

PROPUESTA PARA LA MEJORA DE PROPIEDADES ANTIDESLIZANTES DE
LA SUELA DEL CALZADO DE SEGURIDAD PARA LA EMPRESA CROYDON
COLOMBIA S.A.

MARIE NATHALIE BASA BENAVIDES
SONIA CAROLINA JAIME ARIZA

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

2020

PROPUESTA PARA LA MEJORA DE PROPIEDADES ANTIDESLIZANTES DE
LA SUELA DEL CALZADO DE SEGURIDAD PARA LA EMPRESA CROYDON
COLOMBIA S.A.

MARIE NATHALIE BASA BENAVIDES

SONIA CAROLINA JAIME ARIZA

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director

Oscar Fabián Arias Celis

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ, D.C.

2020

Nota de aceptación:

Ing. Claudio Alberto Moreno Arias.

Ing. Juan Andrés Sandoval Herrera.

Bogotá, D.C., agosto de 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

Vicerrector Académico y de Investigaciones

Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMAN

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. IVÁN RAMÍREZ MARÍN

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

DEDICATORIA

Una etapa más que culmina aquí y un logro más alcanzado todo gracias al apoyo y amor de mi familia en especial de mi madre quien me acompañó en todo el proceso y quien estuvo, está y estará conmigo en los momentos difíciles y en los más alegres también.

A mis hermanos que son mi ejemplo a seguir y a mi padre quien es mi apoyo incondicional y por supuesto a mis amigos y compañeros por su ayuda y quienes también hicieron de este camino profesional el más alegre.

Marie Nathalie Basa Benavides.

“Todo forma parte de un proceso, de una serie de pasos a lo largo de un camino. Forjar tu historia requiere paciencia y rigor a partes iguales. Significa no renunciar a la idea de que hay que seguir creciendo como persona” – Michelle Obama.

Este trabajo se lo dedico a Dios, quien ha guiado mi camino. A mis papás Aura Rosa y Luis Alberto, por ser promotores de mis sueños, por sus esfuerzos, amor y consejos.

A mis hermanos de los cuales he aprendido muchas cosas. A mi familia y a todas aquellas personas que han creído en mis capacidades y han hecho parte de lo que soy hoy en día.

Sonia Carolina Jaime Ariza.

AGRADECIMIENTOS

A Croydon Colombia S.A. por darnos la gran oportunidad de desarrollar este proyecto y poner a nuestra disposición sus instalaciones, equipos y materias primas para lograr culminarlo.

A el Ingeniero Oscar Fabian Arias por acompañarnos en todo el proceso, por su dedicación y esfuerzo para sacar adelante el proyecto, por su excelente compromiso con la empresa y durante los últimos dos semestres de lleno con nuestro proyecto y por supuesto agradezco por su amable y caluroso trato.

A los ingenieros Carlos Ríos, Carlos Quintero, Fredy Ramírez, Camilo Parra y el equipo de laboratorio de calidad Jairo Hernández y Gastón Silva; ya que ellos fueron guía y parte fundamental en el proceso, por su apoyo, paciencia y por estar siempre dispuestos a ayudar. A Héctor quien ofreció toda su ayuda amablemente en cada prueba de deslizamiento que se realizó, desde el montaje hasta la parte final.

Al ingeniero docente Fernando Moreno por asesorarnos con su conocimiento, paciencia y amabilidad característicos y por ser guía en este proyecto.

A nuestros profesores quienes con sus conocimientos y consejos forjaron en todo el camino profesional, lo que somos hoy en día no solo a nivel académico sino personal.

Marie Nathalie Basa Benavides.

Agradezco a Dios por colocar personas maravillosas en mi camino, por las oportunidades que me formaron como persona y como profesional. A Luis Alberto y Aura Rosa por su paciencia y su amor durante este tiempo y por regalarme una hermosa familia que me ha apoyado incondicionalmente en cada sueño que deseo emprender.

Gracias a Croydon Colombia S.A, en especial al ingeniero Oscar Fabián Arias, mi compañera de tesis Marie Basa y todas aquellas personas que hicieron parte de este trabajo, brindado su tiempo y conocimiento para obtener los mejores resultados. A los docentes de la Universidad de América que me enseñaron que la excelencia se logra por medio de disciplina y actitud.

Finalmente agradezco a los amigos que encontré en este camino, compañeros de traspasadas, domingos de estudio y risas, constructores de inolvidables e incontables momentos durante estos cinco años. Gracias, colegas e ingenieros por motivarme a ser mejor persona y ser equipo en muchas situaciones, auguro éxitos es sus proyectos y los llevaré en mi memoria para siempre.

Sonia Carolina Jaime Ariza.

CONTENIDO

| | pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 24 |
| OBJETIVOS | 25 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 26 |
| 1.1 POLICLORURO DE VINILO (PVC) | 26 |
| 1.2 ADITIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BOTAS EN PVC | 28 |
| 1.2.1 Plastificantes. | 28 |
| 1.2.2 Estabilizantes | 31 |
| 1.2.3 Lubricantes. | 31 |
| 1.2.4 Cargas | 31 |
| 1.2.5 Pigmento. | 32 |
| 1.3 FORMULACIONES Y MEZCLAS CON PVC | 32 |
| 1.3.1 PVC- EVA. | 32 |
| 1.3.2 PVC- TPU. | 33 |
| 1.3.3 Poliuretano | 34 |
| 2. DIAGNÓSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS ANTIDESLIZANTES DE LAS SUELAS DE CALZADO DE SEGURIDAD PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO | 36 |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA | 36 |
| 2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN ACTUAL | 37 |
| 2.3 EQUIPOS INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE BOTAS DE CALZADO DE SEGURIDAD | 38 |
| 2.3.1 Molino de cuchillas. | 38 |
| 2.3.2 Mezclador Henschel. | 39 |
| 2.3.3 Extrusora. Máquina | 40 |
| 2.3.4 Máquina inyectora | 41 |
| 2.4 TERMINOLOGÍA CROYDON | 45 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.1 Escaso material suela. | 45 |
| 2.4.2 Filtración de material | 45 |
| 2.4.3 Suela contraída | 47 |
| 2.4.4 Suela quemada. | 47 |
| 2.4.5 Puntos de inyección | 48 |
| 2.4.6 PVC recuperado post- consumo. | 49 |
| 2.5 GENERALIDADES DE LAS BOTAS DE SEGURIDAD | 49 |
| 2.6 GENERALIDADES DE LAS SUELAS DE CALZADO DE SEGURIDAD. | 51 |
| 2.7 MÉTODO DE MEDICIÓN DESLIZAMIENTO DE SUELAS | 53 |
| 2.8 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS | 59 |
| 2.8.1 Resistencia a la abrasión. | 59 |
| 2.8.2 Resistencia a la flexión. | 60 |
| 2.8.3 Dureza | 61 |
| 2.8.4 Densidad | 62 |
| 2.9 NORMATIVIDAD SUELAS DE CALZADO DE SEGURIDAD | 63 |
| 2.9.1 Norma Técnica Colombiana ISO 20345:11: Equipo de protección individual calzado de seguridad. | 63 |
| 2.9.1.1 Propiedades descritas por la norma ISO 20345: | 64 |
| 2.9.2 NRF-056-PEMEX:2006. Bota impermeable para uso industrial | 66 |
| 2.9.3 NTC 2385. Plásticos. Botas de Policloruro de Vinilo (PVC) para uso industrial. | 66 |
| | |
| 3. DISEÑO PRE-EXPERIMENTAL | 68 |
| 3.1 ESTANDARIZACIÓN PRUEBA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO | 68 |
| 3.2 DIAGNÓSTICO HUELLA ACTUAL | 74 |
| 3.2.1 Selección de variables. | 74 |
| 3.2.2 Elección del diseño experimental. | 76 |
| 3.2.3 Nivel de significancia. | 76 |
| 3.2.4 Planteamiento de hipótesis | 76 |
| 3.2.5 Consolidación de datos | 79 |
| 3.2.6 Análisis de varianza. | 79 |
| 3.3 EVALUACIÓN CAMBIO DE GEOMETRÍA ESTÁNDAR | 80 |
| 3.3.1 Selección de variables. | 80 |
| 3.3.2 Selección geometría de la suela. | 81 |

| | | |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.3 | Diseño de experimentos. | 83 |
| 3.3.4 | Planteamiento de hipótesis. | 83 |
| 3.3.5 | Consolidación de datos. | 85 |
| 3.3.6 | Análisis de varianza ANOVA dos factores. | 86 |
| 3.4 | CAMBIO FORMULACIONES DE COMPUESTOS DE INYECCIÓN | 87 |
| 3.4.1 | Selección de variables. | 87 |
| 3.4.2 | Diseño de experimentos. | 87 |
| 3.4.3 | Planteamiento de hipótesis. | 88 |
| 3.4.4 | Consolidación de datos. | 88 |
| 3.5 | MEDICIÓN PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS | 90 |
| 3.5.1. | Consolidación de datos | 92 |
| 4. | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS | 93 |
| 4.1 | DIAGNÓSTICO SUELA ACTUAL | 93 |
| 4.2 | ANÁLISIS CAMBIO DE GEOMETRÍA | 94 |
| 4.3 | ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS | 96 |
| 5. | COSTO POR KILOGRAMO DE COMPUESTO ANTIDESLIZANTE PARA UNA SUELA DE CALZADO DE SEGURIDAD | 100 |
| 6. | CONCLUSIONES | 103 |
| 7. | RECOMENDACIONES | 104 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 105 |
| | ANEXOS | 109 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|----------------------------------------------------------|-------------|
| Cuadro 1. Plastificantes. | 30 |
| Cuadro 2. Propiedades injerto del polímero 50/50 EVA-PVC | 33 |
| Cuadro 3. Dureza compuestos de PVC, NTC 2385. | 67 |

LISTA DE DIAGRAMAS

| | pág. |
|----------------------------------------------------------------|-------------|
| Diagrama 1. Proceso de producción botas PVC. | 38 |
| Diagrama 2. Procedimiento ensayo resistencia al deslizamiento. | 71 |
| Diagrama 3. Procedimiento prueba de abrasión. | 91 |
| Diagrama 4. Procedimiento prueba de flexión de suelas. | 91 |
| Diagrama 5. Procedimiento prueba de dureza. | 92 |
| Diagrama 6. Procedimiento prueba de densidad. | 92 |

LISTA DE ECUACIONES

| | pág. |
|--------------------------------------------------|-------------|
| Ecuación 1. Presión de inyección. | 43 |
| Ecuación 2. Coeficiente de fricción. | 55 |
| Ecuación 3. Coeficiente de fricción estático. | 56 |
| Ecuación 4. Coeficiente de fricción dinámico. | 57 |
| Ecuación 5. Fórmula para determinar F calculado. | 77 |
| Ecuación 6. Cálculo F factor A | 83 |
| Ecuación 7. Cálculo F factor B | 84 |
| Ecuación 8. Cálculo F interacción AB | 84 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Polimerización del PVC. | 27 |
| Figura 2. Reacción degradación de PVC | 27 |
| Figura 3. Efectos sobre el volumen libre. | 29 |
| Figura 4. Asociación plastificante-polímero. | 30 |
| Figura 5. Molécula de TPU. | 33 |
| Figura 6. Molécula de poliuretano. | 35 |
| Figura 7. Molino de cuchillas. | 39 |
| Figura 8. Mezclador Henschel. | 40 |
| Figura 9. Extrusora. | 41 |
| Figura 10. Duración relativa en las diferentes etapas de ciclo de inyección. | 42 |
| Figura 11. Máquina inyectora. | 43 |
| Figura 12. Posiciones de presiones en el tornillo sinfin. | 44 |
| Figura 13. Escaso material suela. | 45 |
| Figura 14. Suela con filtración de material. | 46 |
| Figura 15. Caña con filtración de material. | 46 |
| Figura 16. Suela con depresión. | 47 |
| Figura 17. Suela quemada. | 48 |
| Figura 18. Puntos de inyección. | 48 |
| Figura 19. Material recuperado post-consumo. | 49 |
| Figura 20. Generalidades calzado de seguridad. | 50 |
| Figura 21. Recomendaciones suelas de calzado de seguridad. | 52 |
| Figura 22. Características no recomendadas en las suelas para evitar deslizamiento. | 53 |
| Figura 23. Fuerzas involucradas al caminar | 54 |
| Figura 24. Probador de fricción tipo carro. | 55 |
| Figura 25. Coeficiente de fricción estático. | 56 |
| Figura 26. Coeficiente de fricción dinámico. | 57 |
| Figura 27. Variación de tiempo representativa en el coeficiente de fricción (COF) y la velocidad de deslizamiento. | 58 |
| Figura 28. Comportamiento fuerza de fricción estática y dinámica. | 59 |
| Figura 29. Abrasímetro. | 60 |
| Figura 30. Flexómetro. | 61 |
| Figura 31. Durómetro. | 62 |
| Figura 32. Balanza analítica. | 63 |
| Figura 33. Máquina Universal de Ensayos ELECAV modelo MCIL-4 | 69 |
| Figura 34. Superficie de ensayo | 69 |
| Figura 35. Prueba de deslizamiento. | 70 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 36. Comportamiento normal gráfica de ensayo resistencia al deslizamiento. | 72 |
| Figura 37. Comportamiento inusual ensayo resistencia al deslizamiento. | 73 |
| Figura 38. Fuerza de arranque anticipada. | 73 |
| Figura 39. Error desplazamiento de la suela. | 74 |
| Figura 40. Diagnóstico compuestos actuales. | 75 |
| Figura 41. Gráfica distribución F | 78 |
| Figura 42. Suela PVC- EVA | 89 |
| Figura 43. Suela PVC- PU | 89 |
| Figura 44. Suelas TPU- PVC | 90 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | pág. |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| Gráfica 1. Coeficiente de fricción dinámico huella actual. | 94 |
| Gráfica 2. COF modificación geometría | 95 |
| Gráfica 3. Resultados prueba de abrasión. | 96 |
| Gráfica 4. Resultados ensayo de flexión. | 97 |
| Gráfica 5. Dureza Shore A compuestos evaluados. | 98 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Resistencia al resbalamiento NTC ISO 20344. | 64 |
| Tabla 2. Categorías de marcado del calzado de seguridad. | 65 |
| Tabla 3. Variables diseño de experimento diagnóstico. | 75 |
| Tabla 4. Diagnóstico coeficiente de fricción huella actual. | 79 |
| Tabla 5. ANOVA diagnóstico huella actual. | 79 |
| Tabla 6. Variables de diseño de experimentos. | 81 |
| Tabla 7. Variaciones huella. | 82 |
| Tabla 8. Coeficiente de fricción dinámico modificando la geometría de la suela. | 85 |
| Tabla 9. Análisis de varianza experimento variación de geometría de la suela. | 86 |
| Tabla 10. Variables experimento cambio de formulación de compuestos. | 87 |
| Tabla 11. Resultados pruebas físicas y mecánicas. | 92 |
| Tabla 12. Resultados Intertek COF | 93 |
| Tabla 13. Promedio COF cambio de geometría. | 94 |
| Tabla 14. Valores típicos de temperaturas programadas en una máquina inyección para la transformación de PVC. | 99 |
| Tabla 15. Dureza Shore A compuestos Croydon. | 100 |
| Tabla 16. Costo por kilogramo de compuesto año 2.019. | 101 |
| Tabla 17. Costo por kilogramo de compuesto año 2.020. | 101 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| Anexo A. Ensayo suela Z-178 primer experimento | 110 |
| Anexo B. Ensayo suela Z-153 primer experimento | 111 |
| Anexo C. Ensayo suela Z-155 primer experimento | 112 |
| Anexo D. Ensayo SUELA Z-193 primer experimento | 113 |
| Anexo E. Ensayo Z-178 Y Z-153 huella estándar segundo experimento | 114 |
| Anexo F. Ensayo Z-178 Y Z-153 modificación 1 | 115 |
| Anexo G. Ensayo Z-178 Y Z-153 modificación 2 | 116 |
| Anexo H. Ensayo Z-178 Y Z-153 modificación 3 | 117 |
| Anexo I. Ensayo Z-178 Y Z-153 modificación 4 | 118 |
| Anexo J. Ensayo Z-178 Y Z-153 modificación 5 | 119 |
| Anexo K. Ensayo PU-PVC | 120 |
| Anexo L. Ensayo TPU-PVC | 121 |
| Anexo M. Cálculo coeficiente de fricción dinámico y estático. | 122 |
| Anexo N. Pruebas previas INTERTEK | 128 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y UNIDADES

J: Julio

Kg: Kilogramo.

kN: Kilo Newton.

min: Minuto.

mm: Milímetro.

N: Newton.

p/v: Relación de porcentaje entre el peso del soluto y volumen de la solución.

Tg: Temperatura de transición vítrea.

v/ v: Relación de porcentaje entre el volumen del soluto y volumen de la solución.

GLOSARIO

ABRASIÓN: acción mecánica de rozamiento con el objetivo de medir la resistencia al desgaste de cierto material cuando se pone en contacto con una superficie abrasiva.¹

ADITIVO: sustancia que se agrega a otras para darles cualidades de que carecen o para mejorar las que poseen.²

ÁREA: cantidad de espacio dentro del límite de un objeto plano (bidimensional) o en la superficie de un objeto sólido (tridimensional).

CALZADO DE SEGURIDAD: calzado, que incorpora elementos para proteger al usuario de las lesiones que puedan ocasionar los accidentes.³

COPOLÍMERO: grupo de macromoléculas formadas por más de dos monómeros unidos por enlaces químicos.

COMPUESTO: sustancia formada por dos o más elementos de la tabla periódica con su respectiva fórmula química.

DUREZA: resistencia a la deformación plástica superficial producida por un indentor con ayuda de una fuerza constante.

ELONGACIÓN: distancia que separa a una partícula o cuerpo cuando se somete a un esfuerzo desde su posición de equilibrio.

FUERZA: magnitud vectorial que mide la deformación de un cuerpo, modificando a veces su velocidad.

FRICCIÓN: es la resistencia al movimiento de un objeto en movimiento con relación a otro.

INYECCIÓN: introducir un polímero en estado sólido (pellets), a través de un tornillo sin fin a alta temperatura en un molde para la creación de piezas u objetos con forma definida.

MEZCLA: material formado por dos o más componentes no unidos químicamente.

¹ ADAMAMIAK, Marcin. Abrasion Resistance of Materials. BoD – Books on Demand, 2012. p.128. ISBN. 9789535103004

² REAL ACADÉMIA ESPAÑOLA. Aditivo. [en línea] [Consultado: 20 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/aditivo>

³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad. NTC- ISO 20345. Bogotá D.C: ICONTEC, 2012. p.19.

PELLET: pequeñas porciones cilíndricas de PVC aglomerado o comprimido, resultado del proceso de extrusión.

PELETIZACIÓN: proceso en donde el PVC en polvo, entra a la peletizadora y por medio de una presión y temperatura se compacta formando una masa, pasa por un colador que extrae el PVC en tiras y una cuchilla lo pica formando los pellets.

PIGMENTOS: materia colorante compuesta por partículas sólidas finas.

