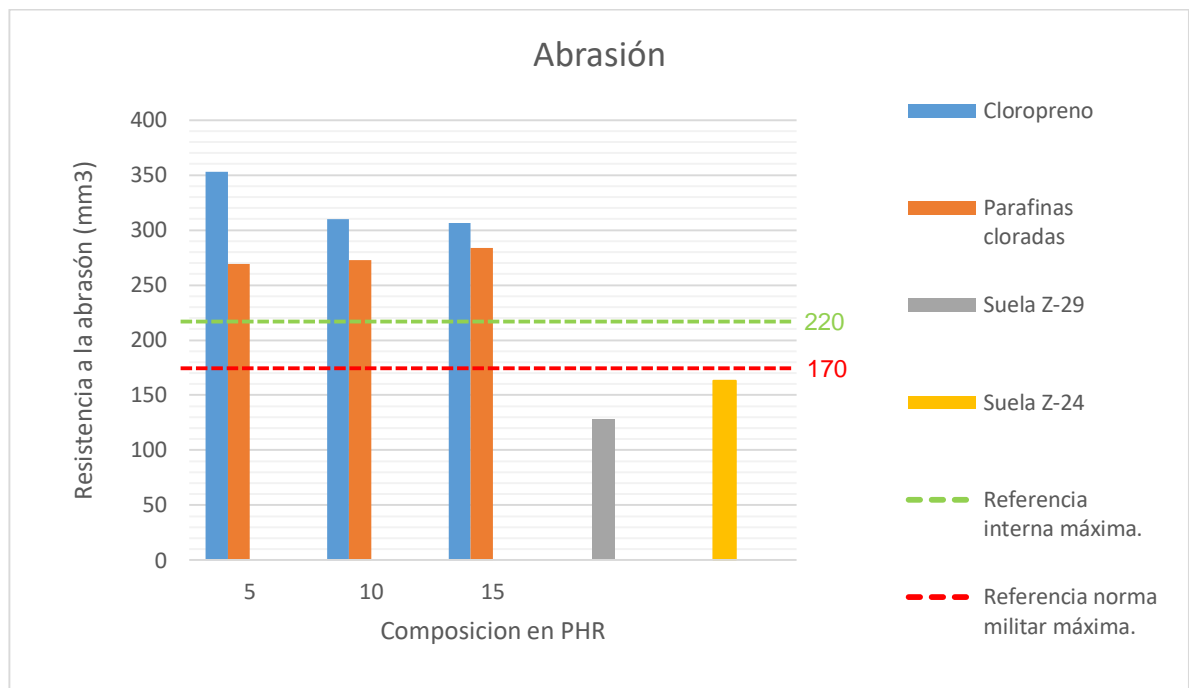
Para el análisis del comportamiento y durabilidad de esta propiedad se parte de los valores establecidos por los límites de norma militar como de la compañía, las cuales establecen 170 mm³ y 220 mm³ respectivamente.

En la Gráfica 1 se evidenció que las seis mezclas sobrepasan los límites de aceptación de la norma militar y de la compañía, esto quiere decir que presenta una mayor pérdida del material, y por tal razón un mayor desgaste de la suela.

En cuanto a las tres mezclas de cloropreno se puede observar que al disminuir las cantidades de cloropreno en la fórmula aumenta el índice de abrasión, lo que significa que la vida útil de este compuesto es más baja, por lo que esta propiedad es inversamente proporcional a la cantidad de cloropreno.

Por otro lado, las tres mezclas de parafinas cloradas muestran que, a menor cantidad de ésta, se tiene cercanía a la norma interna de la compañía. A pesar de ello, no se tiene resistencia a la erosión causada por el raspado, frotamiento y otros tipos de desgaste mecánico.

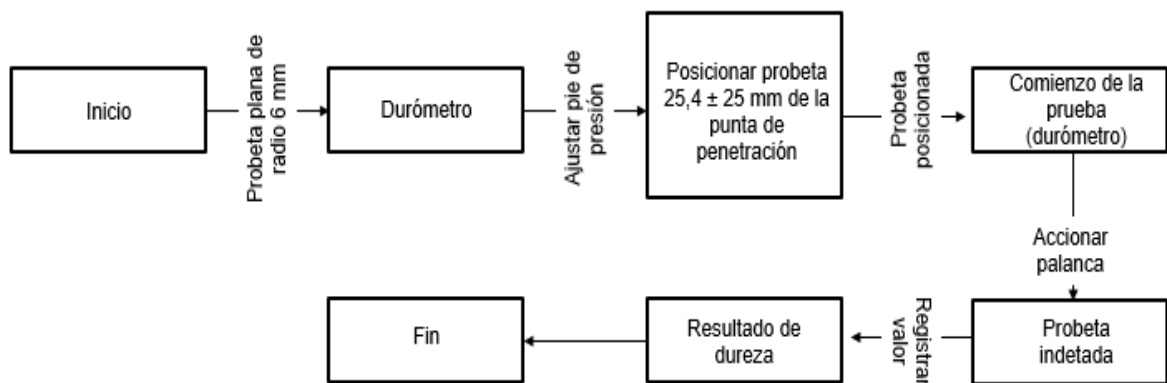
Gráfica 1. Resultados de abrasión de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.2 Dureza (Shore A). El siguiente proceso sirve para calcular la dureza en las formulaciones de cloropreno y parafinas coloradas el cual se muestra a continuación.

Figura 19. Obtención de la prueba de dureza.



Fuente: elaboración propia.

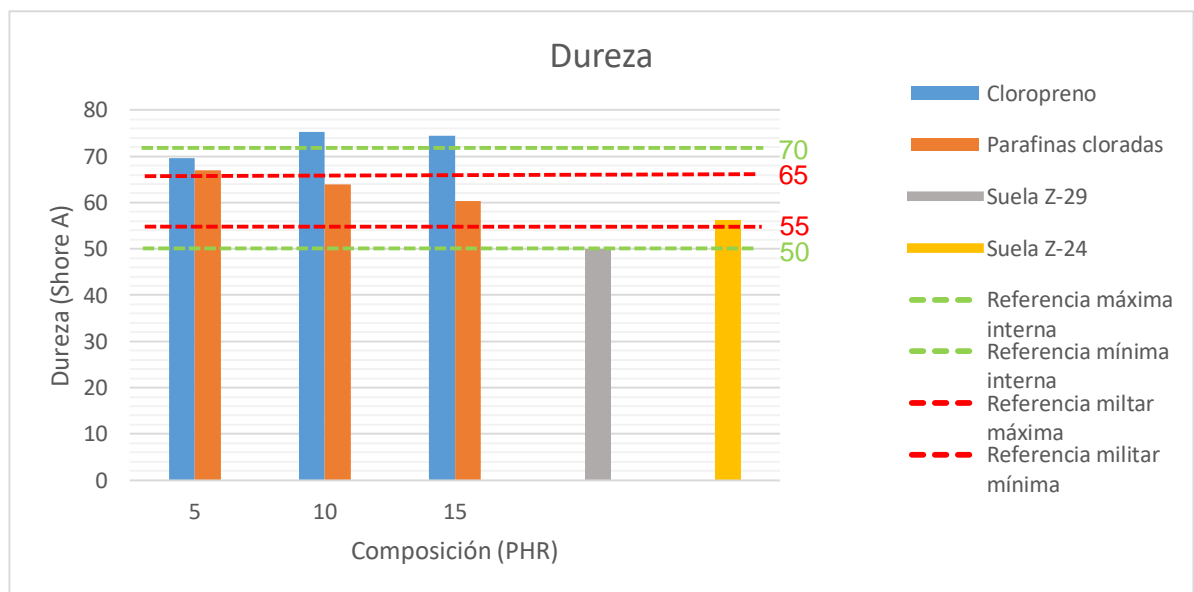
La dureza es uno de los factores que permite la caracterización de la suela, mediante el módulo de elasticidad, es decir que esta indica la rigidez que presenta el material frente a esfuerzos moderados. En la Tabla 2 se especifican los valores de referencia de la norma militar (55 a 65 Shore A) y de la compañía Croydon Colombia S.A (50 a 70 Shore A).

En la Gráfica 2 se puede observar que de las tres formulaciones de cloropreno solo la mezcla No.1 se encuentra en el rango de la referencia de la compañía. En cuanto a la referencia militar las tres mezclas tuvieron el comportamiento más desfavorable debido a que sobrepasan el límite establecido, es importante resaltar que la suela con estos valores de dureza no aplica para el calzado en pegado en frío.

Las tres formulaciones de parafinas cloradas presentan el mejor comportamiento en cuanto a la referencia interna de la compañía. Las mezclas No. 5 y No. 6 entran en la categoría de la referencia de la norma militar. Respecto a la formulación No.4 de parafinas cloradas en la Gráfica 2 se puede analizar que sobrepasa el límite de la norma militar, ya que obtuvo un valor promedio de 66.91 Shore A; cabe distinguir que no es un valor alejado al rango establecido por la norma.

A su vez se tiene en cuenta que, a menor cantidad de parafinas cloradas, se obtiene mayor dureza. Las tres mezclas pueden ser utilizadas en una amplia gama de tipos de calzado.

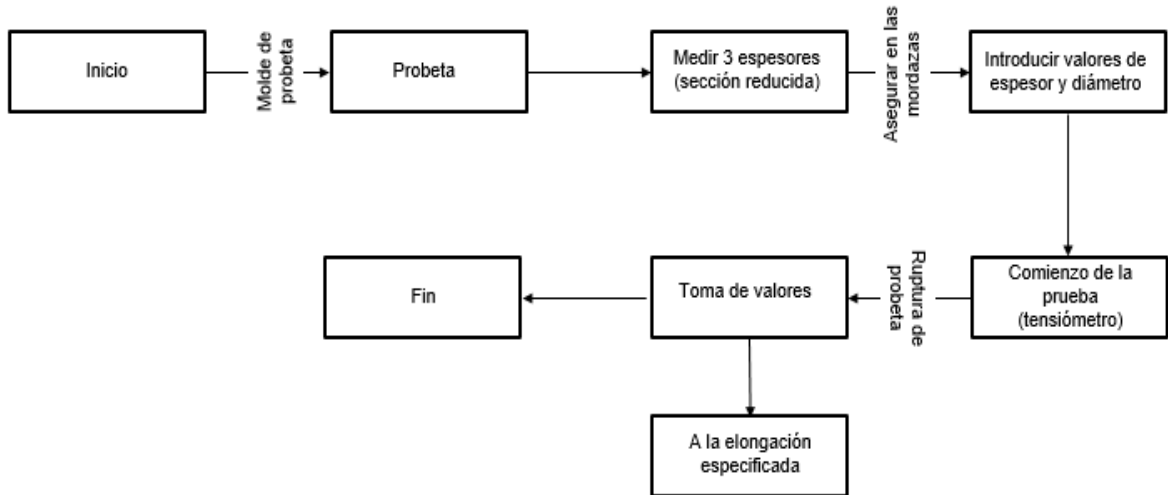
Gráfica 2. Resultados de dureza de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.3 Tensión (Mpa) y Elongación máxima (%). A continuación, se indica el procedimiento para la obtención de la prueba de tensión y elongación máxima de las formulaciones de cloropreno y parafinas cloradas.

Figura 20. Obtención de la prueba de tensión y elongación.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.3.1 Elongación máxima (%). Durante el procesamiento, la suela de caucho es tratada bajo procesos de moldeo y/o inyección, en los que influye la presión y temperatura; teniendo en cuenta esto, se afirma que la suela no es sometida a deformaciones de estiramiento, lo que quiere decir que no se requieren valores altos de elongación. A partir de lo anterior, los resultados obtenidos por parte de la mezcla de cloropreno y parafinas cloradas presentan valores bajos (debajo del mínimo de 940%).