POLÍMERO: conjunto de macromoléculas usualmente orgánicas, que resultan de la unión de monómeros mediante enlaces de tipo covalente. El polímero se forma a partir de reacciones de polimerización.⁴

PROBETA: muestra que se obtiene del material que se quiere analizar, normalmente tiene forma cilíndrica.

SUELA ANTIDESLIZANTE: parte del zapato que protege la planta del pie la cual está hecha con material que no se desliza en presencia de sustancias oleosas.

⁴ KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven. Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación, 2002. p.182.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo llevar a cabo una propuesta para la mejora de las propiedades antideslizantes de la suela del calzado de seguridad para la empresa Croydon Colombia S.A., en el desarrollo se llevó a cabo un diagnóstico de las características actuales de estas botas, utilizando los compuestos que se inyectan en la diferentes líneas de producción y la huella estándar, para ello se estandarizó en ensayo a la resistencia al deslizamiento siguiendo los lineamientos de las normas NTC ISO 20344: 2012, NTC ISO 20345:2011 y NRF 056 PEMEX:2006.

Se realizó el diseño de experimentos teniendo en cuenta como variable de respuesta el coeficiente de fricción y se determinaron las variables necesarias para realizar las pruebas, las cuales están descritas en el tercer capítulo de este documento. Para el primer ensayo se utilizaron cuatro compuestos (Z-153, Z-155, Z-193 y Z-178) y la geometría base para realizar el diagnóstico de la propiedad antideslizante de los compuestos nombrados.

Después de analizar los resultados se seleccionaron los compuestos con coeficiente de fricción mas alto (Z-153 y Z-178), y posteriormente se realizó el segundo ensayo seleccionando cinco modificaciones de geometría a las cuales se diseñó modificaciones para obtener un coeficiente de fricción mayor o igual que 0,18. La geometría fue la variable que más incidió para obtener el coeficiente de fricción esperado de esta propuesta. Asimismo, compuestos como poliuretano, la mezcla de PVC-EVA y la mezcla PVC-TPU se evaluaron para verificar si había una mejora en las propiedades antideslizantes.

Finalmente se evaluaron diferentes propiedades físicas y mecánicas de la suela con mayor coeficiente de fricción y se definió el costo por kilogramo de compuesto antideslizante considerando los costos del año anterior y las proyecciones del producto en el mercado.

PALABRAS CLAVES: Polímeros, coeficiente de fricción, antideslizamiento, área, compuesto, suela.

INTRODUCCIÓN

La compañía Croydon Colombia S.A. se dedica a la manufactura y comercialización de calzado deportivo y especializado para diferentes actividades industriales. Dentro de su portafolio se encuentran marcas como lo son Discovery, Workman, Los Gomosos, Royal, Machita, Feminela y La Macha, las cuales están dentro de la línea juvenil, infantil, deportiva e industrial. La empresa se destaca por su énfasis en la producción de botas para las diferentes líneas de venta, incluye la producción de botas de PVC para niños, botas para seguridad alimentaria, botas especializadas para bomberos y bota tenis para el Ejército Nacional Colombiano.

Croydon Colombia S.A. produce la mayoría de los productos con PVC, siendo este uno de los materiales importantes para la inyección, el PVC posee características como flexibilidad, durabilidad y versatilidad durante su transformación. Actualmente la compañía elabora diferentes productos con suelas antideslizantes que se han elaborado bajo diferentes ensayos, pero no presentan certificaciones de estas. Este proyecto propone mejorar las propiedades antideslizantes de la suela del calzado de seguridad basado en la norma NTC ISO 20344: 2012, NTC ISO 20345:11 y la norma NRF-056-PEMEX:2006, siguiendo los estándares de calidad de la empresa. Esto permite a la compañía innovar en las formulaciones de las suelas y ser mas competitivo en el mercado, incorporando productos certificados de alta calidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar una propuesta para la mejora de las propiedades antideslizantes de la suela del calzado de seguridad para la empresa Croydon Colombia S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las características actuales de las botas de seguridad de la empresa .
- Seleccionar una geometría base de botas antideslizantes de la compañía.
- Analizar el comportamiento de la suela base frente a cambios en la formulación de las mezclas de inyección de la suela.
- Definir el costo por kilogramo de compuesto antideslizante para una suela de calzado de seguridad.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los conceptos principales para contextualizar el contenido del trabajo. Se relaciona el material utilizado en el proceso de producción de suelas a partir de policloruro de vinilo, las posibles mezclas que lo incluyen y la terminología utilizada por Croydon Colombia S.A para la producción de botas de seguridad. Además, se incluyen otros compuestos relacionado al desarrollo de los objetivos de la propuesta: el poliuretano, el poliuretano termoplástico (TPU) y el etilvinil-acetato.

1.1 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El policloruro de vinilo o PVC es uno de los plásticos que más se utiliza en el mundo, este se transforma en diferentes objetos mediante procesos de laminado o extrusión en donde no hay modificación química al ser sometido a cambios de temperatura.

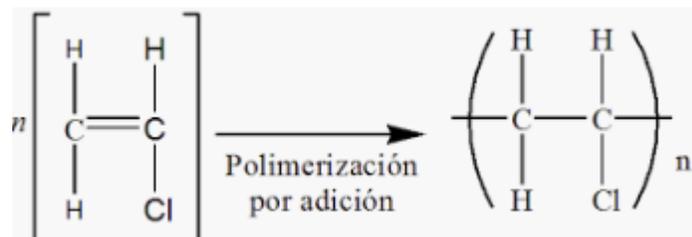
La polimerización del policloruro de vinilo se realiza por mecanismo de radicales, utilizando peróxidos en suspensión a temperaturas entre 50 °C y 90 °C. Con la adición de plastificantes el PVC se hace flexible y más moldeable para crear mangueras, revestimientos de suelos, suelas, entre otros productos.⁵

El PVC es un material termoplástico, es decir, es un material que tiene la capacidad de pasar de un estado viscoso y líquido a un estado sólido o vítreo. Dentro de sus características físicas se puede encontrar que es un material resistente al impacto, a cargas superpuestas, aislante térmico, acústico y eléctrico; impermeable a gases y líquidos. Los productos terminados de PVC no cuentan con radicales de cloro ni organoclorados libres.⁶

⁵ PRIMO, Eduardo. Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria, Editorial Reverté, 1994. p.164

⁶ SEYMOUR, Raimond; CARRAHER, Charles. Introducción a la química de los polímeros. Editorial Reverté S.A, Universidad de Southern, 2002.p.460

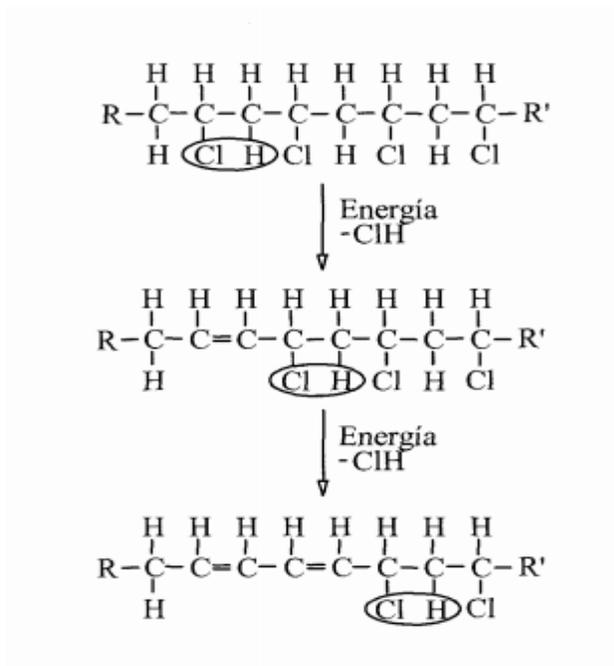
Figura 1. Polimerización del PVC.



Fuente: ANGULO, Gerardo. Reacciones de polimerización. [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/1723922/>

Una de las desventajas del PVC es la facilidad de degradarse por acción de la temperatura. La reacción de degradación libera ácido clorhídrico (HCl) en primera instancia, como se muestra en la siguiente figura:⁷

Figura 2. Reacción degradación de PVC



Fuente: GARCIA, Silvia. Migración de platificantes de PVC. Universidad de Alicante, 2006. p.9

⁷ GARCIA, Silvia. Migración de platificantes de PVC. Universidad de Alicante, 2006. p.9

1.2 ADITIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BOTAS EN PVC

Los siguientes aditivos junto con el PVC se utilizan en la formulación de Croydon Colombia S.A para la producción de botas de seguridad. Los aditivos se clasifican según su función y no en relación con la constitución química, además la adición de estos a las mezclas se rige bajo las especificaciones de comportamiento en conjunto de las propiedades de las suelas.

1.2.1 Plastificantes. Un plastificante es una sustancia que se adiciona a un material plástico o elastómero para facilitar su transformación y aumentar su flexibilidad. El plastificante tiene como objetivo reducir la temperatura de transición vítrea y la viscosidad del fundido; la cantidad de plastificante para alcanzar una propiedad de interés depende directamente de la eficacia del plastificante.⁸

En general, un plastificante penetra en el interior de la masa del polímero para separar cadenas y reducir las fuerzas de atracción. El PVC posee pocas cadenas cristalinas, además los átomos de cloro presentes son voluminosos, permitiendo reducir las fuerzas de Van der Waals. En el PVC la fuerza de cohesión dominante es la interacción dipolo-dipolo, esto es causado por el átomo de cloro que sustituye un átomo de hidrogeno en átomos de carbono alternos, creando un dipolo. Los líquidos compatibles con el PVC son los que poseen una estructura dipolar adecuada (grupos éster de ácidos carboxílicos o de oxácidos inorgánicos).⁸

Según Beltrán y Marcilla, la teoría de volumen libre de Sears y Darby expone que entre las moléculas de un polímero existe un volumen libre que permite la libertad de movimiento. Cuando hay mayor volumen libre, existe mayor facilidad de movimiento, mayor flexibilidad⁹ y también menor temperatura de transición vítrea (T_g), la cual se define como la temperatura en donde un polímero rígido (cuando se calienta) se transforma en un material más flexible.¹⁰

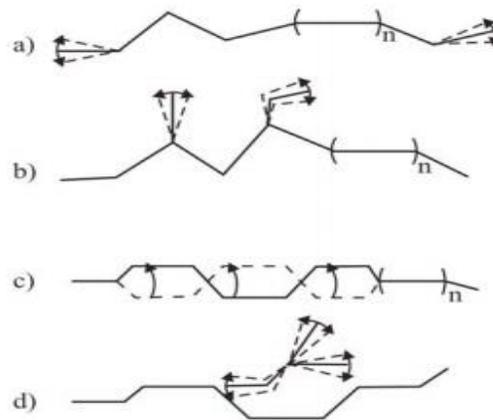
Cuando se introducen grupos terminales, ramificaciones, el aumento de la temperatura o se adiciona un plastificante, se aumenta el volumen libre. En la figura 3 se evidencian los efectos sobre el volumen libre nombrados anteriormente. Específicamente cuando se adiciona un plastificante se disminuye la T_g , aumenta la flexibilidad y la elongación a la rotura.⁸

⁸ SCHILLER, Michael. PVC Additives: Performance, Chemistry, Developments, and Sustainability, Hanser Publications, 2015. p.164

⁹ BELTRÁN, Maribel; MARCILLA, Antonio. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. España: Universidad de Alicante, 2012. p.68.

¹⁰ CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Reverte, 1996. p.499.

Figura 3. Efectos sobre el volumen libre.



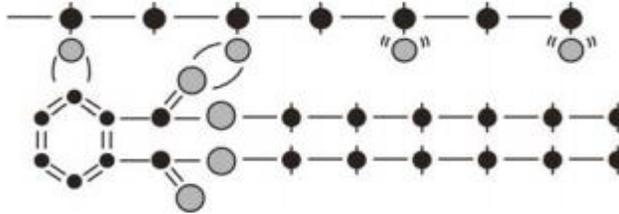
Fuente: BELTRÁN, Maribel; MARCILLA, Antonio. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. España: Universidad de Alicante, 2012. p.68.

Moorshead desarrolló un enfoque del efecto de la plastificación del PVC y los diferentes productos químicos apropiados para ser plastificantes. La función del plastificante es penetrar en el interior de la masa del polímero para separar cadenas y así reducir fuerzas de atracción. La fuerza cohesiva que atrae las moléculas del líquido debe poseer el mismo orden de la que atrae las moléculas del polímero, todo esto genera una mezcla adecuada entre el polímero y el plastificante.¹¹

Los grupos polares que poseen los plastificantes son importantes para lograr una buena compatibilidad, el resto de la molécula puede ser alifática o cíclica. En el caso de los ftalatos y de los fosfatos de arilo, mejora la resistencia a la tracción de un polímero, pero la flexibilidad es moderada, esto se debe a que las moléculas contienen grupos polares y polarizables; existe una alta cohesión en muchas de las cadenas del polímero. Asimismo, cuando el plastificante contiene moléculas no-polares y no-polarizables, se separan los dipolos del polímero, sin introducir nuevos puntos en las cadenas; los dipolos del polímero resultan apantallados por los grupos alifáticos del plastificante que se comporta como un líquido.

¹¹ BELTRAN, Op.cit., p.69.

Figura 4 Asociación plastificante-polímero.



Fuente: BELTRÁN, Maribel; MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. España: Universidad de Alicante, 2012. p.66.

Los plastificantes más utilizados son los siguientes:

Cuadro 1. Plastificantes.

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

Fuente: BELTRÁN, Maribel; MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. España: Universidad de Alicante, 2012. p.69

Alrededor del 93% de los plastificantes son ftalatos, estos son utilizados para crear productos versátiles en diferentes industrias. Dentro de este grupo se encuentra el DINP ó Di- iso- nonil- ftalato, el cual es un plastificante líquido con apariencia similar a los aceites vegetales, propoerciona flexibilidad al PVC. Los ftalatos se producen a partir de la síntesis de anhídrido ftálico y dos moléculas del alcohol correspondiente; el anhídrido ftálico se produce a partir de una oxidación catalítica

del naftaleno con una temperatura entre 400 °C y 500°C, utilizando un catalizador de pentóxido de vanadio.¹²

El plastificante más utilizado de la familia de los fosfatos es el TFF, este posee buenas propiedades gelificación, compatibilidad y es buen retardante de llama. Los plastificantes clasificados dentro de los epoxi, generalmente se utilizan como plastificantes secundarios.¹³

1.2.2 Estabilizantes. El estabilizante tiene como función ejercer una acción retardante de procesos de degradación como consecuencia de factores externos como el calor o la atmósfera. Otro tipo de propiedades que posee este aditivo es buena compatibilidad con el polímero y la efectividad en bajas concentraciones.¹⁴

Generalmente, se utilizan estabilizantes térmicos como los carboxilatos metálicos (R₂M), los cuales cubren mayor número de aplicaciones para polímeros como el PVC u otros halogenados. El mecanismo de reacción se debe a la acción del cloruro de hidrógeno y el estabilizante formado por la descomposición de PVC.¹⁴

Los estabilizantes más conocidos son derivados inorgánicos y organometálicos a base bario, plomo, cadmio, entre otros. Los estabilizantes de plomo son los más empleados en la industria por su bajo costo, su gran poder estabilizante y su capacidad de ser aislante térmico. Otro estabilizante reconocido en la industria es el estabilizante de estaño el cual a pesar de ser un poco costoso es bastante eficiente en su función.¹⁵

1.2.3 Lubricantes. En la industria existen diferentes problemas cuando se transforma el polímero y se presenta fricción excesiva en el desarrollo, generalmente ocurre en tolva de alimentación provocando problemas de transporte para continuar con el proceso. También ocurre la fricción entre el polímero ya fundido y los moldes metálicos involucrados, provocando imperfecciones y defectos no deseados. Para mitigar este tipo de problemas se utilizan los lubricantes, estos disminuyen las fuerzas de fricción y desgaste entre dos cuerpos.¹⁶

1.2.4 Cargas. Las cargas son compuestos cuyas temperaturas de fusión son mayores a la del perfil de temperatura del polímero. Son sólidos, orgánicos e

¹² LASTIVIDA. Esteres de Ftalatos: su relación con el PVC y sus diferentes aplicaciones. [en línea] p.4 [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: <http://ecoplas.org.ar/pdf/14.pdf>.

¹³ GARCIA. Op.cit., p.21

¹⁴ ZWEIFEL, Hans; AMOS, Stephen. Plastics Additives Handbook, Hanser Gardner Publications, 2001. p.362.

¹⁵ JIMENEZ, Alfonso. Características de la degradación térmica de los plastisoles vinílicos. España: Universidad de Alicante, 1996. p.16.

¹⁶ ZWEIFEL, Op.cit., p.539.

inorgánicos, inmiscibles con el polímero; su función principal es mejorar las propiedades de los plásticos en general. Dependiendo de sus características, las cargas pueden mejorar las propiedades mecánicas del compuesto.

Los carbonatos de calcio (CaCO_3) son las cargas más utilizadas a nivel industrial. Dependiendo del porcentaje y del contenido en las formulaciones, estas se pueden usar como material de relleno o como reforzantes.¹⁷

1.2.5 Pigmento. Sustancia, orgánica o inorgánica, que por un proceso previo ha sido reducida a polvo, tiene color característico y además debe cumplir con ciertas propiedades para que no se confunda con cualquier otro material en polvo, tales propiedades como que debe ser insoluble en el aglutinante y vehículo el cual se va a llevar al proceso, inercia química para no reaccionar con el aglutinante o demás pigmentos o agentes atmosféricos habituales.¹⁸

Además de esto ha de tener gran capacidad para cubrir y pigmentar teniendo en cuenta el tamaño de partícula que a su vez es importante para determinar el poder cubriente y colorante del mismo.

1.3 FORMULACIONES Y MEZCLAS CON PVC

Las siguientes formulaciones y mezclas con PVC hacen parte de la propuesta de este proyecto para mejorar las propiedades antideslizantes del calzado de seguridad producido por la compañía.

1.3.1 PVC- EVA. El etil-vinil-acetato es un copolímero de etileno- acetato de vinilo también conocido como EVA, este no contiene monómero fenólico orgánico.¹⁹ El EVA es un elastómero que con niveles de acetato de vinilo de al menos 40% se disuelve en cloruro de vinilo, esta mezcla se somete a una suspensión acuosa para la polimerización de radicales libres. En la práctica comercial la combinación 50% EVA y 50% PVC no requiere ningún plastificante para la producción de un material flexible. En el siguiente cuadro se exponen algunas propiedades de la mezcla mencionada anteriormente.²⁰

¹⁷ ECHEVERRÍA, Jose. Actualización de las formulaciones del PVC producido en la Empresa de conductores eléctricos Conrado Benítez "ELEKA". Cuba: Universidad Tecnológica de La Habana, 2018. p.16.

¹⁸ ZWEIFEL, Op.cit., p.831.

¹⁹ WYPYCH, George. Handbook of Odors in Plastic Materials, ChemTec Publishing, 2017. p.89

²⁰ WICKSON, Edward. Handbook of PVC formulating, Wiley Editor, 1993. p.629

Cuadro 2. Propiedades injerto del polímero 50/50 EVA-PVC

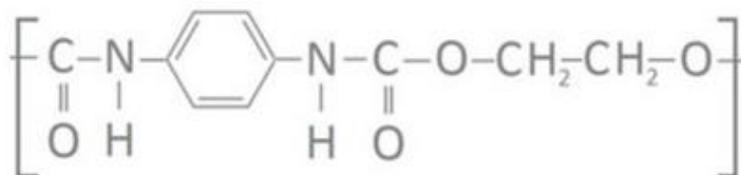
| | |
|-------------------------------|-----|
| Dureza Shore A | 75 |
| Elongamiento máximo, % | 330 |
| Temperatura de fragilidad, °F | -85 |

Fuente: WICKSON, Edward. Handbook of PVC formulating, Wiley Editor, 1993. p: 629

Para este tipo de mezclas se incluyen estabilizadores típicos par el PVC y antioxidantes para el EVA. El procesamiento del polímero PVC- EVA requiere de técnicas especiales en donde se utiliza el equipo de procesamiento típico de PVC.
20

1.3.2 PVC- TPU. El poliuretano termoplástico (TPU) es un elastómero que no requiere de vulcanización para su proceso, se constituye del polímero con el enlace de uretano que forma parte del grupo funcional NCO (isocianato) y un grupo OH (poliol). El TPU cuya molécula se representa en la figura 5, se puede manejar tanto en segmentos duros como en segmentos blandos, puede ser tan blanco como el caucho o tan duro como un plástico rígido. ²¹

Figura 5. Molécula de TPU.



Fuente: MEXPOLIMEROS. Polímeros de Ingeniería (TPU). [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020]. Disponible en:
<https://www.mexpolimeros.com/tpu-1.html>

El TPU es un material versátil, con una alta elasticidad, excelente resistencia a la abrasión y al impacto, además soporta altas temperaturas. Asimismo, se caracteriza por presentar resistencia a lubricantes y aceites, aunque con el contacto con

²¹ MEXPOLIMEROS. Polímeros de Ingeniería (TPU). [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/tpu-1.html>

hidrocarburos saturados como el gasóleo o el queroseno, se presenta un hinchamiento reversible en las propiedades mecánicas. En la industria se encuentra en diferentes aplicaciones, el TPU en la industria del calzado es fácil de procesar y sobre todo por sus propiedades mecánicas genera interés a largo plazo, principalmente por la durabilidad de las suelas.²¹

1.3.3 Poliuretano. Para sustituir al caucho se desarrolló un nuevo material denominado poliuretano (PU) desde la Segunda Guerra Mundial. Desde aquella época este polímero orgánico presenta numerosas aplicaciones como por ejemplo los recubrimientos resistentes a la corrosión en metales y maderas; más adelante se desarrollaron proyectos que incluían este material en otros recubrimientos, elastómeros y espumas rígidas.²²

El poliuretano es la mezcla entre dos compuestos el polioliol y el isocianato, líquidos que a temperatura ambiente producen una reacción exotérmica formando enlaces y una estructura sólida y uniforme²³ (figura 6). La unión de estos compuestos no solo genera poliuretano, paralelamente se producen diecisiete reacciones que tienen como producto uretanos, alofanatos, ureas modificadas, cianatos prepolimeros, entre otros.²⁴

El PU posee un coeficiente de transferencia de calor bajo, alta resistencia a la absorción de agua, excelente adherencia a otros materiales, resistencia al ataque de ácidos diluidos, hidrocarburos alifáticos (gasolina, disel, propano) o sales; también posee muy buena estabilidad dimensional entre rangos de temperatura entre 100° C y 200 °C.²²

²² JIMÉNEZ, Leidy. Análisis de la influencia de la incorporación de fragmentos de espuma de EVA en las propiedades del PU, Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2008. p.20.

²³ AISLA. Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado.[en línea] Madrid, España: AISLA, 2016. p.7.

²⁴ JIMENÉZ. Op. cit., p.22.

2. DIAGNÓSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS ANTIDESLIZANTES DE LAS SUELAS DE CALZADO DE SEGURIDAD PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Este capítulo desarrolla la explicación del problema, antecedentes y pruebas desarrolladas por parte de la compañía. Además expone el proceso de inyección de calzado de seguridad en las diferentes líneas de botas de PVC, esto incluye la descripción de los equipos utilizados y la terminología de los defectos de las botas y las suelas inyectadas.

Términos como coeficiente de fricción dinámico, coeficiente de fricción estático, fuerzas ejercidas, áreas, geometría de la suela y la estandarización del ensayo de resistencia al deslizamiento, son indispensables para desarrollar la experimentación de esta propuesta.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Dentro del portafolio de la compañía se encuentra la línea de protección PVC. Los productos que se han diseñado con suela antideslizante siguen las especificaciones de la Norma ASTM F 2677:05 bajo los ensayos de un laboratorio especializado en pruebas de calzado, textiles y cueros llamado Precision Testing Laboratories; en los ensayos se ha evaluado las propiedades físicas y mecánicas de calzado con inyección en policloruro de vinilo (PVC) el cual aporta protección, seguridad y durabilidad; la suela de este tipo de calzado además cuenta con labrado profundo que permite tener mayor agarre. Los productos que poseen suela con estas características son: La Macha, Workman Oil Resistant, Workman Food Industry y Workman Waterproof; este calzado sigue altos estándares de calidad, sin embargo, no se ha realizado la certificación NTC como botas de trabajo.²⁶

Desde el año 2017 se realizó el estudio de la bota Workman Rubber Superfiremen, evaluando la resistencia de penetración de diferentes líquidos y también el coeficiente de fricción del modelo de la bota Croydon Fire. A pesar de que las pruebas fueran positivas para cumplir con la normatividad de seguridad ASTM 2913:11, las botas no estaban certificadas bajo la norma ISO 20344: 11 lo cual generó los primeros pasos hacia la comparación con otros productos del mercado los cuales están certificados.²⁷

²⁶ WORKMAN [Anónimo]. Catálogo Seguridad y Protección en todo terreno. [en línea] [Consultado: 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://workman.com.co/Catalogo/catalogo.pdf>

Con una temperatura de 23°C y el estudio de resistencia de deslizamiento en ISO 20344: 11 e ISO 13287: 12 el laboratorio Intertek evaluó tres botas de Croydon Colombia S.A utilizando una superficie de acero y Euro-lite 2 lubricados en glicerina y NaLS respectivamente; los modelos de evaluación de la bota Venus, La Macha y una bota similar a La Macha con una modificación en la geometría de la suela el deslizamiento hacia adelante del talón y el deslizamiento plano hacia adelante. Los resultados arrojaron que las botas no cumplían la mayoría los requerimientos mínimos, en donde la que mejor desempeño tuvo fue la bota La Macha sin modificaciones en el labrado de la suela. A partir de esto se evaluó la diferencia con botas de la competencia, identificando que a simple vista el labrado presenta una diferencia significativa en su geometría.²⁷

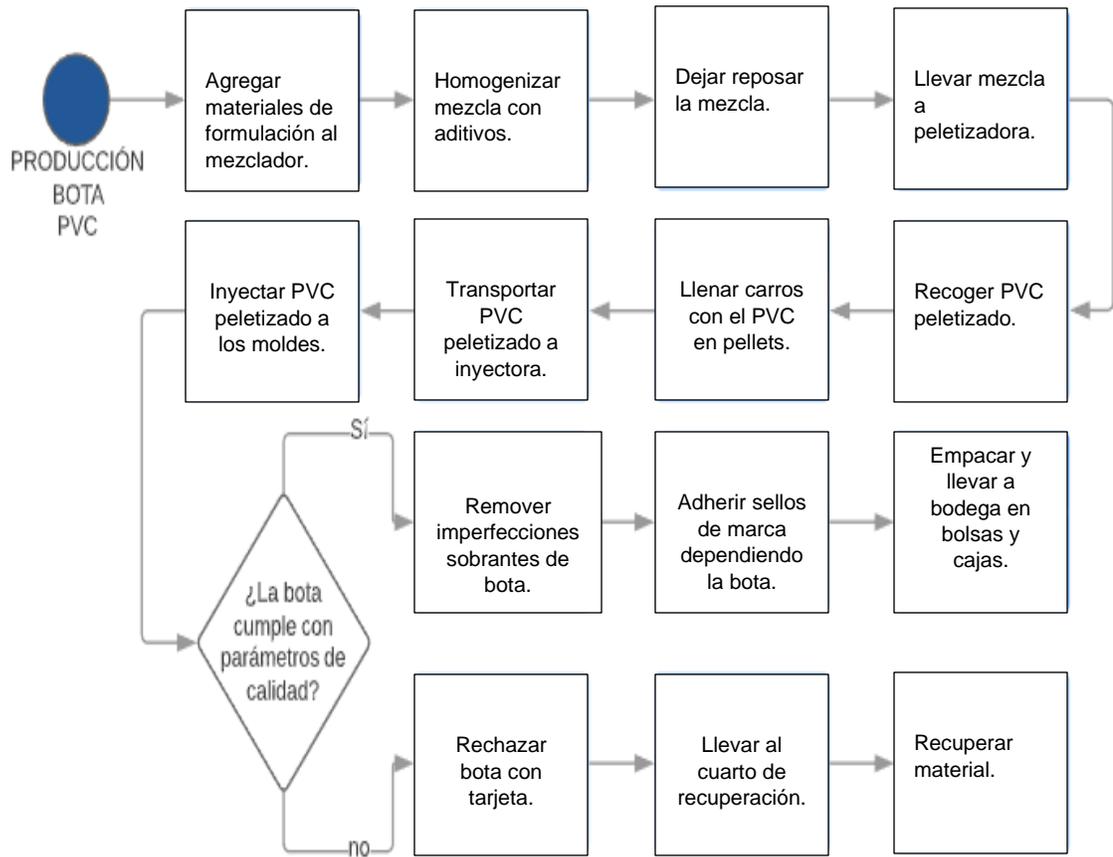
Otra diferencia con las botas del mercado competencia fue la formulación del material de la suela, el primer compuesto identificado es el Purofort el cual está compuesto por poliuretano aislante, otros compuestos son el nitrilo y la mezcla entre etilenvinilacetato (EVA) y policloruro de vinilo (PVC).

2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN ACTUAL

Las botas de Policloruro de Vinilo (PVC) producidas en la compañía tienen diferentes características como ser impermeables y resistentes a diferentes solventes. Primero se realiza un mezclado de compuestos en una máquina, este mezclado debe tener un enfriamiento y reposo; luego la mezcla pasa a un proceso de peletización que por medio de una temperatura y presión la mezcla se homogeniza, pasa por unas cuchillas que cortan el PVC en estado sólido en partes pequeñas; luego se lleva el material a las inyectoras, cada una tiene una programación de temperatura y tiempo de retención donde el material se homogeniza y después es inyectado a cada molde. La inyectora Ottogalli permite la dosificación de material en pellets (granulado de PVC). El digrama 1 expone cada uno de los procesos involucrados para la producción de botas de PVC:

²⁷ CROYDON COLOMBIA S.A. Prueba de resistencia al deslizamiento en ISO 20344:11 & ISO 13287:2012. Bogotá D.C: Croydon Colombia S.A Departamento de Calidad, 2019.

Diagrama 1. Proceso de producción botas PVC.



Fuente: elaboración propia.

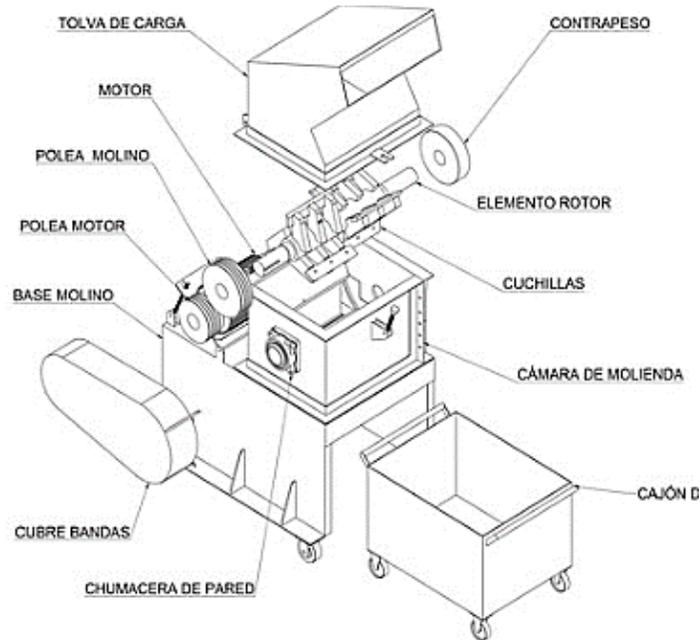
2.3 EQUIPOS INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE BOTAS DE CALZADO DE SEGURIDAD

Para la producción de botas de calzado de seguridad, la compañía realiza varias operaciones que involucran diferentes equipos para realizar la homogenización, laminado, trituración, mezcla e inyección utilizando como materia prima PVC.

2.3.1 Molino de cuchillas. Son máquinas rotativas que cuentan con dos hileras de cuchillas montadas encima de un rotor o soporte fijo, la cámara de molienda se encarga de aislar las cucilllas del molino del medio. Este tipo de molino como se demuestra en la figura 7, cuenta con una alimentación del material el cual es cortado por las cuchillas que cuentan con una separación de apenas pocos milímetros.

Después de este proceso, el material se encuentra en un embudo colector o sistema de almacenamiento y se verifica que el tamaño sea el adecuado. ²⁸

Figura 7. Molino de cuchillas.

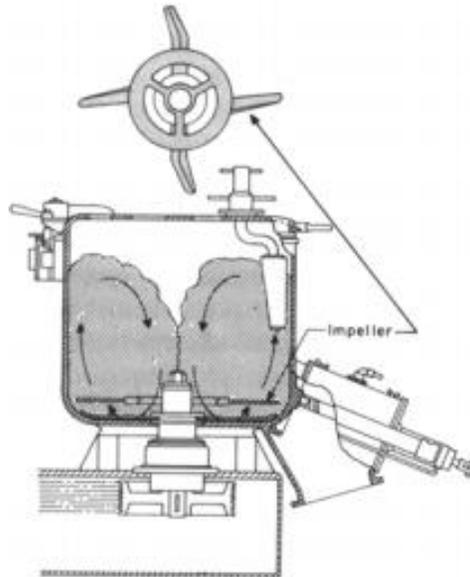


Fuente: MAQUINOVA. Molino de cuchillas. [en línea]
[Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en:
<https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/productos/molinos/de-cuchillas/>

2.3.2 Mezclador Henschel. Se hace uso de este mezclador ya que esta marca es una de las más conocidas en el mundo en la industria del plástico; principalmente tiene mecanismos de propulsión, giratorios y de enganche (figura 8). En este mezclador se agrega el PVC en polvo junto con otros aditivos para su posterior procesamiento se mezclan uniformemente en este equipo dependiendo de requerimientos de producción se hace la respectiva formulación para agregar cuidadosamente.

²⁸ CÁRDENAS, Daniel; SHOMAR, Bernardo; SOLORIO, Alejandro. Análisis de cuchillas de molino para termoplásticos MOD. 2650 y diseño para una mayor duración. Instituto Politécnico Nacional, 2012. p. 5.

Figura 8. Mezclador Henschel.

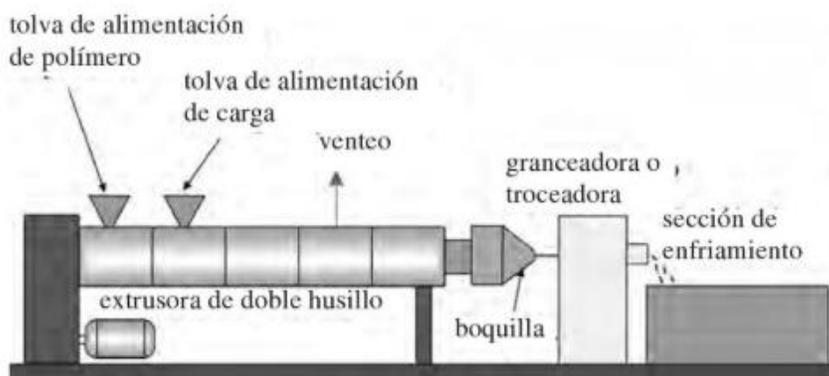


Fuente: MEZCLADORES INTENSIVOS [Anónimo]. Mezcladores intensivos en seco. [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8286/1/Tema4mezclado.pdf>

2.3.3 Extrusora. Máquina utilizada para crear objetos con sección transversal definida, cuenta con un dosificador, hace uso de un tornillo sinfín y una boquilla que es la que le da forma al producto final (figura 9). En este equipo el material es alimentado al dosificador el cual por medio de una tolva lo lleva al tornillo sinfín en el cual a elevada temperatura funde el material haciendo que este pase por la boquilla.²⁹

²⁹ BELTRÁN, Maribel; MARCILLA, Antonio. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. Universidad de Alicante, 2012. p.80

Figura 9. Extrusora.



Fuente: BELTRÁN, Maribel; MARCILLA, Antonio. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. Universidad de Alicante, 2012. p.80

2.3.4 Máquina inyectora. Máquina que se usa para inyectar el polímero directamente en los moldes, con el fin de fabricar botas de PVC, se hace uso de máquina italiana Ottogalli. Esta cuenta con tolvas, refrigeradores, alimentadores de pellets, cintas transportadoras de producto terminado y un PLC (figura 11). Es clave en el proceso de inyección ya que se hace uso de los moldes en los cuales se pone la media para su posterior inyección, luego se cierran los moldes, se carga el material y se inyecta dentro de las cavidades huecas del molde a una temperatura, presión y velocidad específicas; finalmente se enfrían los moldes y se retira la bota.³⁰

Un ciclo de inyección de una máquina inyectora posee diferentes tiempos de operación. De acuerdo con Aponte, el tiempo del cierre del molde se ejecuta cuando la máquina cierra el molde. La velocidad de inyección, la temperatura de operación y el tamaño del molde, son factores que inciden sobre el tiempo de inyección; un tiempo importante en el proceso es también el que se emplea en la compactación, el material inyectado comienza a enfriarse y a contraerse, generalmente se ejerce una presión en el interior del molde.³¹

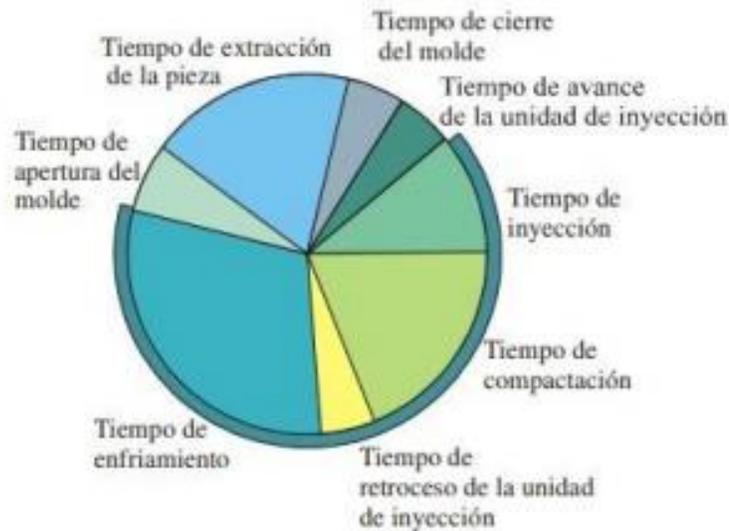
Los periodos finales de la inyección son el tiempo de retroceso de la unidad de inyección, tiempo de enfriamiento, apertura del molde, el periodo de extracción de

³⁰ APONTE, Esteban; VALDERRAMA, Estiven. Automatización de una máquina inyectora Ottogalli de dos tornillos para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019. p.8

³¹ *Ibíd.*, p.9.

la pieza y del cierre del molde. La figura 10 expone la duración relativa en las diferentes etapas dentro de un ciclo:

Figura 10. Duración relativa en las diferentes etapas de ciclo de inyección.