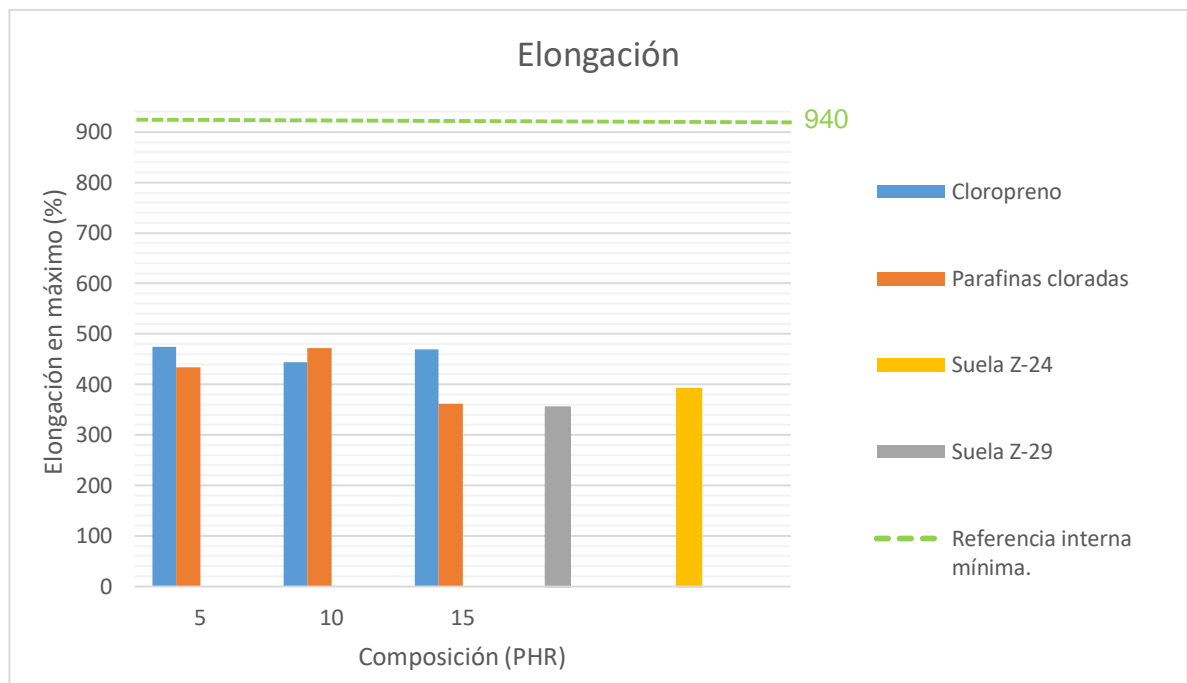
Por otro lado, los valores obtenidos tanto por las mezclas de cloropreno como por las de parafinas cloradas son mayores a los obtenidos por la suela estándar (Z-29 y Z-24), esto quiere decir que las mezclas propuestas para suelas presentan mejor resistencia al ser sometidas a una deformación de estiramiento.

Dentro de las seis mezclas propuestas, la mezcla No. 1 con cloropreno y No. 5 con parafina clorada fueron las que tuvieron los valores más altos de porcentaje de elongación (474% y 471.5%).

Al analizar el Gráfico 3 se logra observar que, para las formulaciones propuestas, no se presenta ninguna relación clara entre la variación de la cantidad de cloropreno y parafina clorada en las mezclas y el valor de elongación, ya que, al incrementar las cantidades de cloropreno y parafina clorada, los valores de la propiedad evaluada no muestran la misma tendencia.

En base a esto, se puede decir que este comportamiento se ve influenciado por los agentes o cargas reforzantes, ya que estas tienen influencia profunda en las características de procesabilidad y en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.

Gráfica 3. Resultados de elongación de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.3.2 Tensión (Mpa). La tensión representa la fuerza que se ejerce sobre la muestra, al ser sometida a un estiramiento, respecto al área de la misma. Esta propiedad mide la resistencia a la tracción del material, por lo que entre mayor sea el valor de ésta, mejor es la resistencia de dicho material.

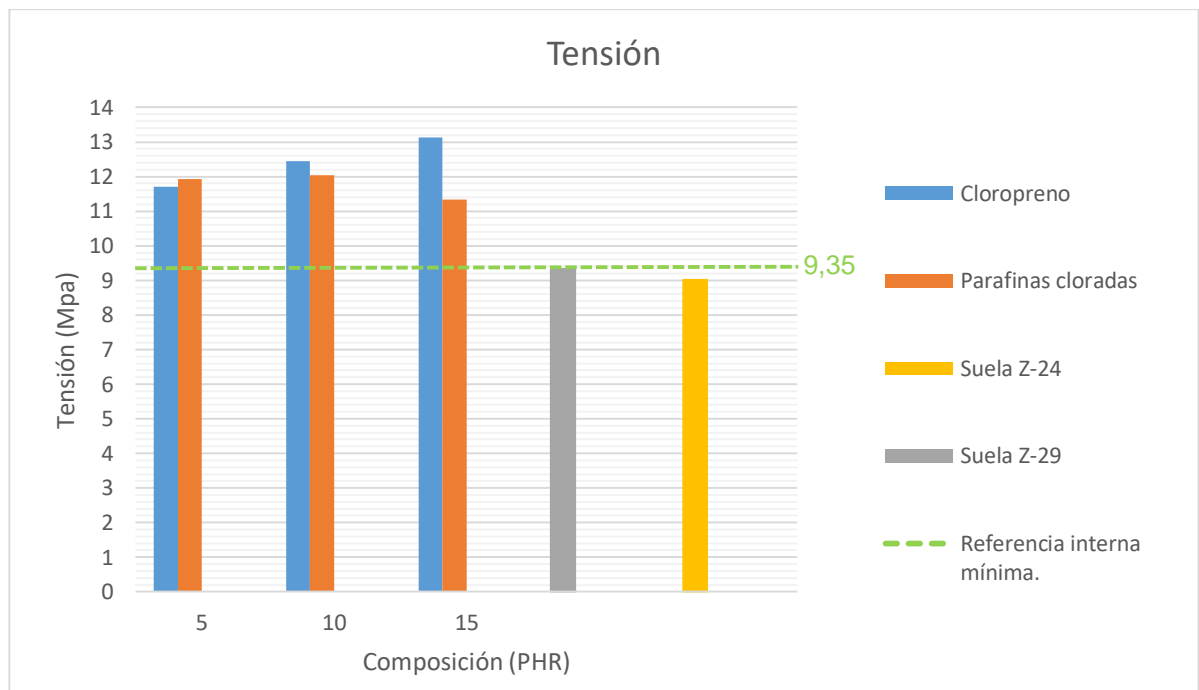
Teniendo en cuenta lo anterior y que la suela de caucho no es sometida a un esfuerzo de tensión durante el procesamiento, se pueden presentar resultados que no cumplan con el límite de la norma interna de la empresa. Sin embargo, para las tres mezclas de cloropreno y las tres mezclas de parafina clorada se tuvieron resultados favorables, ya que presentaron valores mayores a 9.35 MPa (valor de referencia interna).

Los mejores resultados los presentaron la mezcla No. 3 y la mezcla No. 2, ambas con cloropreno (13.13 y 12.45 Mpa). Además de esto en el Gráfico 4, se evidencia que la concentración de cloropreno tiene una relación directa sobre el valor de tensión, ya que, al aumentar la cantidad de cloropreno, aumenta dicho valor, esto

quiere decir que esta propiedad es directamente proporcional a la concentración de cloropreno. Por otro parte, la cantidad de parafina clorada no presentó repercusión sobre la tensión, ya que no se notó una tendencia, ni ascendente ni descendente, al aumentar la concentración de este compuesto.

Con base a lo anterior, es posible afirmar que las mezclas con cloropreno dieron mejores resultados, debido a las buenas propiedades mecánicas que este polímero sintético ofrece, entre esas, la resistencia a la tracción, ya que este caucho sintético, por presentar una adecuada interacción y estabilidad química, permite aumentar el nivel de resistencia a los aceites o lubricantes, lo que resulta conveniente puesto que estas sustancias tienden a disminuir la elasticidad del compuesto.

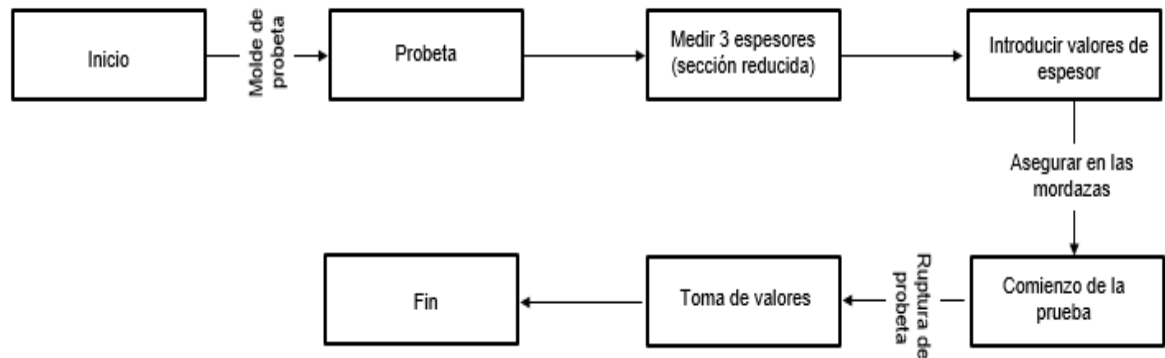
Gráfica 4. Resultados de tensión de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.4 Rasgadura (N/m). En la Figura 21 se expone el desarrollo para la obtención de la prueba de rasgado de las formulaciones de cloropreno y parafinas cloradas.

Figura 21. Obtención de la prueba de rasgadura.



Fuente: elaboración propia.

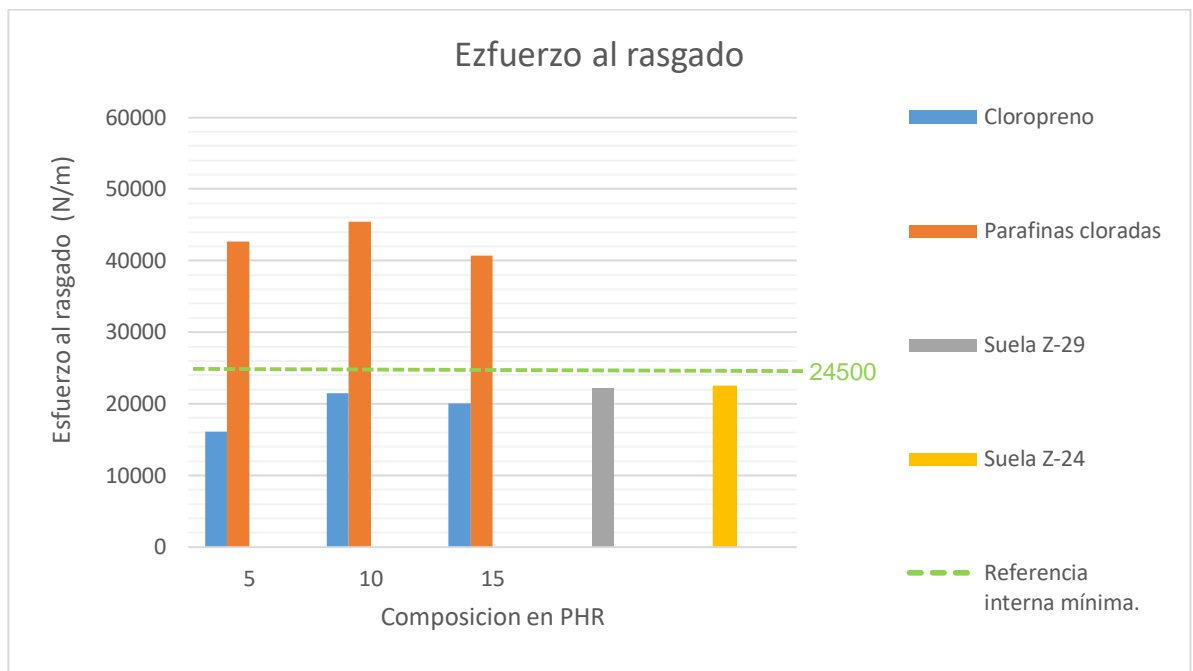
El esfuerzo al rasgado se da como otra propiedad en la que se mide la resistencia del material al ser sometido a una determinada deformación, de tal manera que esta propiedad se analiza teniendo en cuenta que se busca evitar que el material se afecte al ser sometido a una deformación que sea capaz de producir una laceración en éste, por lo tanto, para suelas se requiere un esfuerzo al rasgado de mínimo 24500 N/m según la compañía.