Fuente: APONTE, Esteban; VALDERRAMA, Estiven. Automatización de una máquina inyectora Ottogalli de dos tornillos para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019. p.8

Las máquinas de inyección poseen las siguientes características: La capacidad de inyección hace referencia a la capacidad máxima que posee una máquina para inyectar, esta se determina a partir del diámetro y la carrera del pistón de inyección; el tamaño de los moldes también se relacionan con la capacidad de la inyectora. La unidad de inyección consume el 50% de la capacidad máxima en un ciclo, se recomienda que el consumo no sea inferior al 20% ni superior al 80% de la carga inicial de material.³²

³² *Ibíd.*, p.10.

Figura 11. Máquina inyectora.



Fuente: EXAPRO. Venta de maquinaria usada. [en línea] [Consultado: 5 noviembre 2019] Disponible en: <https://www.exapro.com/ottogalli-d2-p90307006/>

La capacidad de plastificación puede ser definida como la cantidad máxima de material que la máquina puede plastificar por unidad de tiempo; esta capacidad de plastificación depende de la cámara de plastificación en cuanto a la eficacia para calentarse y las propiedades térmicas del material que se va a plastificar.³²

Por otro lado, la presión de inyección se define de la siguiente manera:

Ecuación 1. Presión de inyección.

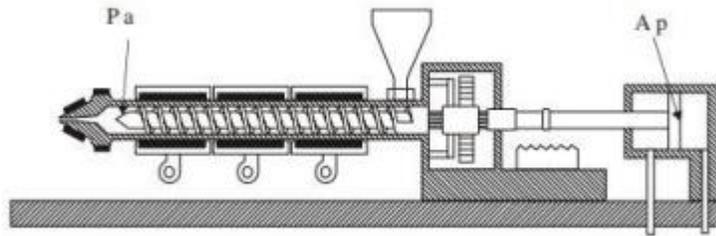
$$P = p \frac{A}{a}$$

Fuente: APONTE, Esteban; VALDERRAMA, Estiven. Automatización de una máquina inyectora ottogalli de dos tornillos para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019. p.12

Siendo P la presión de inyección, p la presión de la línea hidráulica, a la medida en la cara delantera del husillo de inyección y A la medida en la cara trasera el husillo

de inyección. En la siguiente figura se identifica la posición en la que se determina la presión de inyección y la presión del sistema hidráulico que actúa sobre el tornillo sinfín:

Figura 12. Posiciones de presiones en el tornillo sinfín.



Fuente: APONTE, Esteban; VALDERRAMA, Estiven. Automatización de una máquina inyectora Ottogalli de dos tornillos para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019. p.12

La presión de inyección no se puede confundir con la presión de compactación ya que se desarrolla en las cavidades de moldeo y es mucho menor en comparación ya que puede alcanzar solamente valores del 20% de la presión de inyección y esto a su vez depende de las características del molde, las condiciones de moldeo y el material a inyectar.³³

La velocidad de inyección es el caudal del material que sale de la máquina de inyección este se declara en cm^3/s y es la medida de la rapidez con la que se puede llenar el molde de inyección, generalmente viene dada por la velocidad de inyección de desplazamiento del husillo de inyección, a su vez se puede expresar como el número de veces por unidad de tiempo que el husillo hace su recorrido cuando no hay material en el cilindro. Esta depende de la presión de inyección, la temperatura de la cámara de calefacción, características del material a inyectar y por último el desplazamiento del husillo de inyección.³⁴

La fuerza de cierre mantiene unidas las dos mitades del molde de inyección, la presión en la cavidad de moldeo es considerablemente menor que la presión de inyección y esto hace que se genere una fuerza que tiende a separar las dos mitades del molde y esta a su vez necesita ser contrarrestada por la fuerza de cierre que sea superior a esta para que el molde se mantenga cerrado mientras culmina

³³ *Ibíd.* p.11.

el proceso de inyección. Entre mayor es la fuerza para mantener cerrado el molde, mayor el área transversal de la pieza a moldear.³⁴

2.4 TERMINOLOGÍA CROYDON

Los siguientes términos se refieren a los residuos del proceso y a los defectos encontrados por el personal de compañía, estos defectos deben ser identificados para mejorar variables de operación de la máquina de inyección y así evitar la pérdida de material en los lotes de producción.

2.4.1 Escaso material suela. Cuando la máquina inyectora presenta bajas presiones en un tiempo determinado e inyecta poca cantidad de material, se evidencia este fenómeno. Otro motivo también puede relacionarse a la baja temperatura de la máquina, la fluidez del material no se genera por la viscosidad afectada del material. El producto sale incompleto cuando no se inyecta el material necesario (figura 13).

Figura 13. Escaso material suela.



Fuente: elaboración propia.

2.4.2 Filtración de material. Pueden encontrarse dos casos, el primero hace referencia a la filtración caña-suela (figura 14) en donde el material inyectado de la caña toma parte del espacio perteneciente al de la suela. También se puede

³⁴ *Ibíd.* p.12.

encontrar esta problemática de forma contraria, denominando esto filtración suela-caña (figura 15) el cual es causado por la alta presión en el momento de inyectar el material, en donde el material sale de los límites del molde tomando el lugar de la suela.³⁵

Figura 14. Suela con filtración de material.



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Caña con filtración de material.



Fuente: elaboración propia.

³⁵ CASTRO, Lina; PLAZAS, Erika. Desarrollo de una propuesta de mejora en el proceso de recuperación de material no conforme en la producción de botas de PVC para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Trabajo de Grado. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América, 2017. p.35.

2.4.3 Suela contraída. Este defecto se presenta cuando el material inyectado tiene los denominados por los operarios huecos en la suela. El material de la suela se ve contraído como consecuencia de bajas condiciones de operación tales como la presión y la temperatura (figura 16).³⁶

Figura 16. Suela con depresión.



Fuente: elaboración propia.

2.4.4 Suela quemada. Cuando la suela presenta un color opaco o de apariencia carbonizada se identifica esta imperfección (figura 17). Es un defecto del PVC cuando este se degrada, esto se debe a que hay altas temperaturas cuando se inyecta el material.

³⁶ Ibíd. p.38.

Figura 17. Suela quemada.



Fuente: elaboración propia.

2.4.5 Puntos de inyección. La máquina de inyección contiene unos orificios que tienen como función transferir el PVC desde la máquina a los moldes. Este tipo de residuo se encuentra en la máquina Ottogalli en donde el operario retira estos puntos de inyección (figura 18) y los separa por colores para reincorporar este material en el proceso de producción de botas PVC.³⁷

Figura 18. Puntos de inyección.



Fuente: elaboración propia.

³⁷ Ibíd. p.38.

2.4.6 PVC recuperado post- consumo. El Departamento de gestión ambiental de la empresa ha desarrollado un programa de post-consumo en donde los clientes, cuando la vida útil del calzado de PCV culmina hacen una devolución para beneficios ambientales y económicos³⁸. Un ejemplo de material recuperado se muestra en la figura 19:

Figura 19. Material recuperado post-consumo.



Fuente: elaboración propia.

2.5 GENERALIDADES DE LAS BOTAS DE SEGURIDAD

Las botas de seguridad son elementos de protección de pies o piernas de un trabajador, cubren el pie y parte de la pierna con el objetivo de proporcionar protección frente a un riesgo específico. Los golpes, aplastamientos, pinchazos, frío, calor, humedad, agentes químicos y biológicos, resbalones, tropiezos o contacto eléctrico son los posibles factores que afectan la seguridad y comodidad del trabajador en sus diferentes actividades.³⁹

La norma ISO NTC 20344: 2012 describe al calzado de seguridad como un calzado que incorpora elementos para proteger al usuario de diferentes lesiones que pueden ser causadas por accidentes laborales. El calzado de seguridad está equipado con una puntera diseñada a partir de ensayos para soportar al menos 200 J, frente a

³⁸ *Ibíd.* p.39.

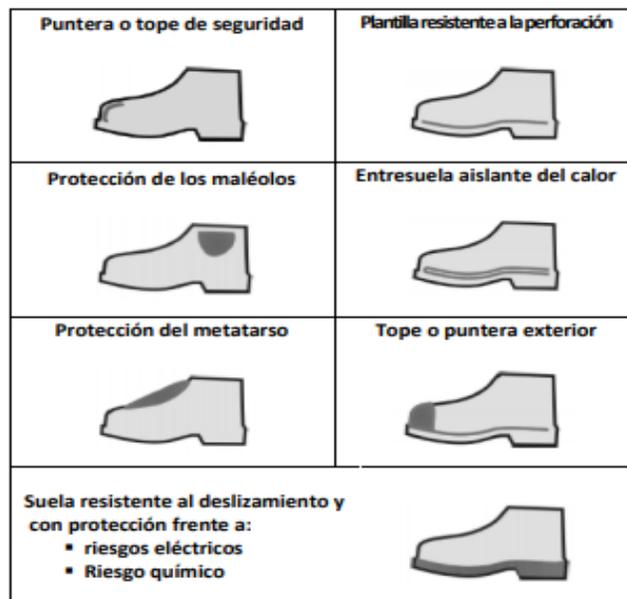
³⁹ FEMAP. Protección individual. [en línea] [Consultado: 26 de marzo de 2020] Disponible en: <https://prevencion.fremap.es/Buenas%20prcticas/ME.TRI.069.pdf>

una comprensión de 15 kN, para obtener una protección frente a situaciones de impacto.⁴⁰

Los riesgos que se pueden presentar en la actividades laborales pueden ser de tipo mecánico, eléctrico, químico o térmico. Los riesgos mecánicos se presentan cuando un objeto cae encima de la puntera, cuando cae un objeto en el metatarso, caídas por deslizamiento, caída e impacto sobre el talón; para ello se incorporan elementos de protección como la puntera, la protección para el metatarso, suela antideslizante y un tacón en la suela (figura 20).⁴¹

Asimismo, para mitigar los otros riesgos laborales nombrados anteriormente se incorporan suelas aislantes al calor, a la electricidad, suelas resistentes a agentes químicos o en otros casos suelas resistentes a elevadas temperaturas, las cuales son utilizadas por bomberos.

Figura 20. Generalidades calzado de seguridad.



Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Equipo de protección individual de pies y piernas. NTP 773. Calzado. Generalidades. España: NTP. p.2.

⁴⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Equipo de protección individual. Métodos de ensayo para calzado. NTC- ISO 20344. Bogotá: ICONTEC, 2012. p.1.

⁴¹ FEMAP, Op.cit., p.1

2.6 GENERALIDADES DE LAS SUELAS DE CALZADO DE SEGURIDAD

Este calzado también contiene otro elemento importante, la suela, la cual tiene como función evitar el deslizamiento. Para cumplir con este objetivo es necesario seguir unos parámetros que incorpora principalmente el agarre de la suela, la cual se refiere a la fricción generada entre el calzado y el piso. Se utiliza en las suelas materiales como el caucho (especialmente caucho de nitrilo), poliuretano, mezclas de PVC- nitrilo y PVC (puro).⁴²

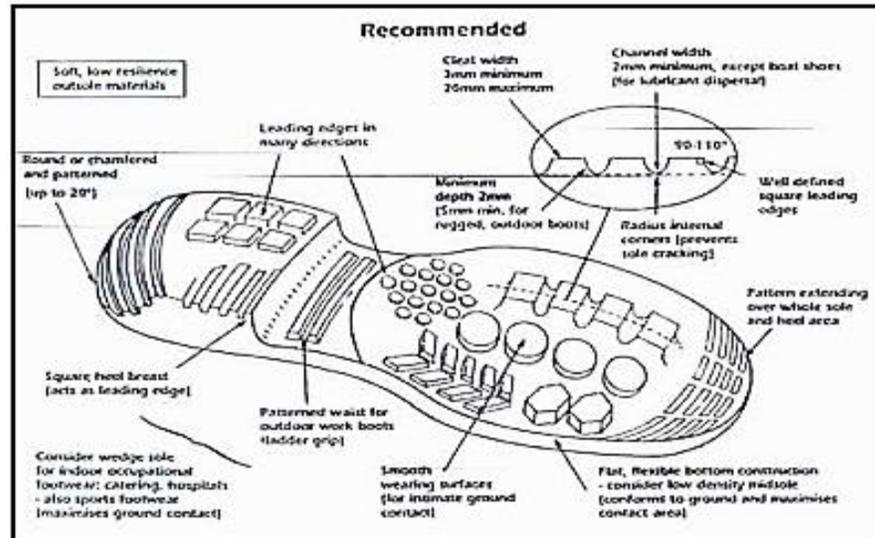
2.6.1 Labrado y geometría de suelas antideslizantes. El agarre de la suela en medios húmedos y áreas resbaladizas es un factor crítico, según Weigall el patrón o geometría de la suela del zapato permite que el talón penetre los líquidos o contaminantes y haga contacto directo con el piso. Los bordes del labrado deben ser afilados para barrer cualquier líquido y a la vez el labrado contiene canales o surcos distintos direccionados hacia el borde de la suela con el objetivo de drenar líquidos con mayor facilidad. Por otro lado, Weigall analiza que el área de impacto del talón debe tener un borde redondeado que en paralelo se beneficia con un labrado acanalado.⁴²

Las características de suelas antideslizantes se muestran en la figura 21. Dentro de las recomendaciones los biseles del calzado tienen ángulos entre 10° y 20° reduciendo resbalones en la fase del talón del calzado. Los labrados además presentan profundidad para que el usuario camine en una amplia gama de superficies con contaminantes como grava, barro, rocas, líquidos o lubricantes. Los canales incorporados en la geometría de la suela suelen ser diseñados con un tamaño pequeño específicamente para ser utilizado en espacios mojados y tener la capacidad de dispersar los líquidos presentes; sin embargo, una desventaja de este modelo es que cuando se utilizan estos zapatos en terrenos irregulares como por ejemplo con presencia de rocas las suelas no pueden adherirse a la superficie, aumentando la probabilidad de provocar un deslizamiento.⁴³

⁴² WEIGALL, Fiona. Formal Safety Assessment: Personal Protective Equipment in Marine Pilot Ladder Transfers, 2009. p.18.

⁴³ *Ibíd.*, p.19.

Figura 21. Recomendaciones suelas de calzado de seguridad.

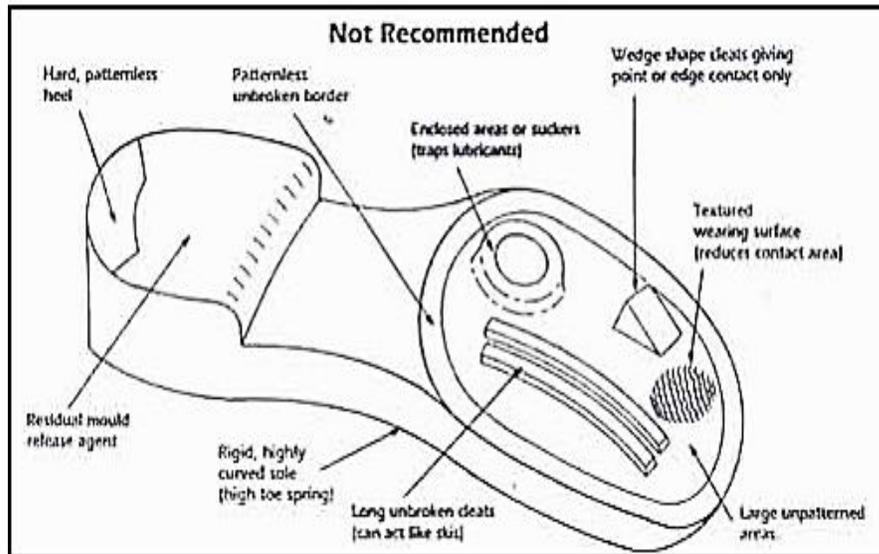


Fuente: WEIGALL, Fiona. Formal Safety Assessment: Personal Protective Equipment in Marine Pilot Ladder Transfers, 2009. p.19

No se recomienda en el calzado de seguridad áreas ventosas o encerradas, superficie con texturas, tacos largos en el labrado, alta dureza en la parte del talón y en el borde de la huella. Por último, también es indispensable no diseñar formas triangulares (conos), ni tampoco crear suelas rígidas altamente curvadas, ni tener residuos de desmolde en ninguna parte de la superficie de la suela. ⁴⁴

⁴⁴ *Ibíd.*, p.20.

Figura 22. Características no recomendadas en las suelas para evitar deslizamiento.



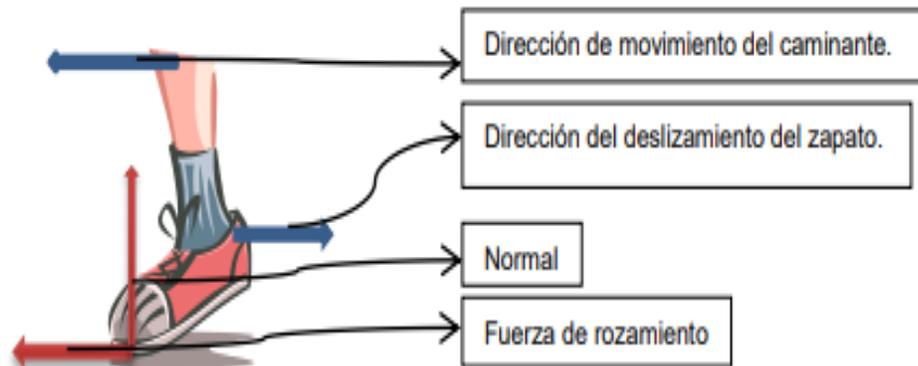
Fuente: WEIGALL, Fiona. Formal Safety Assessment: Personal Protective Equipment in Marine Pilot Ladder Transfers, 2009. p.20

2.7 MÉTODO DE MEDICIÓN DESLIZAMIENTO DE SUELAS

A nivel microscópico la fuerza de rozamiento depende la fuerza normal, los materiales y la rugosidad de las superficies de contacto involucradas. En caso de que las superficies no son totalmente planas, al tener contacto una superficie con otra sus ondulaciones se enganchan generando resistencia al deslizamiento. La fuerza de rozamiento es considerada como el movimiento contrario al objeto, en otros casos es posible cuando el deslizamiento es relativo entre las superficies. Por ejemplo, cuando una persona camina la fuerza de fricción va hacia adelante en dirección contraria al posible deslizamiento.⁴⁵

⁴⁵ HINCAPIÉ, Herson. Predicción, Experimentación y Simulación en la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 2011. p. 8

Figura 23. Fuerzas involucradas al caminar



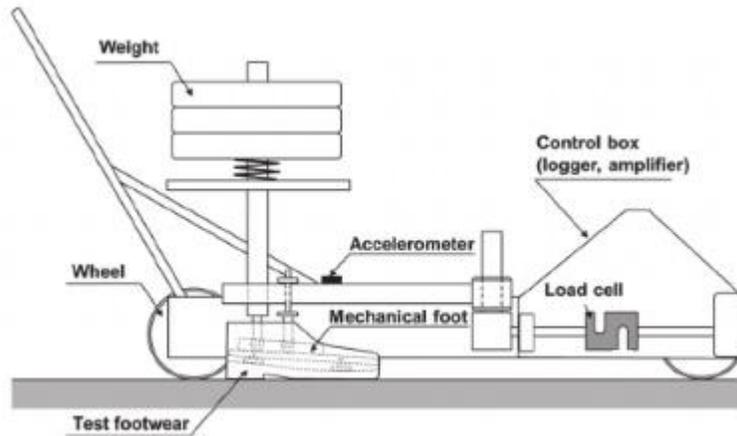
Fuente: HINCAPIÉ, Herson. Predicción, Experimentación y Simulación en la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 2011. p.8

Para medir el antideslizamiento de las suelas se utiliza un indicador de fuerza en donde las condiciones de medición incluyen el coeficiente de fricción estático y el coeficiente de fricción dinámico. La superficie debajo del pie es altamente utilizada como medida de la resistencia al deslizamiento y se quiere llegar a obtener un alto valor de los coeficientes de fricción previamente nombrados; para ello se incorporan dos variables importantes: la geometría del calzado y la rugosidad de la superficie.

En el estudio de Yamaguchi y Hokkirigawa es necesario realizar la comparación entre una huella con superficie lisa y otra con superficie rugosa en un medio que genera deslizamiento, utilizando una superficie lisa (acero inoxidable) adicionando una película de solución de glicerol. Un probador de fricción “tipo carro” (figura 24) es empujado sobre la superficie del piso en conjunto con el calzado de prueba y una carga normal a la interfaz del suelo con pesas (50 Kg), los datos recopilados fueron la fuerza y la aceleración del desplazamiento. El coeficiente de fricción entre el calzado y la superficie se calcula haciendo la relación entre la fuerza de arrastre medida y la carga normal (ecuación 2).⁴⁶

⁴⁶ YAMAGUCHI, Takeshi; HOKKIRIGAWA, Kazuo. Development of a High Slip-resistant Footwear Outsole Using a Hybrid Rubber Surface Pattern, Japón: Universidad de Tohoku, 2014. p.415

Figura 24. Probador de fricción tipo carro.



Fuente: YAMAGUCHI, Takeshi; HOKKIRIGAWA, Kazuo. Development of a High Slip-resistant Footwear Outsole Using a Hybrid Rubber Surface Pattern, Japón: Universidad de Tohoku, 2014. p.416

Donde f_h y f_n son la fuerza de fricción y la carga normal respectivamente, F es la fuerza de arrastre, m es la masa del calzado y los pesos, a_h es la aceleración horizontal y finalmente g es la fuerza gravitacional. ⁴⁶

Ecuación 2. Coeficiente de fricción.

$$COF = \frac{f_h}{f_n} = \frac{F - ma_h}{mg}$$

Fuente: YAMAGUCHI, Takeshi; HOKKIRIGAWA, Kazuo. Development of a High Slip-resistant Footwear Outsole Using a Hybrid Rubber Surface Pattern, Japón: Universidad de Tohoku, 2014. p.416

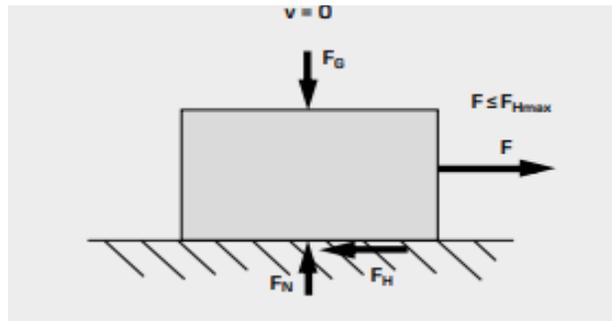
El coeficiente de fricción estático (SCOF) se da cuando hay interacción entre las irregularidades de dos superficies, este aumenta para evitar cualquier movimiento hasta un límite, cuando ya se ejecuta el desplazamiento. El coeficiente de fricción estático es generalmente mayor que el coeficiente de fricción dinámico o cinético; se calcula a partir de la ecuación 3, donde $F_{\mu max}$ es la fuerza de adhesión máxima, μ_s es el índice de rozamiento estático y F es la fuerza externa⁴⁷:

Ecuación 3. Coeficiente de fricción estático.

$$F_{\mu max} = \mu_s * F$$

Fuente: GUNT [Anónimo]. Razonamiento estático y dinámico. [en línea] p.1 [Consultado: 19 de marzo de 2020] Disponible en: https://www.gunt.de/images/download/Rozamiento-esttico-y-dinmico-conocimientos-bsicos_spanish.pdf

Figura 25. Coeficiente de fricción estático.



Fuente: GUNT [Anónimo]. Razonamiento estático y dinámico. [en línea] p.1 [Consultado: 19 de marzo de 2020] Disponible en: https://www.gunt.de/images/download/Rozamiento-esttico-y-dinmico-conocimientos-bsicos_spanish.pdf

⁴⁷ WILSON, Jerry; BUFFA, Anthony. Física. Pearson Educación, 2002. p.125.

Por otro lado, el coeficiente de fricción dinámico (DCOF) ocurre justo en el momento en el que un cuerpo que se encuentra en contacto con una superficie pasa de un estado de reposo a un estado de movimiento. En el instante en el que el cuerpo debe hacer un cambio de estado de movimiento, debe vencer o sobrepasar la fuerza estática que tenía, además de vencer la inercia. Una vez vencida esta fuerza, se habla de que la fricción que existe cuando un cuerpo ya se encuentra en movimiento, es la fricción dinámica⁴⁷.

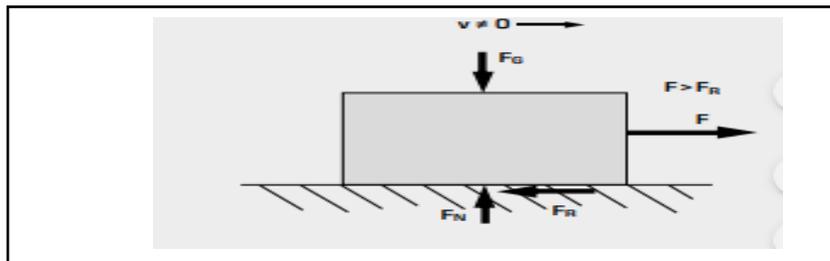
El coeficiente de rozamiento dinámico expresa la oposición al deslizamiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto. Depende además de muchos factores como la temperatura, el acabado de las superficies, la velocidad relativa entre las superficies, etc. Para calcular el coeficiente de rozamiento dinámico se utiliza la ecuación 4, F_R es la fuerza de rozamiento dinámico, μ_k es el índice de rozamiento dinámico y F es la fuerza externa:

Ecuación 4. Coeficiente de fricción dinámico.

$$F_R = \mu_k * F$$

Fuente: GUNT [Anónimo]. Rozamiento estático y dinámico. [en línea] p.1 [Consultado: 19 de marzo de 2020] Disponible en: https://www.gunt.de/images/download/Rozamiento-esttico-y-dinmico-conocimientos-bsicos_spanish.pdf

Figura 26. Coeficiente de fricción dinámico.

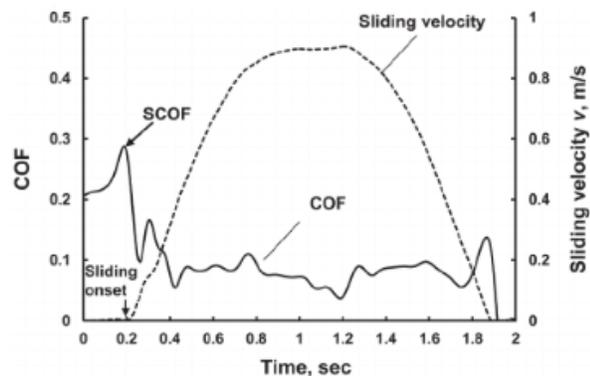


Fuente: GUNT [Anónimo]. Rozamiento estático y dinámico. [en línea] [Consultado: 19 de marzo de 2020] Disponible en: https://www.gunt.de/images/download/Rozamiento-esttico-y-dinmico-conocimientos-bsicos_spanish.pdf

El ensayo desarrollado por Yamaguchi y Hokkirigawa, demostró que la variación del tiempo es representativa en el coeficiente de fricción y la velocidad de

deslizamiento. El primer pico de la figura 27 representa el SCOF, justo antes del deslizamiento. Para el análisis de resultados se utilizan valores medios de DCOF, estos valores varían según el tipo de calzado al igual que las velocidades de desplazamiento.⁴⁸

Figura 27. Variación de tiempo representativa en el coeficiente de fricción (COF) y la velocidad de deslizamiento.

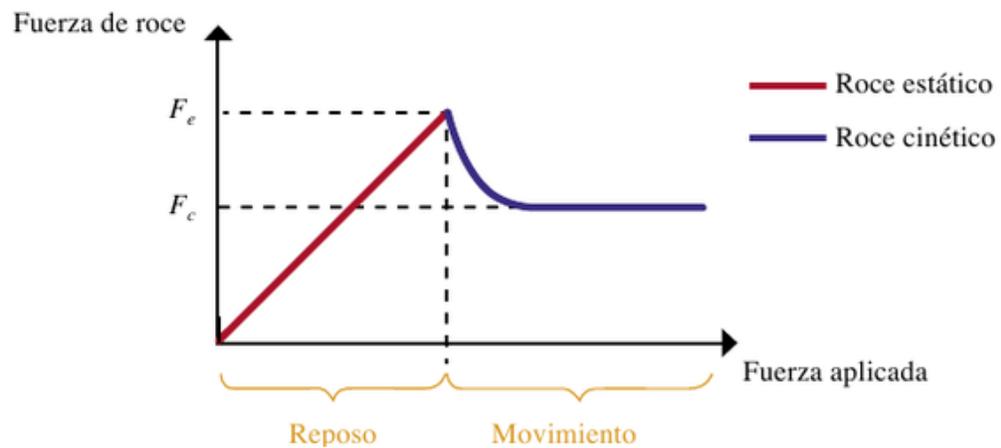


Fuente: YAMAGUCHI, Takeshi; HOKKIRIGAWA, Kazuo. Development of a High Slip-resistant Footwear Outsole Using a Hybrid Rubber Surface Pattern, Japón: Universidad de Tohoku, 2014. p.417

En la siguiente figura se observa el comportamiento de la fuerza de rozamiento estática y dinámica. En ella, la fuerza estática de rozamiento aumenta hasta un valor máximo, a partir del cual el cuerpo comienza a moverse. A continuación esa fuerza disminuye hasta adquirir un valor constante, correspondiente a la fuerza de rozamiento cinética o dinámica.

⁴⁸ YAMAGUCHI, Op.cit., p.417

Figura 28. Comportamiento fuerza de fricción estática y dinámica.



Fuente: Fisich.ch. Dinámica. [en línea] [Consultado: 26 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.fisic.ch/contenidos/din%C3%A1mica/tipos-de-fuerzas/>

2.8 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

En el laboratorio de Croydon Colombia S.A. se estudian las propiedades físicas y mecánicas de las suelas de calzado de seguridad para verificar la calidad del producto.

2.8.1 Resistencia a la abrasión. El desgaste por abrasión es también llamado desgaste por fricción, deslizamiento o segmentación, consiste básicamente en que el material se deteriora en su superficie una vez se desliza, teniendo como consecuencia una disminución del grosor del componente o la pieza de material. La resistencia a la abrasión ocurre cuando un material se opone a la acción del deslizamiento entre una superficie rugosa y una que es relativamente suave. Los resultados de la resistencia a la abrasión se reportan como una pérdida de volumen en milímetros cúbicos, debido a esto, es necesario tener en cuenta esta propiedad en el comportamiento de las suelas de calzado, puesto que, al ser más resistente a la abrasión, menor desgaste se presentará en la vida útil del producto.⁴⁹

El instrumento para medir la resistencia a la abrasión es el abrasímetro (figura 29). Con este método lo que se quiere lograr es medir la pérdida de masa de una probeta

⁴⁹ HERRERA, Laura; PINEDA, Jairy. Evaluación de la mezcla de etileno vinil acetato (EVA) con caucho natural o sintético, para la incorporación en la formulación de suelas y cintas de calzado de la compañía Croydon Colombia S.A. Trabajo de Grado. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América, 2018. p.38.

previamente cortada de forma cilíndrica con un diámetro de 16 ± 0.2 mm y un espesor de mínimo 6 mm. El equipo consiste básicamente en un cilindro metálico recubierto con tela abrasiva y a medida que se pone en el portamuestras la probeta va girando, haciendo que se desgaste el material.

Figura 29. Abrasímetro.



Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

2.8.2 Resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión es una característica de los materiales definida como la capacidad de doblarse sin romperse o sin presentar defectos como agrietamiento o arrugas, depende de la forma del objeto y su composición. Además, a mayor número de ciclos de flexión que soporte el material sin romperse, mayor será su resistencia, refiriéndose a esta propiedad. Por lo anterior, en la evaluación de esta propiedad se simula el movimiento de flexión presentado en el uso del calzado y allí se identifica qué tanto resisten las suelas a esta acción.⁵⁰

El Instrumento para medir la resistencia a la flexión es el flexómetro de suelas (figura 30). A partir de este ensayo se va a medir la propiedad de resistencia al desgarre de una parte de la suela que se obtuvo como producto final. Para llevar a cabo este ensayo se hace uso de mordazas que sostengan la suela con una velocidad de 500 mm/min.

⁵⁰ Ibid., p.39.

Figura 30. Flexómetro.



Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

2.8.3 Dureza. Propiedad de los elastómeros a ser resistentes a la acción penetradora de un indentador o aguja con una fuerza de resorte conocida, es decir, mide cómo se opone un material a ser rayado o penetrado. Se ve afectada por la rigidez del material y su módulo de elasticidad, tanto para suelas como para cintas, esta propiedad se mide como criterio de comodidad del producto final, de manera que cuanto más profunda sea la penetración, menor es el valor de dureza de la pieza a analizar.⁵¹

El instrumento para medir la dureza es el durómetro, el cual se muestra en la figura 31. Para este ensayo se hace uso de un durómetro para realizar la medición por indentación de materiales tales como elastómeros, termoplásticos, etc. En esta prueba se hace uso de un indentor que se ubica con fuerza sobre el material a medir bajo las condiciones específicas que el material requiera.

⁵¹ Ibid., p.40.

Figura 31. Durómetro.



Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

2.8.4 Densidad. Propiedad que relaciona la masa de un objeto con su volumen, ésta no depende de la cantidad de masa presente, y se expresa a una temperatura establecida. En cauchos, muestra una relación directa con el grado de cristalinidad de los polímeros. La densidad es un factor determinante en el peso del producto final y teniendo en cuenta que éste influye en la comodidad del calzado, se busca obtener un valor de densidad en suelas y cintas que cumpla con los parámetros establecidos y que confiera características de confort al producto terminado.⁵¹

Para medir densidad se utiliza una balanza analítica (figura 32). En esta prueba se determina la densidad del material por medio de observación de la fuerza de gravedad bajo diferentes condiciones, primero se determinan las masas de las probetas en aire y agua, y se sostiene la muestra con un dispositivo que la engancha haciendo más fácil su manejo y evitando cualquier tipo de modificación en la muestra.

Figura 32. Balanza analítica.



Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

2.9 NORMATIVIDAD SUELAS DE CALZADO DE SEGURIDAD

El calzado de seguridad se produce bajo diferentes parámetros que aseguran la protección de la salud de trabajadores en sus actividades laborales. Para ello existe una normatividad que impone ciertos requisitos en los componentes del calzado como es el caso de la suela.

2.9.1 Norma Técnica Colombiana ISO 20345:11: Equipo de protección individual calzado de seguridad. El objetivo de la norma es especificar los requisitos básicos, adicionales y opcionales para el calzado de seguridad. La norma define como calzado de seguridad a aquel objeto que incorpora elementos para proteger al usuario de lesiones ocasionadas por actividades laborales. Este tipo de calzado está equipado, clasifica adicionalmente al calzado como tipo I al calzado fabricado con

cuero y otros materiales y al calzado tipo II al nombrado todo caucho (vulcanizado) o todo polimérico (moldeado).⁵²

2.9.1.1 Propiedades descritas por la norma ISO 20345:

- **Resistencia a la abrasión:** Cuando las botas no son de cuero o no pertenecen a calzados todo- cuero o todo- polímero se ensaya esta propiedad de acuerdo con la norma NTC ISO 20344.
- **Resistencia a la flexión:** Cuando las botas no sean de cuero se ensaya de acuerdo con la norma NTC ISO 20344, el crecimiento de incisión no debe ser superior a 4 mm antes de 3.000 ciclos de flexión.
- **Resistencia al rasgado:** La resistencia al rasgado no debe ser inferior a: 8 kN/m para materiales con densidad superior a 0.9 g/cm³ y 5 kN/m para materiales con densidad inferior o igual a 0.9 g/cm³.

Dentro de las especificaciones de la norma las suelas directamente vulcanizadas, inyectadas o pegadas no deben fundirse ni mostrar grietas cuando se doblen alrededor del mandril. Asimismo, la norma incluye las especificaciones del ensayo de resistencia al resbalamiento descritas en la NTC ISO 20344 (resbalamiento sobre el piso de acero con glicerol):

Tabla 1. Resistencia al resbalamiento NTC ISO 20344.

| CONDICIONES DE ENSAYO NTC ISO 20344 | Coefficiente de fricción |
|--------------------------------------------|--------------------------|
| C (Resbalamiento de tacón hacia adelante) | No menos de 0,13 |
| D (Resbalamiento sin tacón hacia adelante) | No menos de 0,18 |

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad. NTC- ISO 20345. Bogotá D.C: ICONTEC, 2011. p.27.

⁵² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad. NTC- ISO 20345. Bogotá D.C: ICONTEC, 2012. p.19.

La siguiente tabla contiene la clasificación del calzado y las especificaciones básicas que debe contener cada tipo de calzado:

Tabla 2. Categorías de marcado del calzado de seguridad.

| CATEGORÍA | REQUISITOS BÁSICOS | REQUISITOS ADICIONALES |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SB | Resistencia a la tracción, espesor de suelas sin grabado, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, resistencia a hidrocarburos. | |
| S1 | Resistencia a la tracción, espesor de suelas sin grabado, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, resistencia a hidrocarburos. | Zona de tacón cerrada Propiedades antiestáticas Absorción de energía en la zona de tacón |
| S2 | Resistencia a la tracción, espesor de suelas sin grabado, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, resistencia a hidrocarburos. | Como S1 más Penetración y absorción de agua |
| S3 | Resistencia a la tracción, espesor de suelas sin grabado, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, resistencia a hidrocarburos. | Como S2 más resistencia a la perforación Suela con grabados |
| S4 | Resistencia a la tracción, espesor de suelas sin grabado, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, resistencia a hidrocarburos. | Propiedades antiestáticas Absorción de energía en la zona de tacón |
| S5 | Resistencia a la tracción, espesor de suelas sin grabado, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, resistencia a hidrocarburos. | Como S4 más resistencia a la perforación Suela con grabados. |

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad. NTC- ISO 20345. Bogotá D.C: ICONTEC, 2011. p.23.