De acuerdo con la Tabla 22, las formulaciones que contienen parafina clorada, es decir, las mezclas No. 4, No. 5 y No. 6 evidenciaron valores de esfuerzo altos (42659.57, 45406.05 y 40689.29 N/m) en comparación con las mezclas de cloropreno y a su vez con las suelas estándar, puesto que presentan valores por debajo de lo exigido por la norma interna.

En el Gráfico 5 se observa que los datos de rasgadura obtenidos no dependen del aumento en la composición de cloropreno y de parafina clorada para las mezclas, ya que, al aumentar las cantidades de cada uno de estos compuestos no se obtiene una misma tendencia en cuanto a los resultados de esfuerzo al rasgado.

Comparando los resultados obtenidos, entre las mezclas con cloropreno y las mezclas con parafina clorada, se puede decir que estas últimas presentaron mejor resultado, debido a la influencia que presenta sobre el caucho, en cuanto a su procesabilidad y sus propiedades físicas; asimismo es posible afirmar que los resultados obtenidos por parte de las mezclas de parafina clorada, se ven influenciados por los vulcanizantes implementados, ya que estos presentan un entrecruzamiento óptimo, de tal manera que se da una mejora en la resistencia al rasgado.

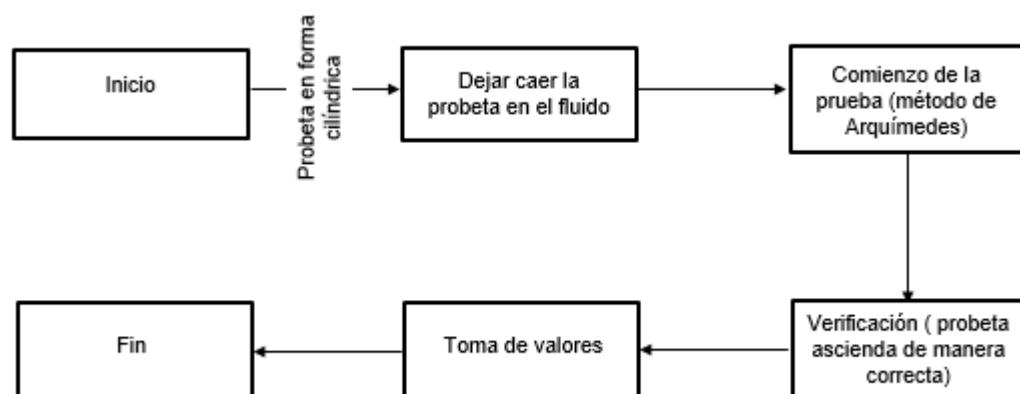
Gráfica 5. Resultados de esfuerzo al rasgado de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.5 Densidad (g/mL). Esta propiedad se realizó para las seis mezclas, en la Gráfica 5 se manifiesta el proceso para la obtención de densidad mediante el principio de Arquímedes.

Figura 22. Obtención de la prueba de densidad.



Fuente: elaboración propia.

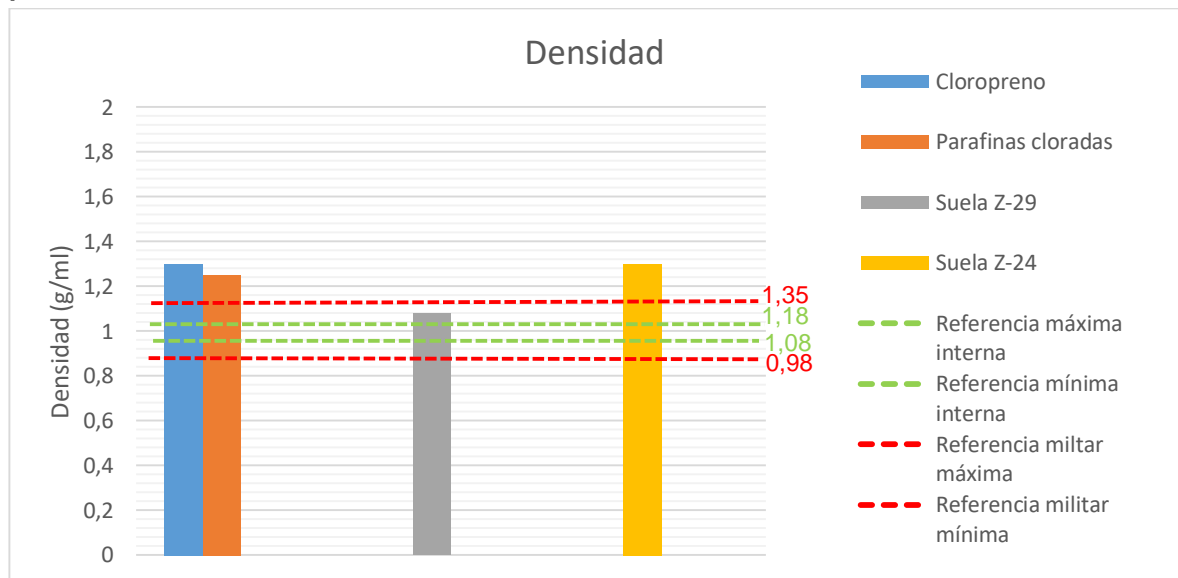
Para esta propiedad hay que tener en cuenta que al presentarse valores bajos de densidad es mejor la calidad del material, puesto que, para el caso de las suelas, estas brindarían una mejor comodidad del calzado, contando a su vez con que los valores estén en el rango establecido por la empresa (0.98-1.35 g/mL).

Con base a lo anterior, en la Tabla 23 se observa que el mejor resultado con respecto a la propiedad de densidad es la mezcla con parafina clorada, ya que presenta un valor de 1.25 g/mL, mientras que la mezcla con cloropreno tiene una densidad de 1.3 g/mL.

Al realizar las réplicas para la propiedad de densidad se concluyó que al tomar los valores con el principio de Arquímedes no se mostró una diferencia significativa, por tal razón el valor de la densidad tanto para cloropreno como parafinas cloradas queda constante, por lo que se puede afirmar que esta propiedad no depende de la cantidad tanto de cloropreno como de parafina clorada.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el Gráfico 7, se comparan los resultados obtenidos entre las mezclas propuestas y las suelas estándar implementadas actualmente en Croydon Colombia S.A. A partir de esto se puede decir que las mezclas con parafina clorada y la suela Z-29 presentan un mejor valor de densidad, debido al caucho sintético implementado en éstas, el cual hace referencia al SBR (estireno-butadieno).

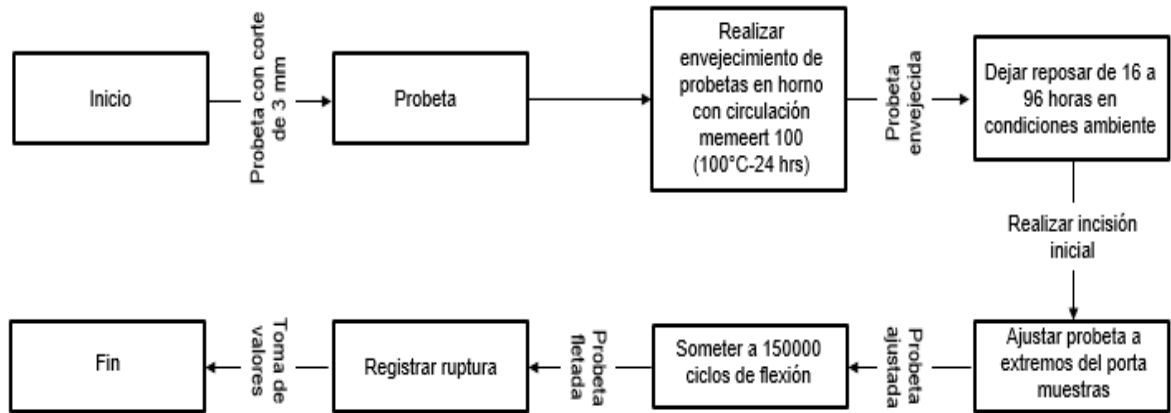
Gráfica 6. Resultados de la densidad de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.7 Flexión (mm). Este procedimiento establece el método para la obtención de flexión de las formulaciones de cloropreno y parafinas cloradas.

Figura 23. Obtención de la prueba de resistencia a la flexión.



Fuente: elaboración propia.

Según los parámetros de Croydon Colombia S.A, esta propiedad busca que el total de ciclos sea de mínimo 150000 con una rotura no mayor de 15 mm, esto quiere decir que entre menor sea la rotura a los ciclos propuestos por la compañía mejor será la resistencia de la suela a la flexión, de tal manera que esta será menos propensa a presentar fractura durante su uso.

Conforme a lo anterior, se obtuvo que tanto las mezclas de cloropreno como las de parafinas cloradas, no cumplieron con lo establecido según los estándares de la compañía, puesto que todas las mezclas presentaron una rotura total.

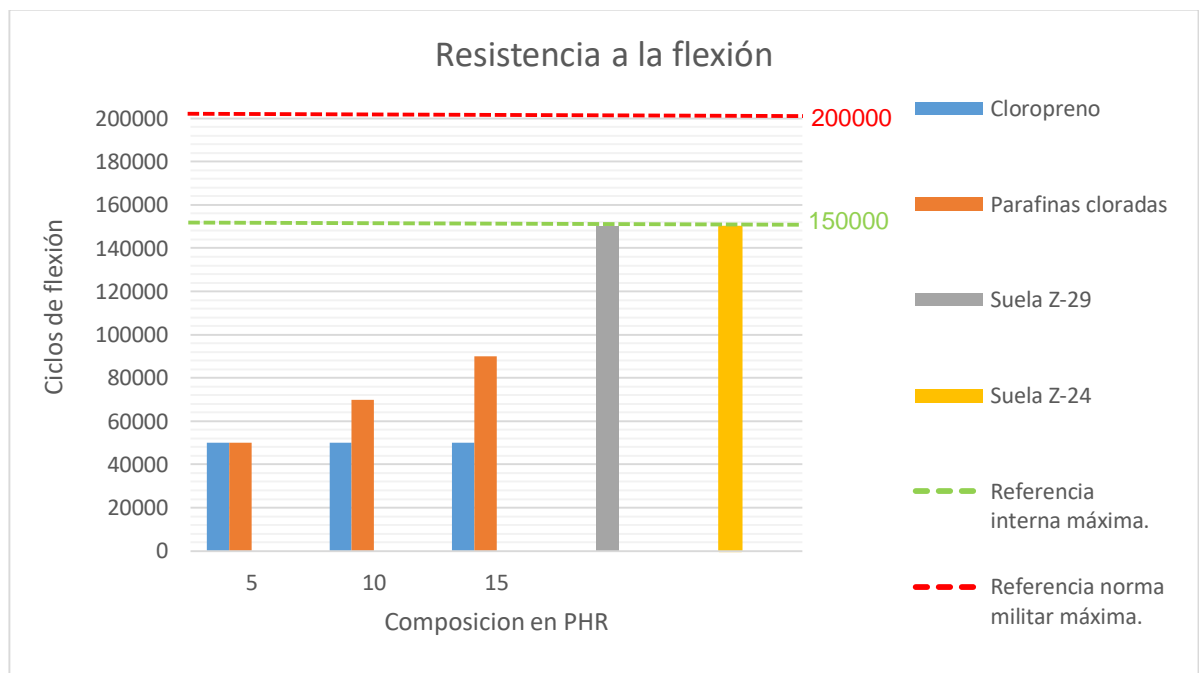
Las formulaciones con cloropreno, mezcla No. 1, No. 2 y No. 3, mostraron rotura total a una misma cantidad de ciclos (50000 ciclos), mientras que las mezclas con parafina clorada, presentaron 50000 ciclos para la mezcla No. 4, 70000 ciclos para la mezcla No. 5 y 90000 ciclos para la mezcla No. 6. Esto significa que la mezcla No. 6, al presentar una mayor cantidad de ciclos, es la que mejor resistencia tiene ante la flexión, en comparación al resto de las mezclas propuestas.