2.9.2 NRF-056-PEMEX:2006. Bota impermeable para uso industrial. La norma establece los requisitos que debe cumplir el calzado de seguridad para trabajadores del sector petrolero. Como primera instancia se tiene en cuenta la protección de las extremidades inferiores de los trabajadores.

Dentro de las especificaciones generales de fabricación de las botas impermeables, se destaca que estas no deben tener ningún defecto, deformación o grieta, deben adaptarse a la forma del pie y deben estar marcadas con la empresa que las fabricó, la marca registrada del fabricante y la denominación del material. La manufacturación de estas botas se debe hacer bajo el proceso de vulcanización o inyección donde la caña debe estar en una sola pieza junto con la puntera y la suela. Otra especificación es la altura del tacón que deberá ser de 30 ± 5 mm, medida desde el piso a la interfase tacón tubo; el ángulo entre en tacón y el enfranque debe ser entre 90° y 100° .⁵⁴

2.9.3 NTC 2385. Plásticos. Botas de Policloruro de Vinilo (PVC) para uso industrial. Se hace uso de esta norma como base para entender los procedimientos y pruebas que se llevan a cabo en el laboratorio al calzado de seguridad en nuestro caso, específicamente a la suela con el fin de establecer los requisitos que deben cumplir las mismas en referencia a abrasión, flexión, dureza, etc.

Acorde a la aplicación del calzado hay una clasificación en específico, las botas de uso industrial se clasifican de la siguiente manera:

- **De uso general:** Esto quiere decir que no son resistentes a los solventes.
- **De uso especial:** Estas botas por lo general son resistentes a gasolinas, ácidos grasos, aceite y agua jabonosa.

Teniendo en cuenta los requisitos que deben tener estas botas de trabajo para uso industrial se tienen como parámetros:

Espesor: Para la caña de la bota se requiere 1,5 mm en el que al menos 1 mm será de PVC. Además de esto el espesor no será menor de 3 mm en cualquier punto sobre el contorno de la unión entre la suela, el tacón y la caña.⁵⁵

En cuanto a las propiedades físicas con las que la suela de la bota debe cumplir está la resistencia a la flexión del material de la caña para evaluar la resistencia a la flexión no debe presentarse agrietamiento durante 150.000 ciclos de flexión y el crecimiento de corte no debe ser mayor a 16 mm, bajo las condiciones descritas

⁵⁴ PEMEX. Bota impermeable para uso industrial. NRF-056- PEMEX: 2006. México: Comité de normatización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.2006. p.13.

⁵⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Plásticos. Botas de Policloruro de Vinilo (PVC) para uso industrial. NTC- ISO 2385. Bogotá D.C: ICONTEC, 1994. p.3.

anteriormente. La dureza de la suela será medida después de 96 horas del moldeado con un acondicionamiento a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas como mínimo. El espesor mínimo que debe tener la probeta para este procedimiento es de 6 mm⁵⁶ y la dureza de compuestos de PVC se describe en el cuadro 3:

Cuadro 3. Dureza compuestos de PVC, NTC 2385.

| Componente | IRDH | | Shore A/10 s | |
|---------------|--------|--------|--------------|--------|
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| Caña | 42 | 59 | 55 | 70 |
| Suela y tacón | 50 | 67 | 60 | 75 |

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Plásticos. Botas de Policloruro de Vinilo (PVC) para uso industrial. NTC- ISO 2385. Bogotá D.C: ICONTEC, 1994. p.5.

La resistencia a la abrasión de la suela toma en consideración la pérdida máxima de volumen que tiene como valor 200 mm^3 , cuando el ensayo sea realizado se tendrá en cuenta que la suela tendrá una resistencia mínima de 130% tomando como base el patrón.

Finalmente, para determinar la densidad de la suela se toma una probeta de dimensiones nombradas anteriormente, se pesa en una balanza analítica registrando cada dato determinado y por medio de la prueba del principio de Arquímedes en balanza analítica con gancho sujetador se pesa la probeta nuevamente, pero esta vez sumergida en agua. La densidad de las suelas debe estar entre 1,10 g/mL y 1,25 g/mL.⁵⁷

La normatividad, los conceptos de la suela de calzado de seguridad y las variables estudiadas para la estandarización del ensayo de antideslizamiento, fueron necesarios para desarrollar la experimentación de los primeros objetivos específicos de esta propuesta, esta experimentación se encuentra en la siguiente sección de este trabajo.

⁵⁶ *Ibíd.*, p.4

⁵⁷ BARRETO. Silvia. Diseño de Calzado Urbano. Nobuko, 2006. 258p. ISBN 9789875840416.

3. DISEÑO PRE-EXPERIMENTAL

Croydon Colombia S.A actualmente no cuenta con la estandarización de evaluación de propiedades antideslizantes del calzado de seguridad, por lo cual no se tiene un punto de partida de dichas variables a la hora de iniciar este proyecto. Con el propósito de evaluar las condiciones en cuanto a las características actuales de las suelas del calzado de seguridad se seleccionaron diferentes variables tales como la geometría de la huella, el material inyectado y el coeficiente de resistencia al deslizamiento; estas variables conforman el diseño de experimentos.

En la metodología se describe el procedimiento de la experimentación teniendo en cuenta las variables de estudio escogidas. Además, describe las técnicas de trabajo en el laboratorio de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana.

3.1 ESTANDARIZACIÓN PRUEBA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Para determinar el coeficiente de fricción es necesario establecer cómo se medirá este en cada experimento, los conceptos se basan en la norma NTC ISO 20344: 2012, NTC ISO 20345: 2011, bota impermeable para uso industrial NRF 056 PEMEX 2006.

El coeficiente de fricción se calcula a partir de la sumatoria de las fuerzas aplicadas al calzado de seguridad, por lo tanto, se utiliza una Máquina Universal de Ensayos ELECAV modelo MCIL-4 (figura 33), se debe hacer una adaptación con una mesa cuya superficie es una lámina de acero la cual se alinea de forma perpendicular con la mesa en donde se encuentra el dinamómetro (figura 34).

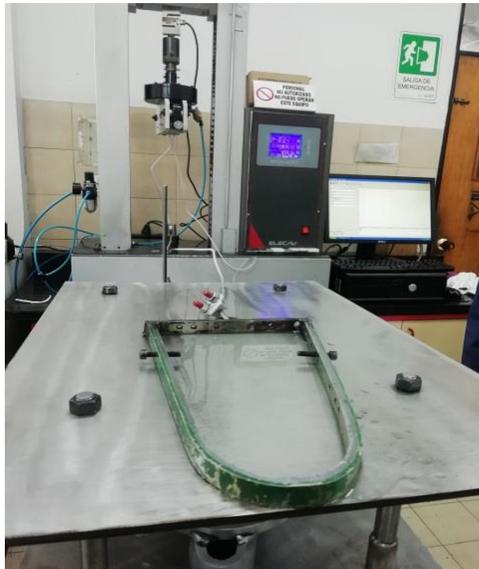
Figura 33. Máquina Universal de Ensayos ELECAV modelo MCIL-4



Fuente: elaboración propia.

Para verificar la resistencia al deslizamiento se vierte en la superficie una capa de Exol al 80% v/v el cual se utiliza como lubricante que cumple un papel igual a la glicerina descrita en el ensayo de la normatividad. Además, hay que tener en cuenta que la superficie del estudio debe estar completamente limpia sin trazas de aceite o de jabón, se limpia después de cada ensayo con una solución de jabón diluido al 4% p/v.

Figura 34. Superficie de ensayo



Fuente: elaboración propia.

La bota se debe cortar y limpiar la suela con etanol para remover sustancias que puedan afectar el resultado del experimento. Posteriormente se ajusta la bota en un molde y se agregan dos pesos de 20 Kg, tal como se observa en la figura 35. Se configuran las condiciones de prueba del programa SATURN PLUS de la siguiente manera:

- Velocidad de recorrido: 100 mm/min
- Recorrido máximo: 150 mm
- Espesor de probeta: 0,700 mm

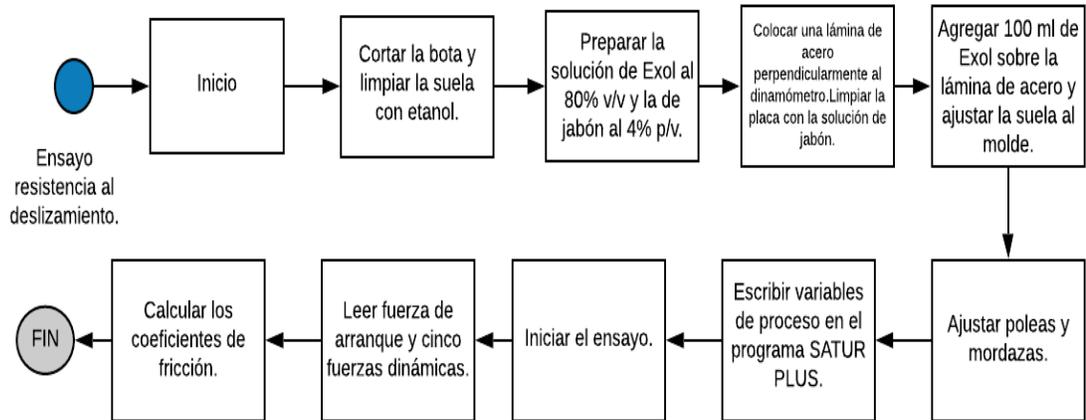
Figura 35. Prueba de deslizamiento.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente se da inicio al programa para realizar la prueba y cuando haya transcurrido 1,5 minutos se detiene la prueba y se realiza la respectiva lectura de los resultados: Fuerza carga máxima y cinco fuerzas en el valle de la curva. El siguiente diagrama expone el procedimiento del ensayo a la resistencia al deslizamiento.

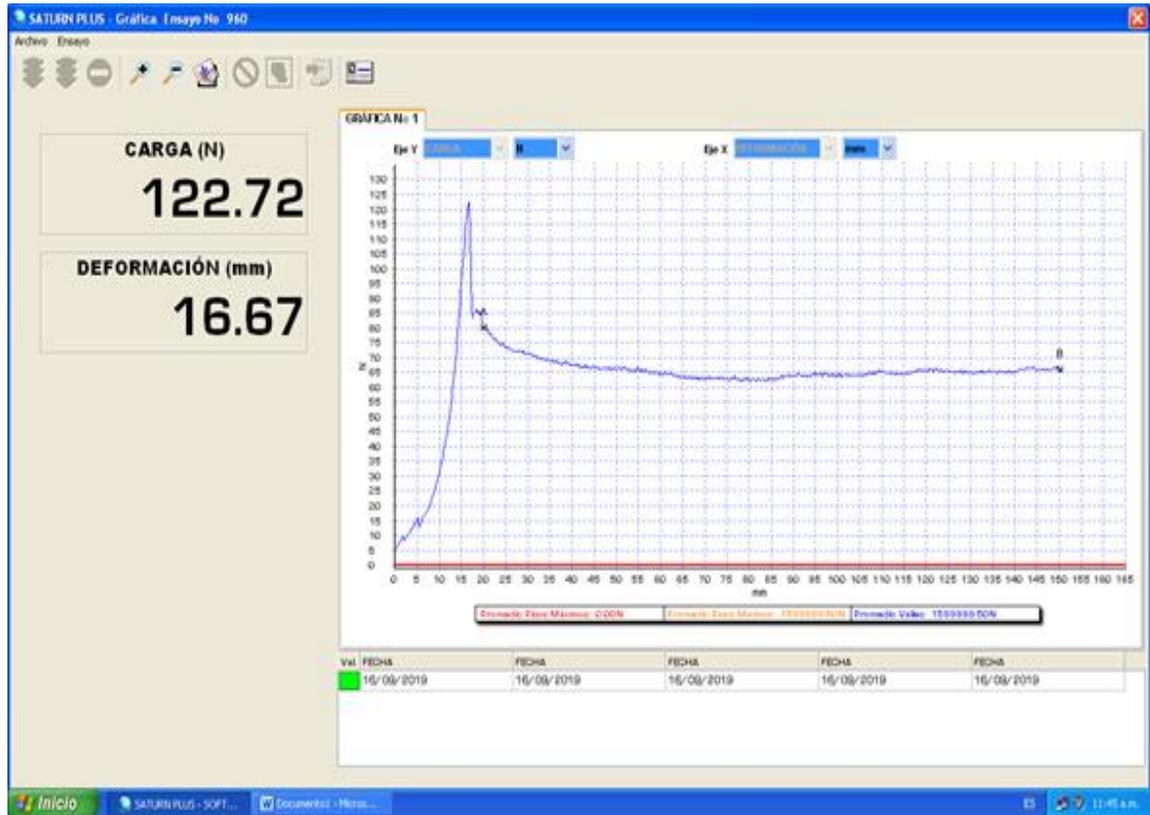
Diagrama 2. Procedimiento ensayo resistencia al deslizamiento.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 36 se evidencia el comportamiento normal de la gráfica, lo cual indica que se puede proceder a la lectura de los resultados y posteriormente calcular el coeficiente de fricción. La gráfica tiene dos ejes, en el eje “x” se encuentra el tiempo de ensayo en segundos y en el eje “y” representa la fuerza en Newtons; el pico más alto de la gráfica representa la fuerza de arranque y la curva en donde se visualiza un movimiento rectilíneo uniforme se utiliza para leer cinco datos (fuerzas) para calcular el coeficiente de fricción dinámico (Ver Anexo M). Por otro lado, cuando el comportamiento de la gráfica es inusual se debe detener el ensayo, esto se debe a diferentes factores que están relacionados con imperfecciones en la suela o que la placa de acero contiene trazas de aceite o de jabón y no se puede diferenciar en la gráfica el coeficiente de fricción estático del coeficiente de fricción dinámico.

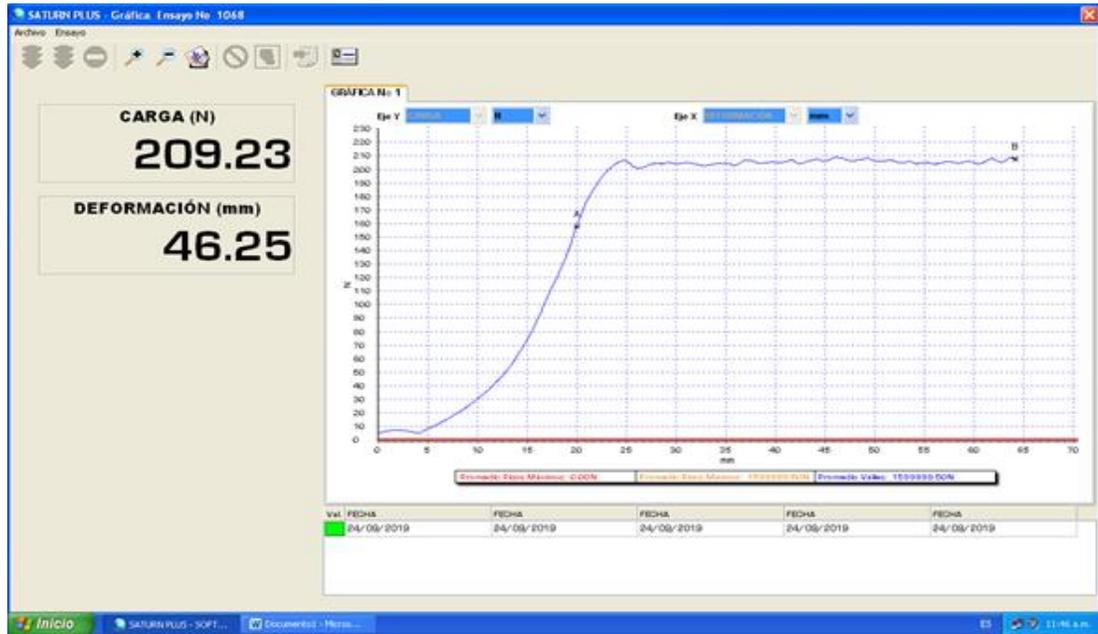
Figura 36. Comportamiento normal gráfica de ensayo resistencia al deslizamiento.



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

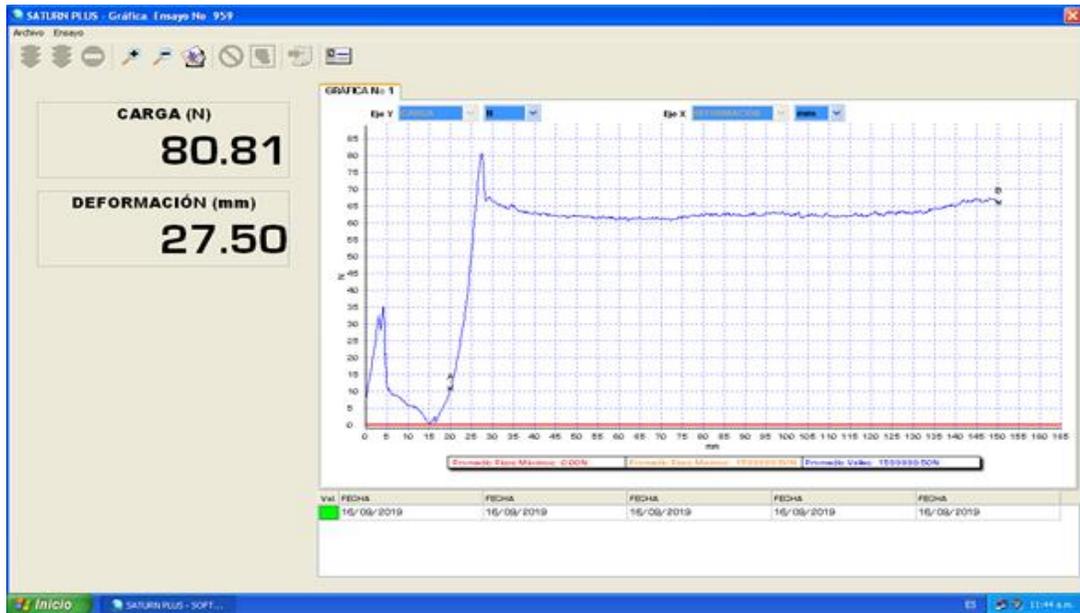
Durante los ensayos se identificaron tres casos en el comportamiento inusual de las gráficas. El primer caso no se evidencia fuerza de arranque por una mala limpieza de la lámina del ensayo, es decir no se visualiza un pico para calcular el coeficiente de fricción estático (figura 37); el segundo caso es cuando hay una fuerza de arranque anticipada (figura 38) y el último caso es cuando hay muchos picos de fuerzas estáticas, ocurre cuando la suela del ensayo se pega a la superficie y no hay deslizamiento (figura 39).