El Gráfico 7, además de comparar los resultados obtenidos entre las mezclas propuestas y las suelas estándar, se aprecia el efecto que tiene el cloropreno y la parafina clorada en las mezclas, para las mezclas que contienen el caucho sintético CR (cloropreno) no se mostró ninguna tendencia ascendente o descendente, de manera que, el incremento de la cantidad de cloropreno no tuvo influencia sobre la cantidad de ciclos; mientras que para las mezclas con parafina clorada se observó que a medida que la concentración de parafina aumenta, la cantidad de ciclos aumenta, esto representa que a una mayor composición de parafina mejor flexión presentará la suela.

Dentro de los aditivos que se incorporan al caucho para modificar propiedades mecánicas, como la flexión, se encuentra los agentes reforzantes, estos pueden ser rellenos orgánicos e inorgánicos, fibrosos, cargas negras y blancas, sílicas e incluso pueden actuar como relleno reforzante, semirreforzante y no reforzante.

Para este caso, tanto en las mezclas de cloropreno como en las de parafina, se utilizaron como agentes reforzantes, las sílicas, las cuales proporcionan un buen reforzamiento, unas mejores propiedades de mezclado y una mejor interacción con los compuestos de caucho. En base a esto, es posible decir que además de la parafina clorada, la sílica actuó como otro factor responsable del comportamiento mostrado en el Gráfico 7 sobre las suelas, por lo que se puede afirmar que este agente reforzante tuvo una mejor interacción con el caucho SBR y la parafina clorada, que con el caucho cloropreno.

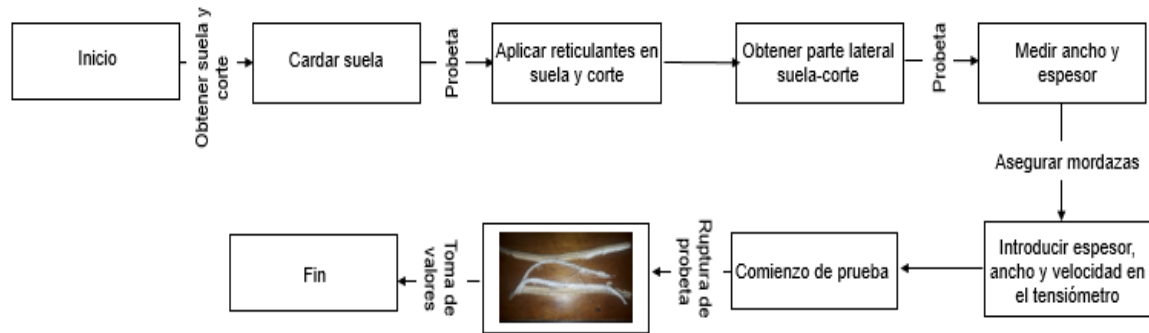
Gráfica 7. Resultados de la flexión de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.8 Adhesión (kgf/cm). El método con la cual es posible determinar esta propiedad para la formulación de cloropreno y parafinas cloradas se muestra a continuación.

Figura 24. Obtención de la prueba de adhesión.



Fuente: elaboración propia.

El proceso de adhesión suela-corte implementado actualmente en la compañía se basa en la aplicación de compuesto orgánico (TIC) sobre la superficie del material de caucho, con el fin de modificar la energía superficial del elastómero mejorando así las propiedades de adhesión frente a los adhesivos de poliuretano. Es por esto que para esta propiedad se tiene en cuenta que los valores que sobrepasan el límite de aceptación de la compañía que corresponde a 2.50 kgf/cm, representan un comportamiento favorable puesto que a una mayor fuerza de adhesión se obtiene una mayor resistencia del calzado.

Figura 25. Probetas de caucho con 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas para la adhesión con cauchos sintéticos.



Fuente: elaboración propia.

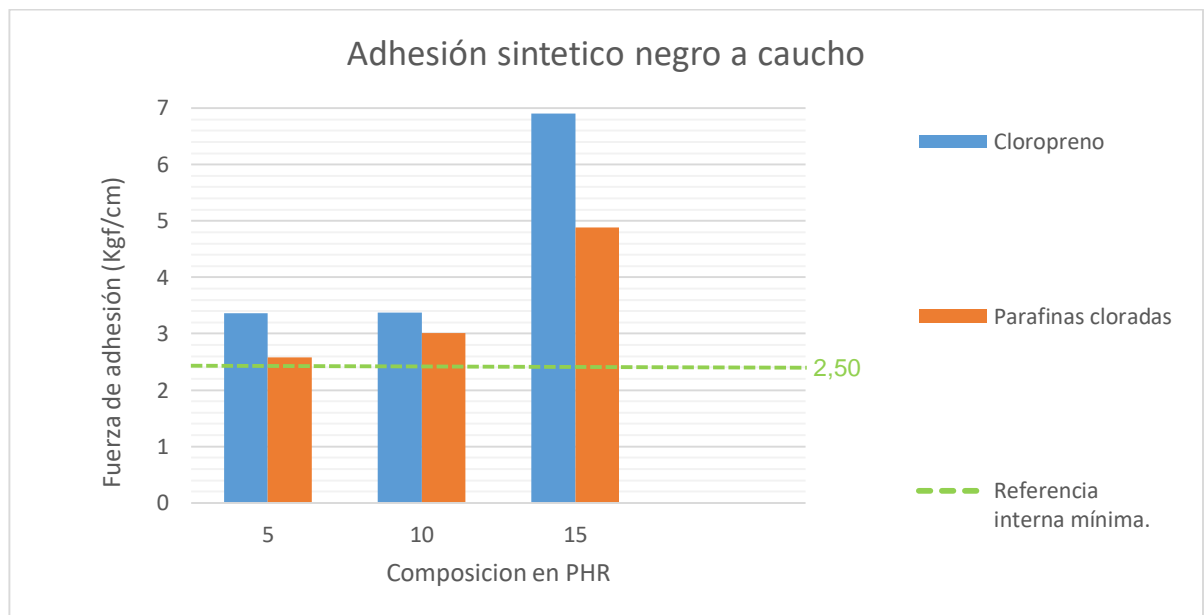


Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 25 se puede observar que todos los ensayos de adhesión de las suelas propuestas al corte sintético negro cumplieron con lo establecido por la empresa, de los cuales la mezcla No. 3 con un valor de 6.90 kgf/cm y la mezcla No. 6 de 4.88 kgf/cm presentaron valores significativos, eso es debido a la influencia que tiene la composición de cloropreno y de parafinas cloradas en cada una de las mezclas ya que en el Gráfico 10 se evidenció que a medida que aumenta la cantidad de estos compuestos aumenta la fuerza de adherencia.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede deducir que los valores obtenidos de la mezcla No. 3 y No. 6 se vieron influenciados por la presencia de compuestos clorados, los cuales son los encargados de cambiar la polaridad de la suela y así proporcionar una adhesión favorable al calzado.

Gráfica 8. Resultados de la adhesión suela de caucho con corte sintético negro de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, dentro de los resultados obtenidos con el material sintético gris se puede observar que todas las mezclas, excepto la mezcla No. 6 con un valor de 2.15 kgf/cm, cumplen con el valor estándar de la compañía.

La mezcla No. 1 y No. 3 correspondientes a cloropreno arrojaron los resultados más favorables respecto a la adhesión (3.99 y 3.57 kgf/cm). En cuanto a las tres mezclas de parafinas cloradas la mezcla No.5 con 3.12 kgf/cm fue la que mejor fuerza de adhesión presentó.

En el Gráfico 11, se observó que el comportamiento de la fuerza de adhesión no presentó ninguna relación clara entre la variación de la cantidad de cloropreno como

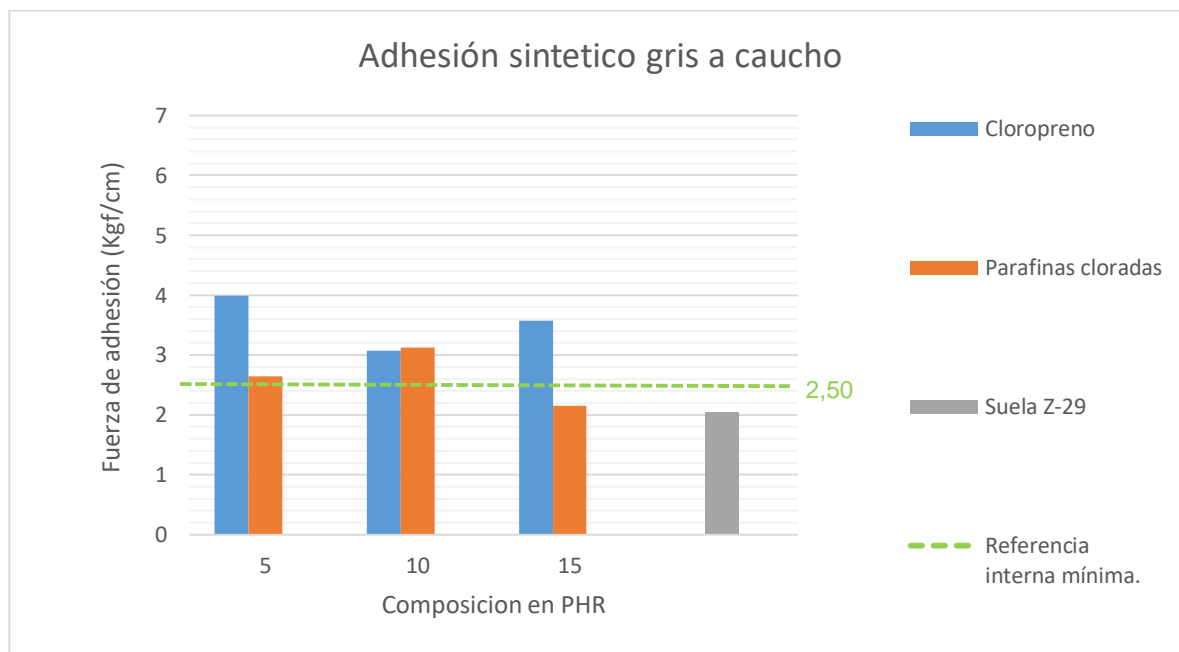
de parafina. Esto puede ser por el material sintético empleado, el cual es menos resistente y duradero a diferencia del material sintético negro.

Figura 26. Probeta para la adhesión de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas con caucho sintético negro.



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 9. Resultados de la adhesión suela de caucho con corte sintético gris de las formulaciones de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

Durante el desarrollo de la prueba de adhesión cabe resaltar que no se utilizó el compuesto orgánico (TIC) ya que se evalúa la posibilidad de evitar el proceso de halogenación durante la línea de producción de pegado en frío. Considerando lo anterior se puede decir que se obtuvieron resultados positivos en cuanto a la adhesión de la suela con el material sintético gris y negro (Anexos B). Esto se debe a la inclusión de cloropreno y parafinas cloradas.

Al comparar los resultados de adhesión obtenidos con el sintético negro y el sintético gris, se dedujo que el sintético negro aportó una mejor adhesión que el sintético gris, esto se debe porque este último tiene una base de microfibra y una película, las cuales son unidas con calor y presión, y por ende para este material es más probable que se determine la adherencia de la película a la suela o componente de caucho, en vez de la adherencia del material a la suela. Mientras que para el sintético negro si se evalúa la propiedad de adhesión entre el material y la suela, ya que este consiste en una textil de poliéster con recubrimiento en PVC.

Figura 27. Probeta para la adhesión de 5, 10 y 15 PHR de cloropreno y parafinas cloradas con caucho sintético gris.



Fuente: elaboración propia.

3. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA FORMULACIÓN BASADA EN 5, 10 Y 15 PHR DE CLOROPRENO Y PARAFINAS CLORADAS A ESCALA PILOTO

En esta sección se estima los indicadores económicos a partir del flujo de caja con el fin de determinar la viabilidad del proceso de elaboración de suelas de caucho mediante la inclusión de cloropreno y parafinas cloradas en la empresa Croydon Colombia S.A.

Para llevar a cabo lo anterior se realizó una comparación de la formulación actual con las formulaciones propuestas y seleccionadas (mezclas No.3 y 6 con sintético negro y las mezclas No.1 y No.5 con sintético gris) teniendo en cuenta el costo por kilogramo de cada material utilizado y la cantidad necesaria en cada formulación. A su vez se consideró la mano de obra directa involucrada en el proceso de halogenación, utilizado en la línea de producción de pegado en frío. Adicional a esto cabe destacar que no se tomó en cuenta los costos de maquinaria ni el gasto energético de esta, ya que la incorporación de cloropreno y parafinas cloradas para la producción de suelas en Croydon Colombia S.A no generó un cambio o reemplazo en los equipos de producción. A continuación, en la Tabla 26 se muestra el costo de la formulación actual.

Tabla 26. Costo formulación actual.

Material	Cantidad (kg)	Costo material por kilogramo	Total
Caucho natural	0.207	9245	1913.715
Caucho sintético	0.092	7500	690
Aceite	0.014	6750	94.5
Antioxidantes	0.009	34547	310.923
Activadores	0.028	33300	932.4
Rellenos	0.237	15615	3700.755
Sistema de vulcanización	0.00296	58593	173.43528
Ayudas de proceso	0.015	19084	286.26
		TOTAL SIN HALOGENATE	8101.98828
Halogenante	0.005	10599	21.198
		TOTAL	8154.98328

Fuente: elaboración propia.

Para la selección de las cuatro mezclas se tuvo en cuenta la propiedad de adhesión, a la cual se le hace un especial énfasis, ya que mediante esta propiedad se logra evaluar y determinar, si la incorporación de cloropreno y parafinas cloradas en las suelas de caucho en Croydon Colombia S.A puede llegar a evitar el proceso de

halogenación con TIC en la línea de producción de pegado en frío. Entre mayor sea el valor de la fuerza por longitud, mejor será la adhesión.

Teniendo en cuenta esto se muestra en la Tabla 25 que los resultados más favorables con el sintético negro, los presentaron las mezclas No. 3 y No. 6 (6.9 y 4.88 kgf/cm respectivamente); y en cuanto al sintético gris las mezclas No.1 y No.5 (3.99 y 3.12 kgf/cm respectivamente). A continuación, en las Tablas 27, 28, 29 y 30 se evidencian los costos por kilogramo de cada compuesto implementado en las fórmulas propuestas.

Tabla 27. formulación basada en 15 PHR de cloropreno con corte sintético negro.

Material	Cantidad (kg)	Costo material por kilogramo	Total
Caucho natural	0.207	9245	1913.715
Caucho cloropreno	0.045	24380	1097.1
Aceite	0.014	6750	94.5
Antioxidantes	0.009	34547	310.923
Activadores	0.028	33300	932.4
Rellenos	0.237	15615	3700.755
Sistema de vulcanización	0.00296	72793	215.46728
Ayudas de proceso	0.015	19084	286.26
Sumatoria	0.55796	TOTAL	8551.12028

Fuente: elaboración propia.

Tabla 28. formulación basada en 5 PHR de cloropreno con corte sintético gris.

Material	Cantidad (kg)	Costo material por kilogramo	Total
Caucho natural	0.207	9245	1913.715
Caucho cloropreno	0.015	24380	365.7
Aceite	0.014	6750	94.5
Antioxidantes	0.009	34547	310.923
Activadores	0.028	33300	932.4
Rellenos	0.237	15615	3700.755
Sistema de vulcanización	0.00296	72793	215.46728
Ayudas de proceso	0.015	19084	286.26
Sumatoria	0.52796	TOTAL	7819.72028

Fuente: elaboración propia.

Tabla 29. formulación basada en 15 PHR de parafinas cloradas con corte sintético negro.

Material	Cantidad (kg)	Costo material por kilogramo	Total
Caucho natural	0.207	9245	1913.715
Caucho sintético	0.092	7500	690
Aceite	0.014	6750	94.5
Antioxidantes	0.009	34547	310.923
Activadores	0.028	33300	932.4
Rellenos	0.237	15615	3700.755
Sistema de vulcanización	0.00296	58593	173.43528
Parifinas cloradas	0.045	4600	207
Ayudas de proceso	0.015	23684	355.26
Sumatoria	0.64996	TOTAL	8377.98828

Fuente: elaboración propia.

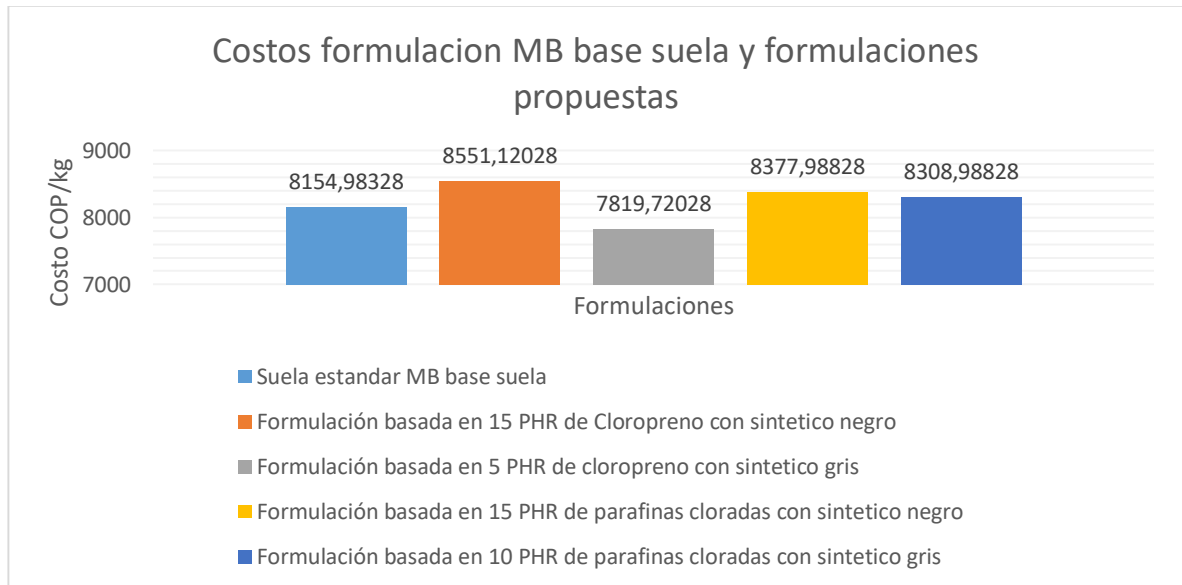
Tabla 30. formulación basada en 10 PHR de parafinas cloradas con corte sintético gris.

Material	Cantidad (kg)	Costo material por kilogramo	Total
Caucho natural	0.207	9245	1913.715
Caucho sintético	0.092	7500	690
Aceite	0.014	6750	94.5
Antioxidantes	0.009	34547	310.923
Activadores	0.028	33300	932,4
Rellenos	0.237	15615	3700.755
Sistema de vulcanización	0.00296	58593	173.43528
Parafinas cloradas	0.03	4600	138
Ayudas de proceso	0.015	23684	355.26
Sumatoria	0.63496	TOTAL	8308.98828

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se puede ver la comparación de los costos por kilogramo (COP/kg) de la formulación implementada actualmente en la compañía y de las formulaciones seleccionadas, en la Gráfica 10 se evidencia que la mezcla que contiene 5 PHR de cloropreno con sintético negro presenta un menor gasto de materias primas.

Gráfica 10. Costos formulación MB base suela y formulaciones propuestas



Fuente: elaboración propia.

Con el fin de identificar la rentabilidad de las formulaciones propuestas a lo largo del procesamiento se realizó el cálculo de la diferencia en porcentaje de los costos de las formulaciones a comparar a partir de la Ecuación 5.

Ecuación 5. Cálculo de diferencia de costos de las formulaciones.

$$\text{Diferencia [\%]} = \left| \frac{\text{costo formulacion actual} - \text{costo formulacion seleccionada}}{\text{costo formulacion actual}} \right| * 100$$

Fuente: elaboración propia.

Considerando el costo implementado actualmente para suelas en Croydon Colombia S. A de \$8154.98328, se obtiene en la Tabla 31 la diferencia en costos que presenta las formulaciones seleccionadas respecto a la formulación actual.

Tabla 31. Diferencia de costos entre formulación actual y formulaciones propuestas.

	Corte sintético negro		Corte sintético gris	
	Formulación No.3	Formulación No.6	Formulación No.1	Formulación No.5
Costo formulaciones COP/kg	8551.12028	8377.98828	7819.72028	8308.98828
Diferencia %	4.86	2.73	4.11	1.89

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la anterior tabla se determina que las formulaciones No.3, No.5 y No. 6 presentaron una disminución de 4.86, 1.89 y 2.73% respectivamente, mientras que en la mezcla No. 1 se evidenció un aumento de 4.11% de costo.

Con base a lo anterior se puede afirmar que la formulación No.1 con una cantidad de 5 PHR de cloropreno obtuvo un ahorro de \$335.263 COP por cada par de suelas producidas en Croydon Colombia S.A.

En cuanto al costo de mano de obra directa, se tuvo en cuenta la cantidad de operarios requeridos para la operación de halogenación de las suelas de caucho con TIC y la cantidad de suelas halogenadas por turno del operario, cantidades que corresponden a dos trabajadores y a un valor promedio de 1126 suelas por turno. Considerando lo anterior y que el costo de labor por cada par de suelas es de \$56.95 COP, se obtuvo que la mano de obra directa requerida para la halogenación en la línea de producción de pegado en frío presenta un gasto de \$128251.4 COP.

Actualmente en la compañía no se establece la cantidad de producción de calzado por mes ya que depende de la demanda del producto. Por lo tanto, al realizar la comparación de costos a escala industrial, se toma una carga promedio de 150 kg de materia prima para la producción de suelas evidenciando que la formulación No.1 obtuvo un ahorro de \$50289.45 COP/kg de materia prima, por lo que se puede decir que al implementar la suela de cloropreno a 5 PHR esta no solo proporcionaría una buena adhesión de la suela al corte sino también un ahorro de mano de obra directa de \$128251.4 COP, de manera que se generaría un ahorro total de \$178540.85 COP, brindándole un beneficio a la empresa, ya que se evitaría el proceso de halogenación con ácido tricloroisocianúrico (TIC) y se disminuiría el tiempo de secado (alrededor de 7 a 10 minutos) en la línea de producción de pegado en frío.