Figura 37. Comportamiento inusual ensayo resistencia al deslizamiento.



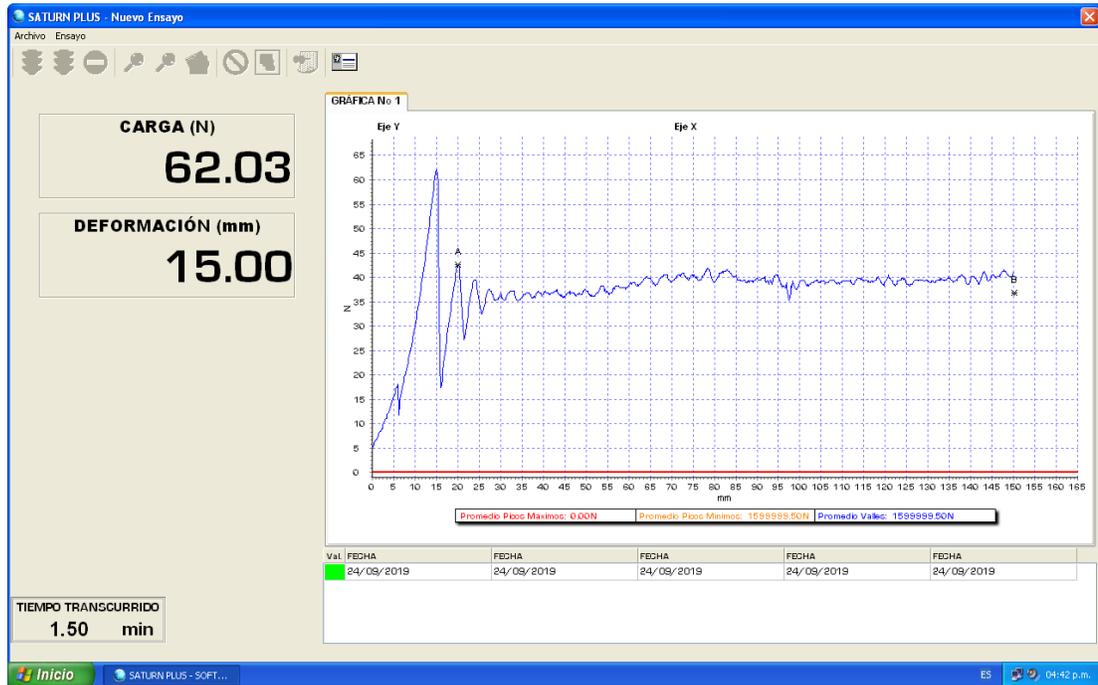
Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

Figura 38. Fuerza de arranque anticipada.



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

Figura 39. Error desplazamiento de la suela.



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

3.2 DIAGNÓSTICO HUELLA ACTUAL

Este diagnóstico es indispensable para identificar qué factores se pueden mejorar para obtener una suela con el valor antideslizante descrito en las normas de calzado de seguridad en las que se basa esta propuesta: NTC ISO 20344, NTC ISO 20345 y NRF 056 PEMEX:2006.

3.2.1 Selección de variables. Se define las variables del experimento tanto dependientes como independientes; las primeras variables reflejan el resultado del estudio de investigación y la interacción de las variables independientes. Las variables independientes se pueden manipular o controlar durante la experimentación.

La variable respuesta que se determinó fue el coeficiente de fricción como criterio para evaluar la resistencia al deslizamiento de las suelas ya que la meta planteada por el departamento de calidad de la compañía es obtener un valor mayor o igual a 0,18, pues este es el valor mínimo que exige la normatividad de equipo de protección personal. La tabla 3 expone las variables del diseño de experimentos.

Tabla 3. Variables diseño de experimento diagnóstico.

| VARIABLE | TIPO DE VARIABLE | JUSTIFICACIÓN |
|-------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coeficiente de fricción | Dependiente | Se considera como la variable respuesta de las experimentaciones, depende directamente del compuesto de la suela. |
| Compuesto de la suela | Independiente | Al realizar modificaciones de las composiciones se considera una variable independiente del diseño de experimentos. |

Fuente: elaboración propia.

El coeficiente de fricción es calculado con la ecuación 4 expuesta en el capítulo anterior, la fuerza involucrada en la ecuación se mide con el ensayo de resistencia al deslizamiento, tomando el promedio de cinco puntos del valle de la curva. Además, los compuestos evaluados en este ensayo son el Z-153, Z-155, Z-178 y Z193. (Ver Anexo M)

Figura 40. Diagnóstico compuestos actuales.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Elección del diseño experimental. El diseño de experimentos para diagnosticar las propiedades antideslizantes de la suela actual es un modelo unifactorial de efectos fijos equilibrado, es decir el número de observaciones en cada nivel de factor.⁵⁸ La variable de respuesta de este experimento es el coeficiente de fricción y el factor A es el compuesto de la suela, para ello se realizan tres observaciones de tratamientos. El análisis de varianza teniendo en cuenta el modelo y las hipótesis planteadas posteriormente, se realiza mediante un ANOVA de un factor, la cual compara varios grupos en una variable cuantitativa.⁵⁹

3.2.3 Nivel de significancia. El nivel de significancia o también denotado como α o alfa, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula del experimento. La validez de las pruebas se extiende al conjunto de pruebas en conjunto y no de manera individual.⁶⁰

Cuando se toma la decisión de rechazar la hipótesis nula se deben tener en cuenta dos tipos de errores. El error tipo I, este ocurre cuando el experimentador rechaza la hipótesis nula cuando es verdadera; por otro lado, cuando se acepta siendo esta falsa, ocurre un error de tipo II. Según Camaos si el valor de α es menor a 0,05, disminuye la probabilidad de caer en un error de tipo I y aumenta la probabilidad de caer en el error tipo II.⁶¹

En el diseño de experimento se puede tomar como nivel de significancia diferentes valores. Los valores pequeños de α otorgan mayor confianza en el valor de la significación. Los diseños de experimentos de esta propuesta tienen un nivel de significancia de **0,05** para tener un 5% de probabilidad de equivocación en cada diseño.

3.2.4 Planteamiento de hipótesis. De acuerdo con Gutiérrez y De La Vara Salazar, una hipótesis estadística es la afirmación sobre los valores de los parámetros de un proceso, esta se prueba a partir de la información contenida en una muestra representativa. La hipótesis nula (H_0) se plantea como una igualdad facilitando tener una distribución de probabilidad de referencia específica, en caso de rechazarla se acepta la hipótesis alternativa. Por otro lado, la hipótesis alternativa

⁵⁸ DÍAZ, Abel. Diseño estadístico de experimentos. 2 ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquía, 2009. 46.p. ISBN. 9789587142648.

⁵⁹ TRIOLA, Fabio. Estadística. 9 ed. México: Pearson Educación, 2004. 626.p. ISBN. 9789702605195.

⁶⁰ UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Diseño estadístico de experimentos. Antioquía: Universidad de Antioquía, 2009. p.103

⁶¹ CANAOS. George. Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos. España: McGraw-Hill, 1988. p. 302

es lo que el experimentador podría pensar que es cierto o podría comprobar que es cierto⁶².

La hipótesis fundamental para comparar varios tratamientos es:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_A : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

Para probar las hipótesis dadas en el diseño de experimentos se utiliza el análisis de varianza ANOVA de un factor, descomponiendo la variabilidad de los datos en dos formas: la variabilidad como consecuencia de los tratamientos y la que corresponde al error aleatorio. En este caso se utiliza la distribución de probabilidad continua de Fisher para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

A partir de una secuencia de ecuaciones que involucra el cálculo de la suma total de cuadrados, suma de cuadrados de tratamientos, suma de cuadrados de error y el cuadrado medio de tratamiento, se calcula el estadístico de prueba o F_0 , el cual se compara con el valor teórico que contiene las tablas de Fisher. En caso de que el valor teórico sea mayor al valor calculado, se acepta la hipótesis nula, de lo contrario se acepta la hipótesis alternativa.⁶³

El F_0 se calcula a partir del cociente entre el cuadrado medio de tratamientos CM_{TRAT} y el cuadrado medio del error CM_E :

Ecuación 5. Fórmula para determinar F calculado.

$$F_0 = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

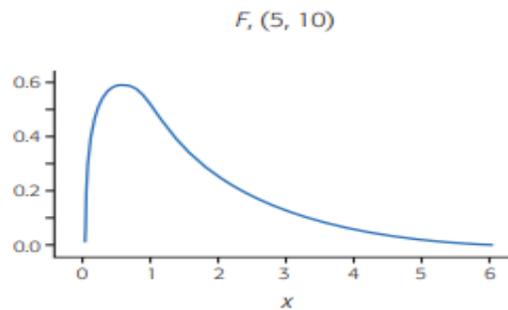
Fuente: GUTIERREZ, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. Análisis y diseño de experimentos. 2 ed, México: McGraw-Hill, 2008. p. 68.

⁶² GUTIERREZ, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. Análisis y diseño de experimentos. 2 ed. México: McGraw-Hill, 2008. p. 62.

⁶³ *Ibíd.*, p.69.

El valor F teórico se relaciona con los grados de libertad n_1 , n_2 y el nivel de significancia α , los cuales son valores que se especifican previamente para cada experimentación; conociendo estos valores, se procede a buscar F en las tablas. La distribución F es una distribución continua de muestreo de la relación de dos variables aleatorias independientes con distribuciones de chi-cuadrada, cada una dividida entre sus grados de libertad. Esta distribución es asimétrica hacia la derecha como se muestra en la figura 41⁶⁴:

Figura 41. Gráfica distribución F



Fuente: MINITAB. Distribución F. [en línea]
[Consultado: 1 de mayo de 2020]
Disponible en:
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/f-distribution/>

De acuerdo lo explicado anteriormente se plantean las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: No hay cambio en el coeficiente de fricción al cambiar el compuesto de la suela.
- Hipótesis alterna: Hay diferencia en algún coeficiente de fricción al cambiar el compuesto de la suela

⁶⁴ MINITAB. Distribución F. [en línea] [Consultado: 1 de mayo 05 de 2020] Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/f-distribution/>

Para la comprobación de las hipótesis y la construcción de la ANOVA se utiliza el software Microsoft Excel y su herramienta de análisis de datos que permite ajustar las características de diferentes diseños de experimentos.

3.2.5 Consolidación de datos. Se evaluó la propiedad antideslizante de cuatro compuestos inyectados en las diferentes líneas de la compañía, obteniendo como resultado la Tabla 4. Se calculó el coeficiente de fricción estático y el coeficiente de fricción dinámico a partir de los datos recopilados de las gráficas de cada ensayo. (Ver Anexo M).

Tabla 4. Diagnóstico coeficiente de fricción huella actual.

| Z-155 AZUL | | Z-153 TRANSLUCIDO | | Z-178 BLANCO | | Z-193 NARANJA | |
|------------|----------|-------------------|----------|--------------|----------|---------------|----------|
| ESTATICO | DINAMICO | ESTATICO | DINAMICO | ESTATICO | DINAMICO | ESTATICO | DINAMICO |
| 0,21 | 0,06 | 0,19 | 0,08 | 0,19 | 0,07 | 0,17 | 0,07 |
| 0,23 | 0,07 | 0,19 | 0,08 | 0,22 | 0,07 | 0,10 | 0,06 |
| 0,22 | 0,06 | 0,21 | 0,08 | 0,21 | 0,07 | 0,11 | 0,06 |

Fuente: elaboración propia.

3.2.6 Análisis de varianza. El análisis del diseño de experimentos se realizó mediante un ANOVA de un factor en donde se calculó la suma de cuadrados, los grados de libertad, el promedio de los cuadrados y el F utilizando la ecuación 7.

Tabla 5. ANOVA diagnóstico huella actual.

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F calculado | F teórico |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------|-----------|
| Entre grupos | 0,00055833 | 3 | 0,00018611 | 11,1666667 | 4,066 |
| Dentro de los grupos | 0,00013333 | 8 | 1,6667E-05 | | |
| Total | 0,00069167 | 11 | | | |

Fuente: elaboración propia.

Los grados de libertad, se asocian con el cálculo de la suma de cuadrados, indica cuántos términos independientes de información se necesitan para el cálculo de la suma de cuadrados. Los grados de libertad sirven para probar la hipótesis nula al utilizar estos datos para buscar el F teórico, se localiza el valor $n1$ en la parte

superior de la tabla de distribución de Fisher y los grados de libertad n_2 en la parte lateral de la tabla; en este caso se utiliza un nivel de significancia del 5% y n_1 es igual a 3 y n_2 es igual a 8.

Por otro lado, la suma de cuadrados expuesta en este experimento representa la variación o desviación de los datos con respecto a la media; la suma de cuadrados totales incluye tanto la suma de los factores involucrados en la experimentación, como la suma de la variabilidad o error. El cociente entre el promedio de los cuadrados es el F calculado de esta experimentación, es decir se divide el promedio de cuadrados entre grupos y la media de cuadrados dentro de los grupos. Cuando el F calculado posee un valor grande, significa que se ha generado más varianza entre las variables estudiadas.

Para analizar los datos obtenidos se evalúa si el F calculado es mayor o menor que el teórico, en este caso se hace la lectura en las tablas de Fisher con el valor $F_{0,05,3,8}$ el cual es igual a 4,066. De acuerdo con los parámetros planteados anteriormente en las hipótesis y los datos obtenidos en la tabla 5, el F calculado es mayor al valor teórico, por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta que hay diferencia significativa entre los coeficientes de fricción al cambiar el compuesto de la suela.

Teniendo en cuenta los mejores resultados de este diagnóstico se escogió el compuesto traslúcido o Z-153 y el compuesto blanco o Z-178 para realizar el siguiente experimento. Esta decisión se debe a que estos compuestos, aunque no superan el valor de coeficiente de fricción propuesto por el departamento de calidad y los experimentadores, si se evidenció que hay una diferencia entre los resultados cuando se cambia el compuesto de la suela. Además, se desarrolla de manera eficiente este diagnóstico para cumplir el primer objetivo específico de esta propuesta.

3.3 EVALUACIÓN CAMBIO DE GEOMETRÍA ESTÁNDAR

Teniendo en cuenta las recomendaciones de Weigall en el diseño de las suelas de calzado de seguridad, se plantea un experimento con cinco modificaciones para cada uno de los compuestos seleccionados en los resultados del experimento anterior (Z-153 y Z-178). Estas modificaciones se realizan a la geometría base de calzado de seguridad escogida por los experimentadores, de esta forma se cumple el segundo objetivo propuesto.

3.3.1 Selección de variables. Se definen las variables del experimento tanto dependientes como independientes. La variable respuesta que se determinó fue el coeficiente de fricción como criterio para evaluar la resistencia al deslizamiento de las suelas el cual debe ser un valor mayor o igual a 0,18 como lo exige la

normatividad en la cual se basa esta propuesta. La tabla 6 expone las variables del diseño de experimentos.

Tabla 6. Variables de diseño de experimentos.

| VARIABLE | TIPO DE VARIABLE | JUSTIFICACIÓN |
|-------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coeficiente de fricción | Dependiente | Se considera como la variable respuesta de las experimentaciones, depende directamente de la geometría y el compuesto de la suela. |
| Geometría de la suela | Independiente | Es una variable controlable debido a que se inyectan diferentes moldes para modificar la geometría de la suela. |
| Compuesto de la suela | Independiente | Al realizar modificaciones de las composiciones se considera una variable independiente del diseño de experimentos. |

Fuente: elaboración propia.

3.3.2 Selección geometría de la suela. Teniendo en cuenta que entre la fuerza ejercida sobre la suela se debe evaluar al área de contacto, la compañía diseñó diferentes geometrías para las suelas. Dentro de las opciones se realizaron variaciones en el talón, la forma para drenar líquidos con mayor facilidad, penetrando los líquidos o contaminantes y tener contacto directo con el piso. También, los bordes del labrado se diseñaron afilados para barrer cualquier líquido y a la vez el labrado de los diseños contiene canales o surcos distintos direccionados hacia el borde de la suela. La tabla 7 contiene cada una de las modificaciones planteadas para este experimento.

Tabla 7. Variaciones huella.

| VARIACIÓN HUELLA | OBSERVACIONES |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Huella estándar. No se modifica el diseño.</p> |
|  | <p>Modificación 1: Se añaden canales de forma vertical hasta la mitad de la planta del pie.</p> |
|  | <p>Modificación 2: Se prolonga el canal de la planta del pie.</p> |
|  | <p>Modificación 3: Se añaden canales direccionados en el talón de la suela.</p> |
|  | <p>Modificación 4: En el centro de la planta del pie se agregan dos canales verticales.</p> |
|  | <p>Modificación 5: Se incorpora un labrado afilado en toda la planta del pie.</p> |

Fuente: elaboración propia.

3.3.3 Diseño de experimentos. El diseño factorial se lleva a cabo para estudiar el efecto de dos o mas factores. Se investigaron todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo o réplica del experimento⁶⁵. El experimento incluye dos factores: compuestos inyectados y la geometría de la suela que se estudia a partir de un diseño bifactorial.

Este diseño considera k factores con dos niveles cada uno, el análisis de varianza de la experimentación se realiza con un ANOVA de dos factores, se calcula la suma de cuadrados, los grados de libertad de cada factor, el F se calcula y también se busca el valor teórico en las tablas de Fisher con significancia del **5%**.

3.3.4 Planteamiento de hipótesis. Para el análisis estadístico se calcula un F para cada uno de los factores, en el caso del factor A (geometría) se calcula a partir de la ecuación 6, en donde se divide el cuadrado medio del factor A (CM_A) y el cuadrado medio residual (CM_R). La ecuación también incluye otras componentes como la suma de cuadrados del factor A (SC_A), la suma de cuadrados de error (SC_R), las letras a y b son los niveles de los factores A y B respectivamente y la letra r hace referencia al número de observaciones:

Ecuación 6. Cálculo F factor A

$$F_A = \frac{(SC_A) / (a - 1)}{(SC_R) / (ab(r - 1))} = \frac{CMA}{CMR}$$

Fuente: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID. Análisis de datos. [en línea] p.16 [Consultado: 20 de mayo de 2020] Disponible en: <http://verso.mat.uam.es/~pablo.fernandez/AADD2-Cifuentes-18.pdf>

En caso de que el F calculado sea mayor al valor teórico se rechaza la hipótesis nula planteada. El análisis estadístico para el factor B (compuesto) se calcula a partir de la ecuación 6, en donde se divide el cuadrado medio del factor B (CM_B) y el cuadrado medio residual (CM_R):

⁶⁵ GUTIERREZ. Op.cit., p.192.