4. CONCLUSIONES

- La formulación de las suelas Z-29 y Z-24, actualmente empleadas en Croydon Colombia S.A., cumplen con los parámetros de aceptación planteados por la compañía, los cuales son más manejables que los propuestos por la norma militar, puesto que esta última se fundamenta en requisitos para productos con un uso específico, por lo que, al momento de requerir el cumplimiento de ésta, generaría un aumento en costos de materia prima y procesamiento.
- Para las propiedades de dureza y rasgadura se obtuvieron valores favorables para las formulaciones basadas en parafinas cloradas mientras que, para las propiedades de tensión y densidad, ambas mostraron cumplir con los requisitos establecidos por la empresa. Respecto a las propiedades de abrasión y flexión, se evidencio que las seis formulaciones propuestas no cumplieron con lo establecido por la compañía, ya que se presenta un mayor desgaste de la suela y una menor resistencia de esta, al ser sometida a un doblado constante. De igual forma es importante resaltar que las propiedades de elongación, rasgadura y tensión son aplicadas a cintas de calzado, aun así, estas se realizaron con el fin de detallar el comportamiento de las mezclas propuestas.
- En cuanto a la propiedad de adhesión se puede concluir que la inclusión de cloropreno y parafina clorada de 15 PHR presentaron mejores resultados, lo que significa que es posible evitar el proceso de halogenación en la línea de producción de pegado en frío.
- Desde el punto financiero la opción más favorable para la empresa Croydon Colombia S.A corresponde a la formulación No.1, la cual contiene cloropreno a 5 PHR. Ya que además de presentar un buen valor de adhesión, fue la única que proporcionó una disminución de costo de 4.11% lo que implica una reducción de \$50289.45 COP/kg de materia prima. Además de esto se obtendría un ahorro total de \$178540.85 COP, incluyendo la mano de obra directa, para la línea de producción de pegado en frío en la compañía.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda indagar otras alternativas de aditivos que favorezcan las propiedades de abrasión, dureza y flexión de manera que no altere las fuerzas de adhesión, ya que estas son fundamentales para la caracterización de una suela de caucho.
- Se recomienda realizar más variaciones de PHR de cloropreno y parafinas cloradas, mediante un diseño de experimentos, teniendo en cuenta el rango de 5 a 15 PHR con el fin de evaluar la influencia del cambio de las cantidades sobre las propiedades y así verificar el cumplimiento de la norma interna.
- Se sugiere analizar otras formulaciones para la incorporación de cloropreno y parafinas cloradas, diferentes a la MB base suela implementada en Croydon Colombia S.A., de tal manera de que se evalúe la compatibilidad entre los elastómeros y los aditivos.

BIBLIOGRAFÍA

BELTRÁN M. y MARCILLA A. Tema 1. Estructura y propiedades de los polímeros. {En línea} {24 mayo de 2018} Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf>

BILURBINA, Luis y LIESA, Francisco. Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. Barcelona.: Marcombo, 1990. 81 p.

CHUNG, C. I., GRIESBACH, H. L. AND YOUNG, L. (1980). " High -temperature morphological transition in a styrene -butadiene -styrene block co -polymer". Pág 1237 -1242.

COMERCIAL ELASTOMERICA, S.A. Agentes vulcanizantes. {en línea} {21 de mayo de 2018}. Disponible en (http://elastomerica.com/esp/materias_primas/vulcanizantes.html)

CONCEPCIÓN, María. Componentes involucrados en la formulación del caucho. En: Centro de investigación en química aplicada [en línea] (15 de septiembre 2003). Disponible en: [citado en 14 de junio de 2016]

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO. Plásticos Protocolo. Curso de Procesos de Manufactura. Facultad de Ingeniería Industrial. Edición 2007-2. {En línea} disponible en: https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734_plimeros.pdf

INESCOP. Laboratorios. Suelas y plantillas: Resistencia al desgarro. [en línea]. [Consultado el 6 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://www.ctcr.es/attachments/article/104/CATALOGO_LABORATORIO.pdf

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para medir el deterioro de caucho. Crecimiento del corte por medio del equipo de flexión de Ross. NTC 632. Bogotá; ICONTEC, 2017.

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

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método International Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. ASTM D1238.USA. 2013.

MINISTERIO AGRICULTURA. Comportamiento del caucho natural en Colombia y en el mundo. [en línea]. [Consultado el 22 de octubre de 2019]. Disponible en: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/5378/1/20084915429_Bulletin_Caucho_2008.pdf

Norma Técnica Colombiana. Determinación De La Resistencia a La Abrasión Del Caucho y Elastómeros. (junio 21). 2000.

ROYO, Joaquín. Manual de tecnología del Caucho. Barcelona: Consorcio Nacional de Industriales del caucho, 1989. 446 p

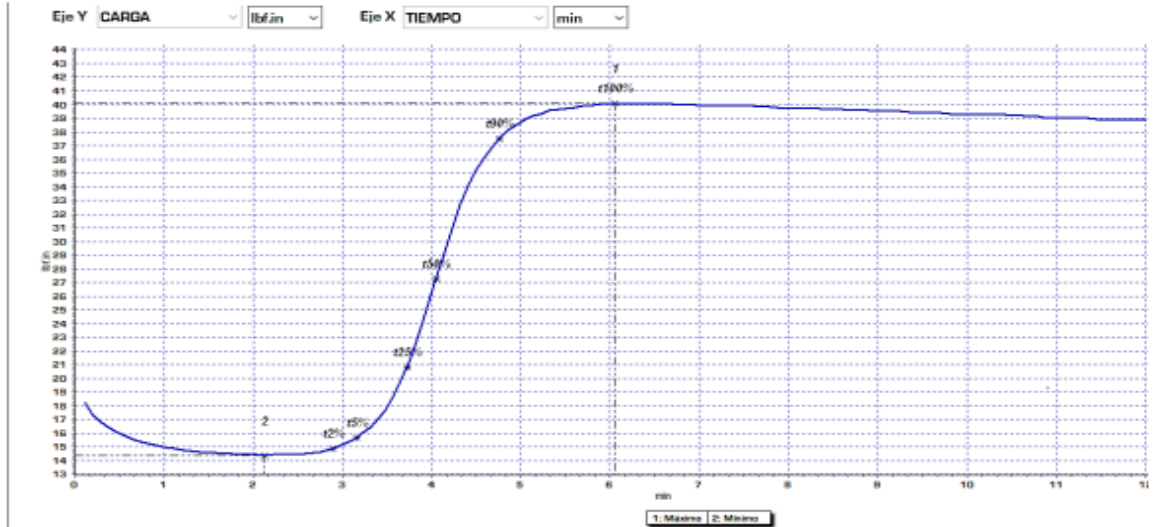
SMITH, William F y HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4ed. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2006. 531 p.

ANEXOS

ANEXO A

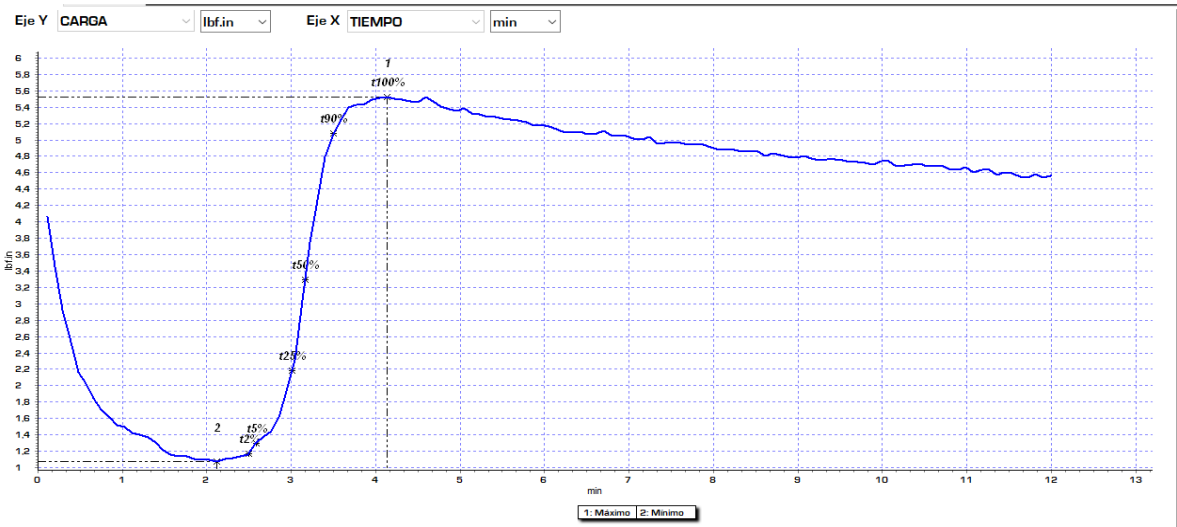
REOMETRÍAS FORMULACIONES DE SUELAS DE CAUCHO

Gráfica A1. Reometría formulación actual para suelas.



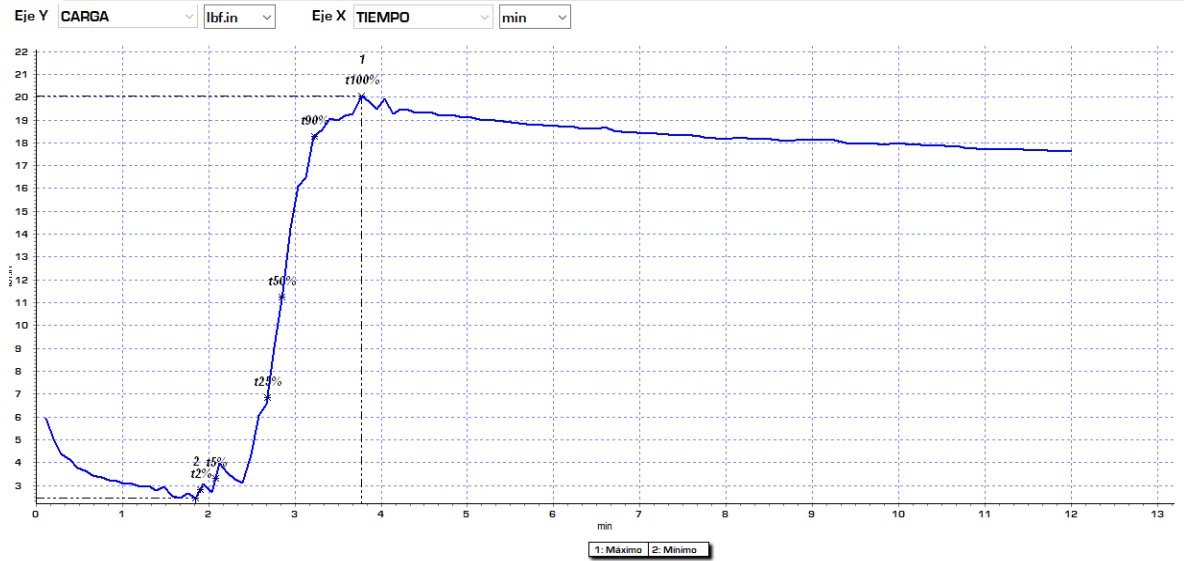
Fuente: elaboración propia.

Gráfica A2. Reometría formulación basada en 5 PHR de cloropreno.



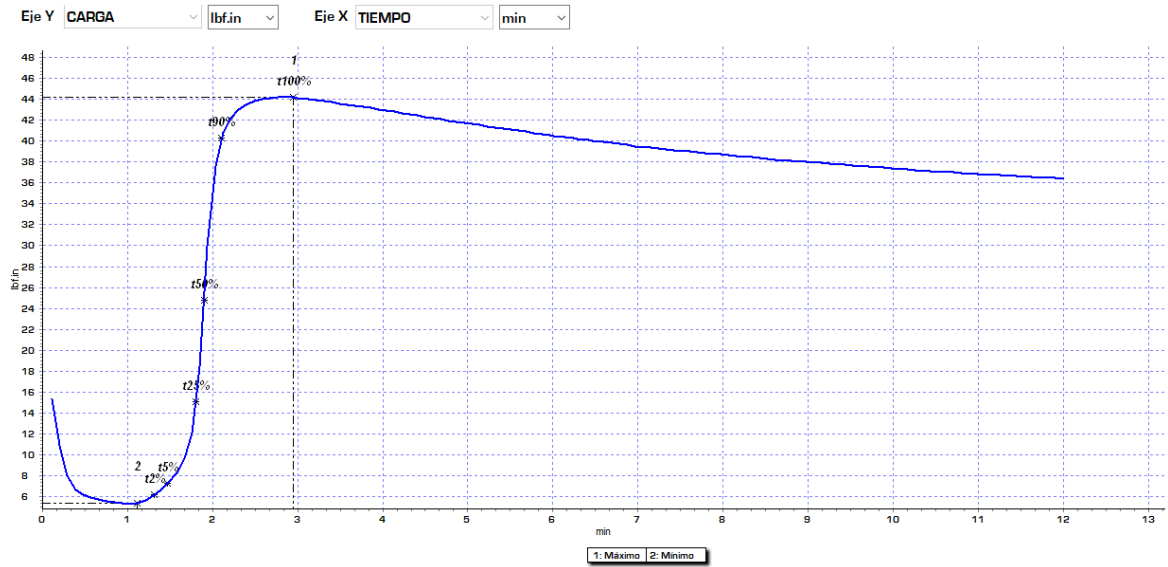
Fuente: elaboración propia.

Gráfica A3. Reometría formulación basada en 10 PHR de cloropreno.



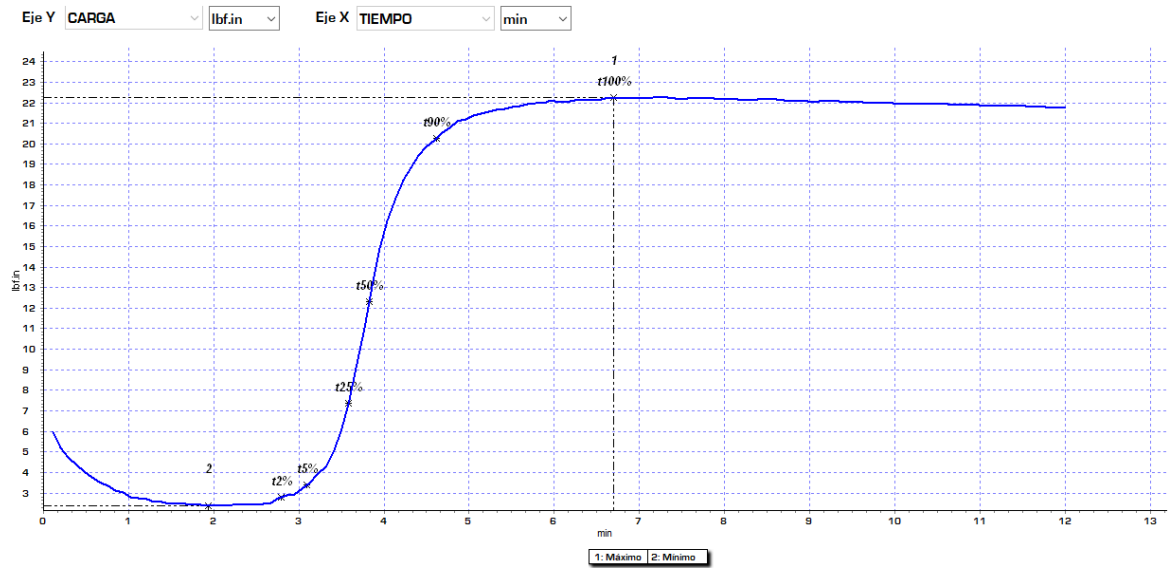
Fuente: elaboración propia.

Gráfica A4. Reometría formulación basada en 15 PHR de cloropreno.



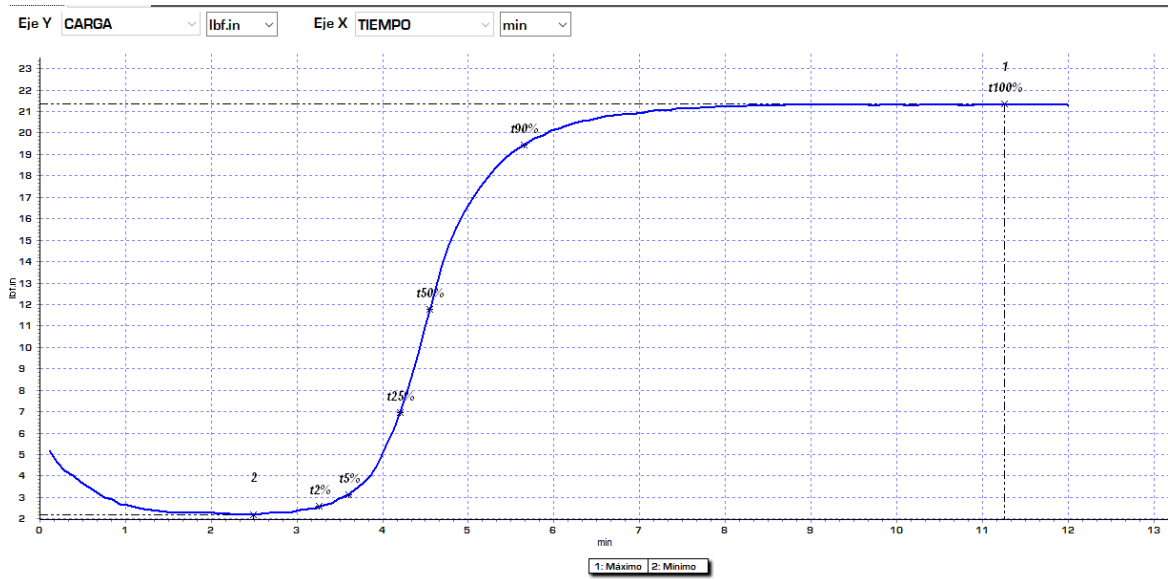
Fuente: elaboración propia.

Gráfica A5. Reometría formulación basada en 5 PHR de parafinas cloradas.



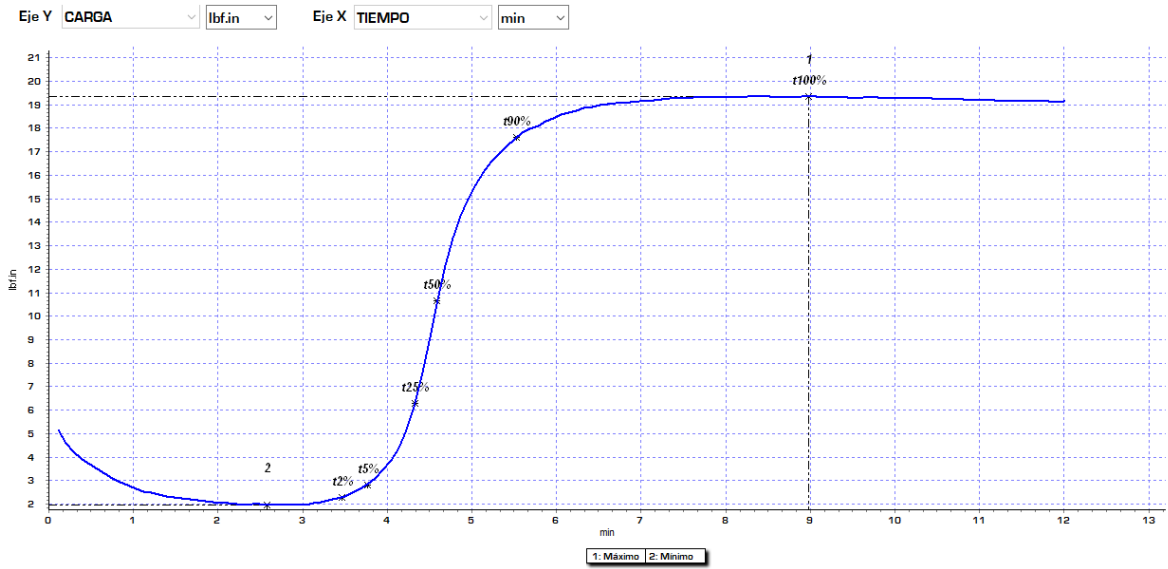
Fuente: elaboración propia.

Gráfica A6. Reometría formulación basada en 10 PHR de parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

Gráfica A7. Reometría formulación basada en 15 PHR de parafinas cloradas.



Fuente: elaboración propia.

ANEXO B

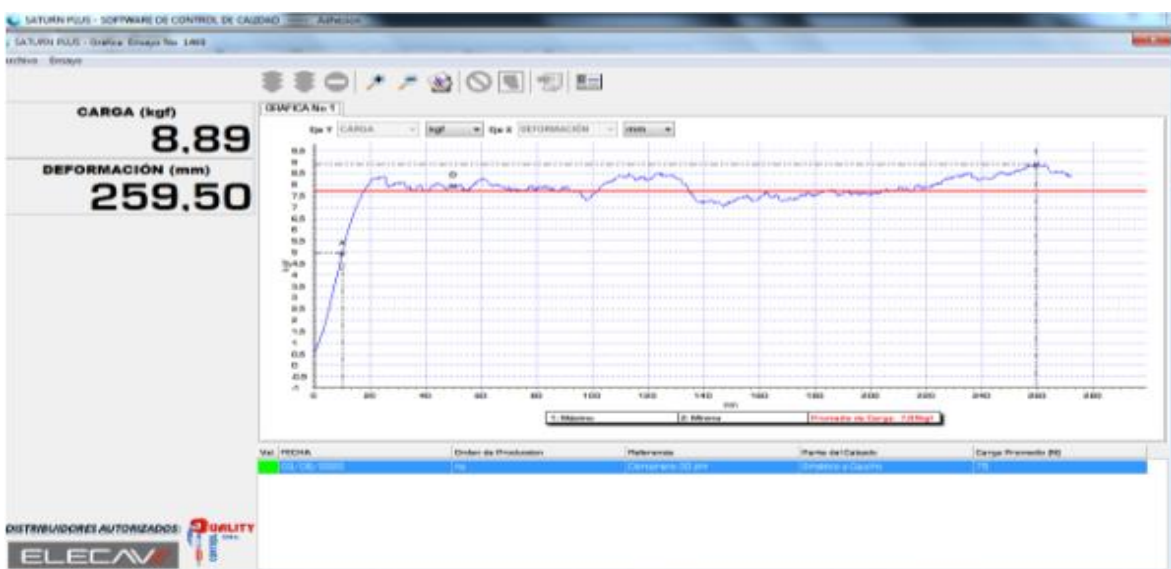
PRUEBAS DE ADHESIÓN SUELA-CORTE

Gráfica B1. Prueba de adhesión suela de 5 PHR de cloropreno a corte sintético gris.



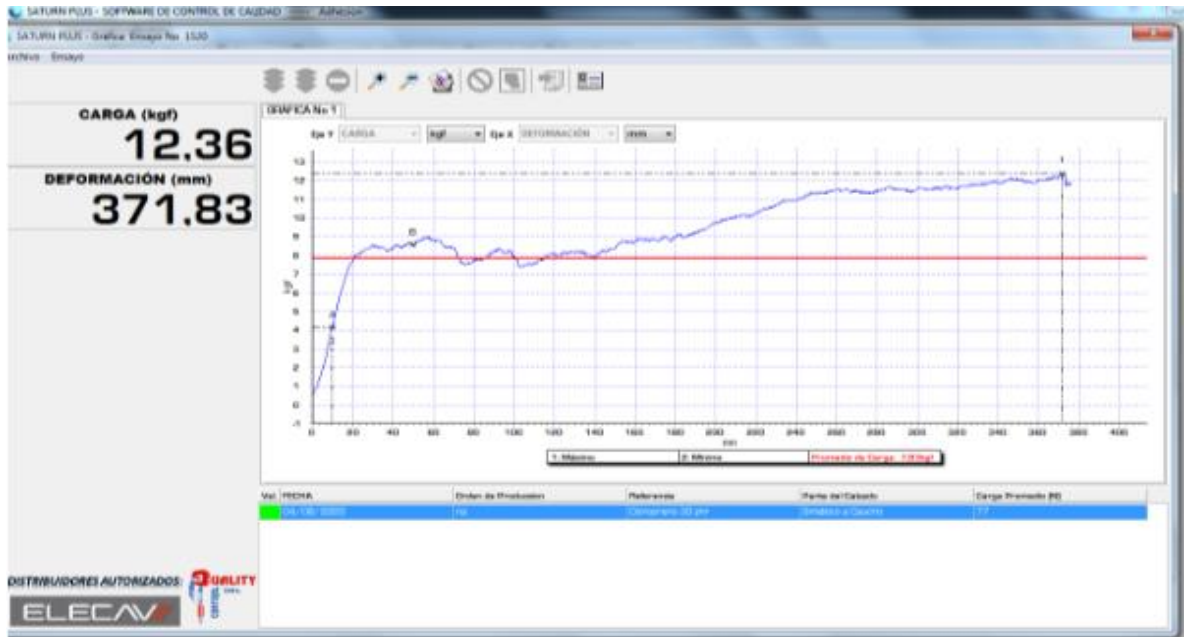
Fuente: elaboración propia.

Gráfica B2. Prueba de adhesión suela de 10 PHR de parafinas cloradas a corte sintético gris.



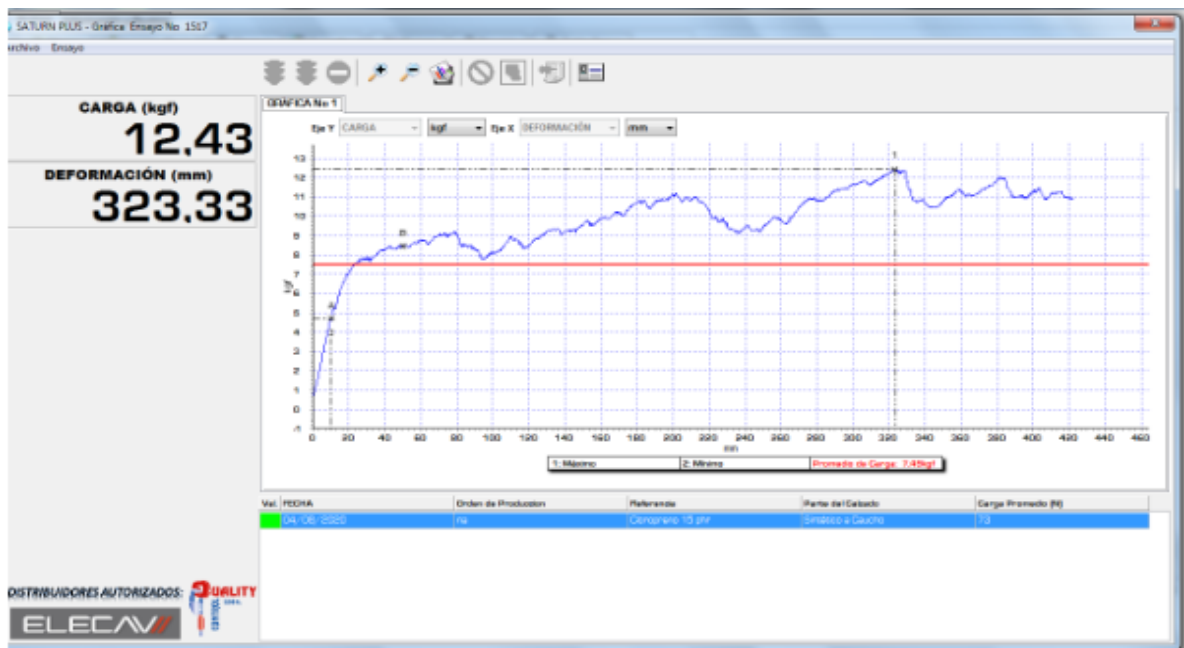
Fuente: elaboración propia.

Gráfica B3. Prueba de adhesión suela de 15 PHR de cloropreno a corte sintético negro.



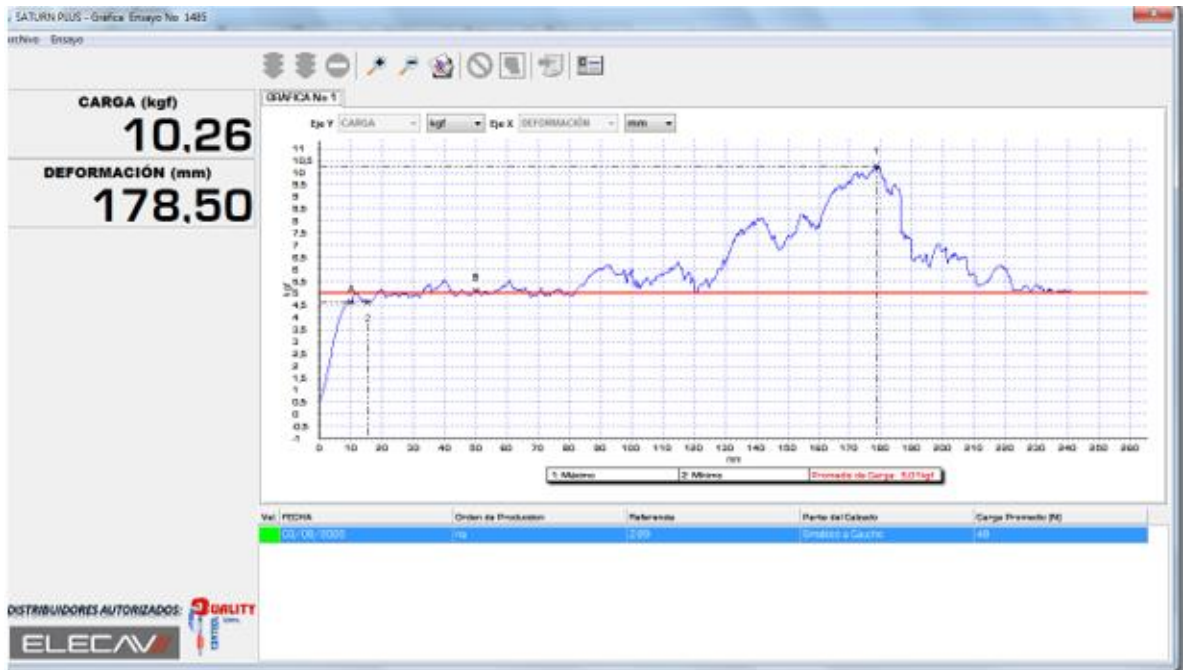
Fuente: elaboración propia.

Gráfica B4. Prueba de adhesión suela de 15 PHR de parafinas a corte sintético negro.



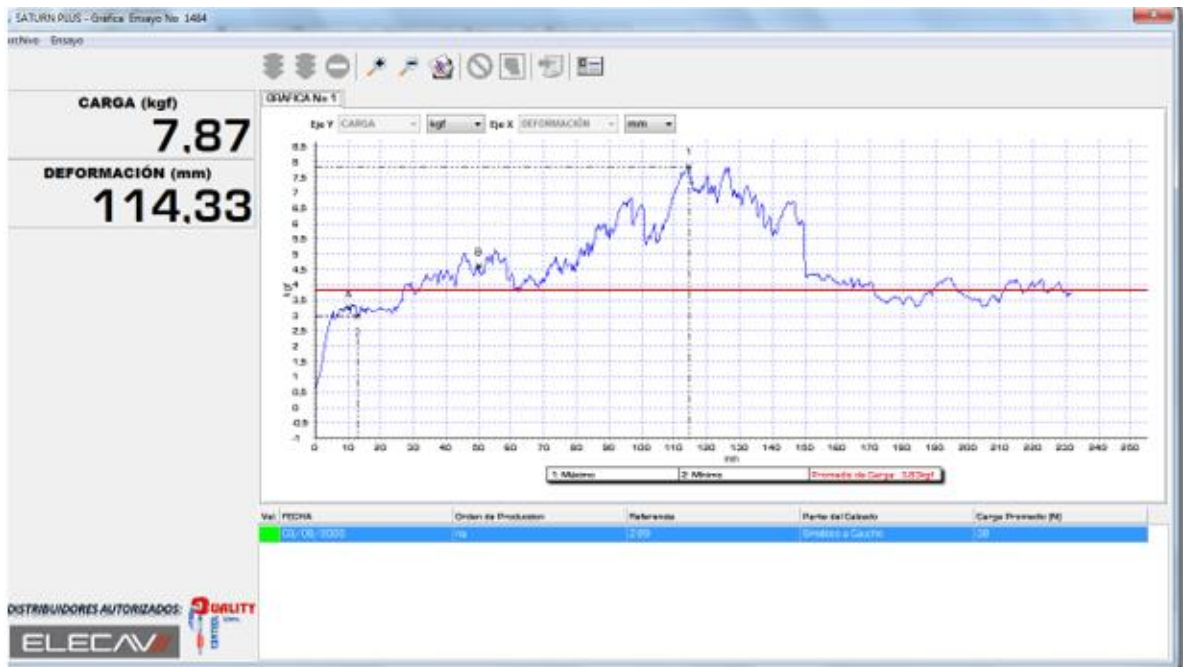
Fuente: elaboración propia.

Gráfica B5. Prueba de adhesión suela Z-29 con corte sintético negro.



Fuente: elaboración propia.

Gráfica B6. Prueba de adhesión suela Z-29 con corte sintético gris.



Fuente: elaboración propia.

ANEXO C
NORMA TÉCNICA BOTA TENIS NTMD-0090-A4

<small>REPUBLICA DE COLOMBIA</small>  <small>MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL</small>	BOTA TENIS	NTMD-0090-A4
		1 DE 30
		2008-04-10

Prólogo

La norma técnica NTMD-0090-A4 fue aprobada el 2008-04-10.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el propósito de responder en todo momento a las necesidades y exigencias actuales de la Fuerza Pública.

A continuación se relacionan las empresas e instituciones que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en comités técnicos, desarrollo de prototipos, desarrollo de materiales y pruebas técnicas.

CEINNOVA
COATS CADENA S. A.
CROYDON COLOMBIA S. A.
DIRECCION ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA POLICIA NACIONAL
DIRECCION DE ABASTECIMIENTO DE LA ARMADA NACIONAL
DIRECCION DE INTENDENCIA DEL EJERCITO
DIRECCION DE LOS SERVICIOS FUERZA AEREA
FABRICATO
GRUPO CONTROL DE CALIDAD POLICIA NACIONAL
INDUSTRIA BERG LTDA
LABORATRIO LPE ATLAS
REFICOL

REPUBLICA DE COLOMBIA  MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL	BOTA TENIS	NTMD-0090-A4
		10 DE 30
		2008-04-10

3.2.2 Suela. El material utilizado en la fabricación de las suelas de las botas tenis debe ser compuesto de caucho compacto, la suela debe ser elaborada en caucho moldeado no microcelular, la cara de la suela en contacto con el piso debe tener un diseño en relieve que ofrezca efecto antideslizante, de agarre para superficies húmedas o secas (Ver figura 4), la cara que estará en contacto con la plantilla de armado no podrá tener ningún tipo de economizador o vacío y debe cumplir lo establecido en la tabla 5.

Nota 4. Si la suela incluye en su diseño el arco interior no será necesario que la sobreplantilla lleve este arco.

La suela debe tener un espesor de $7 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, tomando la medida en la línea metatarsiana haciendo previo un corte longitudinal a lo largo de la suela por la parte central incluyendo el labrado, el espesor de la suela sin el labrado debe ser mínimo de 3 mm. La medición del espesor de la suela se indica en la figura 7, la precisión del instrumento se indica en el numeral 5.1.

El caucho empleado en la fabricación de la suela no debe presentar desmoronamiento, faltantes, deformaciones en su superficie como ampollas o defectos de terminado.

Nota 5. Como guía ilustrativa de diseño de la suela se presenta en la figura 4.

Tabla 5. Requisitos para las suelas y cintas de caucho

Características	Valores	Numeral
Densidad relativa dada en g/cm^3	1,08 a 1,18	5.12
Dureza (shore A)	55 a 65	5.13
Resistencia a la Abrasión en mm^3 , Máx	170	5.14
Resistencia a la flexión a 200 Kciclos para la propagación del corte inicial hasta 15 mm del ancho total de la probeta de ensayo. Máximo incremento del corte inicial	15 mm	5.15
Cambio de dureza luego de 24 horas de envejecimiento, a $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$	De -0 a + 5	5.16
Deformación por compresión, en % a 22 horas y $70 \text{ }^\circ\text{C}$ Máx	30	5.17