Ecuación 7. Cálculo F factor B.

$$F_B = \frac{(SCB)/(b-1)}{(SCR)/(ab(r-1))} = \frac{CMB}{CMR}$$

Fuente: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID. Análisis de datos. [en línea] p.16 [Consultado: 20 de mayo de 2020] Disponible en: <http://verso.mat.uam.es/~pablo.fernandez/AADD2-Cifuentes-18.pdf>

Para contrastar si los efectos de las interacciones entre A y B son nulos, se calcula el F con la ecuación 8, en donde se divide el cuadrado medio de la interacción AB (CM_{AB}) y el cuadrado medio residual (CM_R). La ecuación también incluye otras componentes como la suma de cuadrados de la interacción AB (SC_{AB}), la suma de cuadrados de error (SCR), las letras a y b son los niveles de los factores A y B respectivamente y la letra r hace referencia a el número de observaciones:

Ecuación 8. Cálculo F interacción AB

$$F_{(AB)} = \frac{(SC(AB))/((a-1)(b-1))}{(SCR)/(ab(r-1))} = \frac{CM(AB)}{CMR}$$

Fuente: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID. Análisis de datos. [en línea] p.16 [Consultado: 20 de mayo de 2020] Disponible en: <http://verso.mat.uam.es/~pablo.fernandez/AADD2-Cifuentes-18.pdf>

En este experimento se plantea la hipótesis nula y la alternativa para cada uno de los factores y para la interacción de estos, esta interacción hace referencia a las diferencias de efectos simples.

Factor A: Geometría.

- Hipótesis nula: No hay cambio en el coeficiente de fricción al cambiar la geometría de la suela.

- Hipótesis alternativa: Hay diferencia en algún coeficiente de fricción al cambiar la geometría de la suela.

Factor B: Compuesto.

- Hipótesis nula: No hay cambio en el coeficiente de fricción al cambiar el compuesto de la suela.
- Hipótesis alternativa: Hay diferencia en algún coeficiente de fricción al cambiar el compuesto de la suela.

Interacción entre factores AB:

- Hipótesis nula: No hay interacción entre la geometría y el compuesto que influya en el coeficiente de fricción.
- Hipótesis alternativa: Hay interacción entre la geometría y el compuesto que influya en el coeficiente de fricción.

Al igual que en el experimento anterior, para la comprobación de las hipótesis y la construcción de la ANOVA se utiliza el software Microsoft Excel y su herramienta de análisis de datos que permite ajustar las características de diferentes diseños de experimentos.

3.3.5 Consolidación de datos. Se evaluó la propiedad antideslizante de dos compuestos seleccionados del experimento anterior, además, se varió la geometría seis veces obteniendo como resultado la tabla 8. Se calculó el coeficiente de fricción de fricción dinámico a partir de los datos recopilados de las gráficas de cada ensayo. (Ver Anexo M)

Tabla 8. Coeficiente de fricción dinámico modificando la geometria de la suela.

| Geometría | COMPUESTOS | | | |
|----------------|---------------|------|-------------------|------|
| | Z- 178 BLANCO | | Z- 153 TRASLÚCIDO | |
| Estándar | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 |
| Modificación 1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 |
| Modificación 2 | 0,08 | 0,08 | 0,1 | 0,1 |
| Modificación 3 | 0,09 | 0,17 | 0,12 | 0,19 |
| Modificación 4 | 0,17 | 0,1 | 0,13 | 0,13 |
| Modificación 5 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,2 |

Fuente: elaboración propia.

3.3.6 Análisis de varianza ANOVA dos factores. El análisis del diseño de experimentos se realizó mediante un ANOVA de dos factores (tabla 9) en donde se calculó la suma de cuadrados, los grados de libertad, el promedio de los cuadrados y el F utilizando la ecuación 6, 7 y 8.

Tabla 9. Análisis de varianza experimento variación de geometría de la suela.

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F calculado | F teórico |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------|-----------|
| Huellas | 0,03563333 | 5 | 0,00712667 | 10,3036145 | 3,105 |
| Compuestos | 0,0006 | 1 | 0,0006 | 0,86746988 | 4,747 |
| Interacción | 0,00065 | 5 | 0,00013 | 0,18795181 | 3,105 |
| Dentro del grupo | 0,0083 | 12 | 0,00069167 | | |
| Total | 0,04518333 | 23 | | | |

Fuente: elaboración propia.

Para calcular el F teórico, se localiza el valor n_1 en la parte superior de la tabla de distribución de Fisher y los grados de libertad n_2 en la parte lateral de la tabla; en este caso se utiliza un nivel de significancia del 5% y n_1 es igual a 5 y n_2 es igual a 12 para el factor A, para el factor B el nivel de significancia es 5% , n_1 es igual a 1 y n_2 es igual a 12; la interacción de los factores posee el mismo nivel de significancia y n_1 es igual a 5 y n_2 es igual a 12.

El cociente entre el promedio de los cuadrados es el F calculado de esta experimentación, es decir se divide el promedio de cuadrados del factor A y la media de cuadrados dentro de los grupos, este cálculo se hace de igual forma para calcular el F del factor B y de la interacción.

De acuerdo con los datos obtenidos en el ANOVA, se procede a hacer lectura en las tablas de Fisher con el valor $F_{A, 0,05,5,12}$ el cual es igual a 3,105, valor que también corresponde a la interacción es decir F_{AB} , otro valor teórico extraído de las tablas es el $F_{B, 0,05,1,12}$ el cual es 4,747. Los parámetros planteados anteriormente en las hipótesis y los datos obtenidos en la tabla 9, el F_A calculado es mayor al valor teórico, por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta que hay diferencia significativa entre las geometrías de la suelas. De forma contraria se acepta la hipótesis nula del factor B y de la interacción, aceptando que no hay diferencia significativa entre los compuestos inyectados y que no hay diferencia significativa en la interacción de factores.

3.4 CAMBIO FORMULACIONES DE COMPUESTOS DE INYECCIÓN

El cambio de la formulación de los compuestos inyectados es necesario para conocer qué tanto mejora la propiedad de resistencia al deslizamiento, en este experimento se involucran compuestos como la EVA, TPU y poliuretano (PU), los cuales se mezclan con el PVC del Z-153, el cual ha sido el compuesto seleccionado con mejores resultados en los anteriores experimentos.

3.4.1 Selección de variables. Se definen las variables del experimento tanto dependientes como independientes; las primeras variables reflejan el resultado del estudio de investigación y la interacción de las variables independientes. Las variables independientes se pueden manipular o controlar durante la experimentación.

La variable respuesta que se determinó fue el coeficiente de fricción como criterio para evaluar la resistencia al deslizamiento de las suelas al igual que los anteriores experimento el valor deber ser mayor o igual a 0,18. La tabla 10 contiene las variables del diseño de experimentos.

Tabla 10. Variables experimento cambio de formulación de compuestos.

| VARIABLE | TIPO DE VARIABLE | JUSTIFICACIÓN |
|-------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coeficiente de fricción | Dependiente | Se considera como la variable respuesta de las experimentaciones, depende directamente del compuesto de la suela. |
| Compuesto de la suela | Independiente | Al realizar modificaciones de las composiciones se considera una variable independiente del diseño de experimentos. |

Fuente: elaboración propia.

3.4.2 Diseño de experimentos. Se diseña un experimento unifactorial, este diseño considera k factores con dos niveles cada uno, el análisis de varianza de la experimentación se realiza con un ANOVA de un factor, se calcula la suma de cuadrados, los grados de libertad de cada factor, el F se calcula y también se busca el valor teórico en las tablas de Fisher con significancia del 5%.

3.4.3 Planteamiento de hipótesis. Teniendo en cuenta las consideraciones del primer experimento se plantea las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: No hay cambio en el coeficiente de fricción al cambiar el compuesto de la suela.
- Hipótesis alterna: Hay diferencia en algún coeficiente de fricción al cambiar el compuesto de la suela

Para aceptar o rechazar la hipótesis nula se construye una table ANOVA por medio del software Microsoft Excel y su herramienta de análisis de datos que permite ajustar las características de este experimento.

3.4.4 Consolidación de datos. Las tres mezclas que se prepararon para este experimento presentaron una mala compactación, en el caso de la mezcla PVC-TPU se evidenció una suela cruda es decir no se incorporaron de manera efectiva cada uno de los compuestos lo cual genera dificultad para realizar la prueba a la resistencia al deslizamiento pues las imperfecciones de la suela interfieren directamente en los resultados, este tipo de imperfección se expone en la figura 44.

La mezcla PVC- EVA también presentó problemas en los resultados pues al desmoldar la bota la suela presentaba quemaduras (figura 42), este fenómeno concluyó que la temperatura de inyección de la Ottogalli de la planta no se podía aumentar para inyectar esta mezcla. Por otro lado, la mezcla PU-PVC, presentó suelas crudas o mal compactadas (figura 43) como consecuencia de altas temperaturas de operación. Para verificar lo anteriormente planteado se realizó una corrida de PU-PVC y se evidenció que los grumos e imperfecciones de la suela interfirieron en los resultados, pues la gráfica obtenida presentaba muchos picos, lo cual no deja diferenciar la fuerza de arranque y las fuerzas para calcular el coeficiente de fricción. Al principio de este capítulo se nombraron diferentes comportamientos inusuales de la gráfica cuando el ensayo, al tener diferentes imperfecciones la suela del ensayo de PU-PVC se generó un error de desplazamiento de la suela (Anexo K).

Figura 42. Suela PVC- EVA



Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Suela PVC- PU



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Suelas TPU- PVC



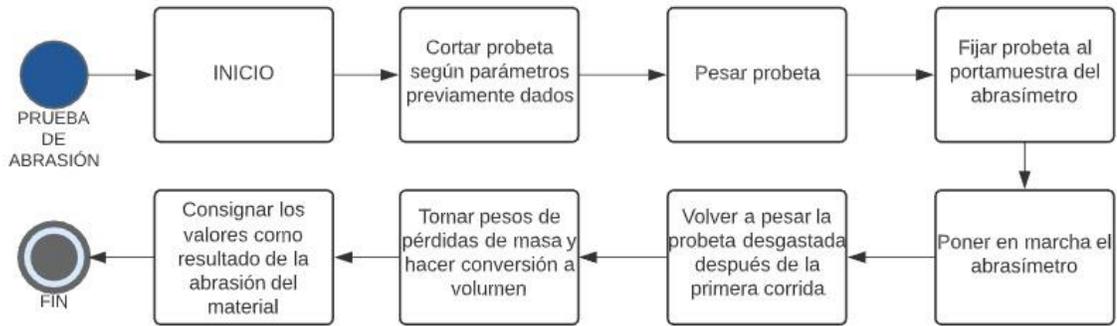
Fuente: elaboración propia.

3.5 MEDICIÓN PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

En esta se sección se expondrán los resultados de las pruebas físicas y mecánicas de la suela Z-153 con mejor coeficiente de fricción, resultado que se obtuvo de la segunda experimentación y también se evaluarán las propiedades de las mezclas EVA-PVC, TPU- PVC y PU-PVC.

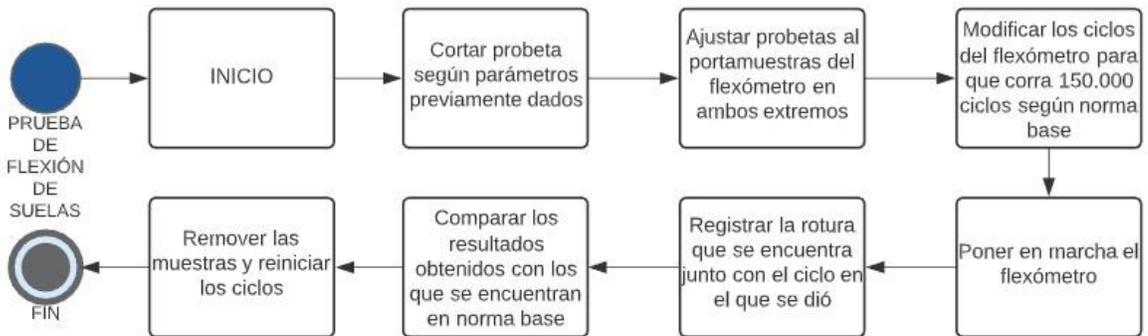
Los siguientes diagramas explican el procedimiento para la medición de las propiedades físicas y mecánicas de suelas de calzado de seguridad de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC 2385):

Diagrama 3. Procedimiento prueba de abrasión.



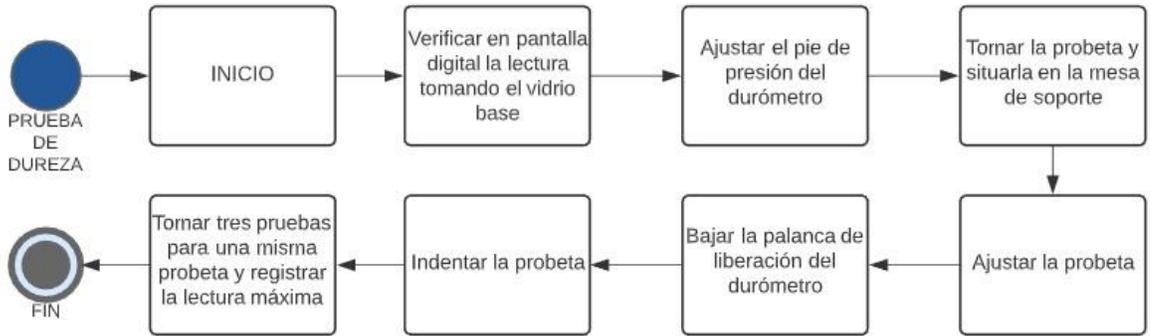
Fuente: elaboración propia.

Diagrama 4. Procedimiento prueba de flexión de suelas.



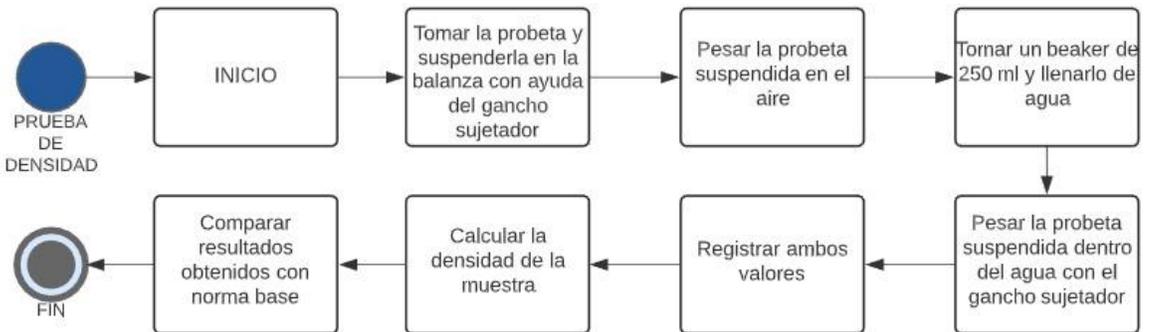
Fuente: elaboración propia.

Diagrama 5. Procedimiento prueba de dureza.



Fuente: elaboración propia.

Diagrama 6. Procedimiento prueba de densidad.



Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Consolidación de datos. Después de realizar dos ensayos por cada propiedad, se promediaron los datos obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 11. Resultados pruebas físicas y mecánicas.

| COMPUESTO | PROPIEDAD | | | |
|-----------|---------------------|---------|-----------|------------|
| | ABRASIÓN | FLEXIÓN | DENSIDAD | DUREZA |
| EVA -PVC | 235 mm ³ | 3,0 mm | 1,01 g/mL | 40 SHORE A |
| PU - PVC | 210 mm ³ | 2,5 mm | 1,15 g/mL | 55 SHORE A |
| TPU - PVC | 200 mm ³ | 3,0 mm | 1,16 g/mL | 60 SHORE A |
| PVC Z-153 | 200 mm ³ | 1,5 mm | 1,20 g/mL | 50 SHORE A |

Fuente: elaboración propia.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se realiza el análisis de la información recopilada de las experimentaciones realizadas, comparando con la normatividad de calzado de seguridad nombrado en esta propuesta y las condiciones de la suela actual de la empresa.

El coeficiente de fricción dinámico fue la variable de mayor importancia en cada una de las experimentaciones, pues con este se encaminó cada uno de los diseños de experimentos para realizar ajustes para obtener mejores resultados. Por lo tanto, se realizaron variaciones en la geometría de la suela y se analizaron diferentes mezclas para mejorar la resistencia al deslizamiento.

4.1 DIAGNÓSTICO SUELA ACTUAL

En el 2017 la compañía realizó la prueba de resistencia al deslizamiento con un laboratorio externo (Intertek) para realizar el diagnóstico. La prueba realizada con glicerina y una placa de acero, se asemeja a el ensayo estandarizado de esta propuesta, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 12. Resultados Intertek COF

| COF PRUEBA INTERTEK GLICERINA | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|
| MUESTRA A | MUESTRA B | MUESTRA C |
| 0,13 | 0,06 | 0,06 |

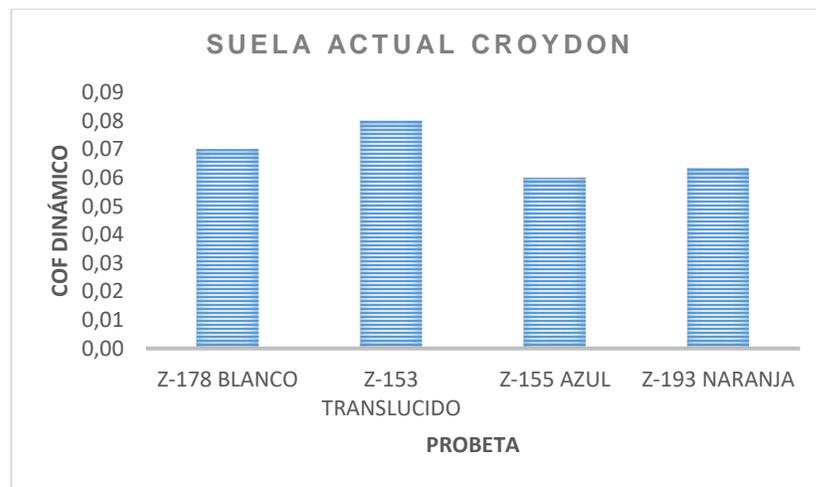
Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

La tabla 12 contiene tres resultados que se encuentran entre 0,06 y 0,13. Sin embargo, ninguna de las muestras supera el valor descrito por la norma, aunque la de mejor comportamiento de resistencia al deslizamiento fue la bota La Macha, que contiene en su suela el compuesto Z-153.

Después de realizar la estandarización del ensayo se realizó un diagnóstico de la huella actual con cuatro componentes principales, los cuales se inyectan en las diferentes líneas de producción de botas. Los valores de cada uno de los resultados se evidencian en la gráfica 1, esta contiene el valor promedio de los ensayos del primer experimento.

Los valores del coeficiente de fricción evaluados en este ensayo se encuentran en un valor entre 0,06 y 0,08. Estos valores se encuentran por debajo del valor descrito en la normatividad de calzado de seguridad, sin embargo, el compuesto traslúcido es el valor más alto, está un 55% por debajo del valor de la norma. La diferencia del COF entre los compuestos evaluados con respecto a el compuesto Z-153 es de 12,5% que corresponde al compuesto blanco y 21,25% de los compuestos azul y naranja.

Gráfica 1. Coeficiente de fricción dinámico huella actual.



Fuente: elaboración propia.

4.2 ANÁLISIS CAMBIO DE GEOMETRÍA

Para este experimento se realizaron dos ensayos de resistencia al deslizamiento, los resultados se analizaron a partir del promedio de los valores:

Tabla 13. Promedio COF cambio de geometría.

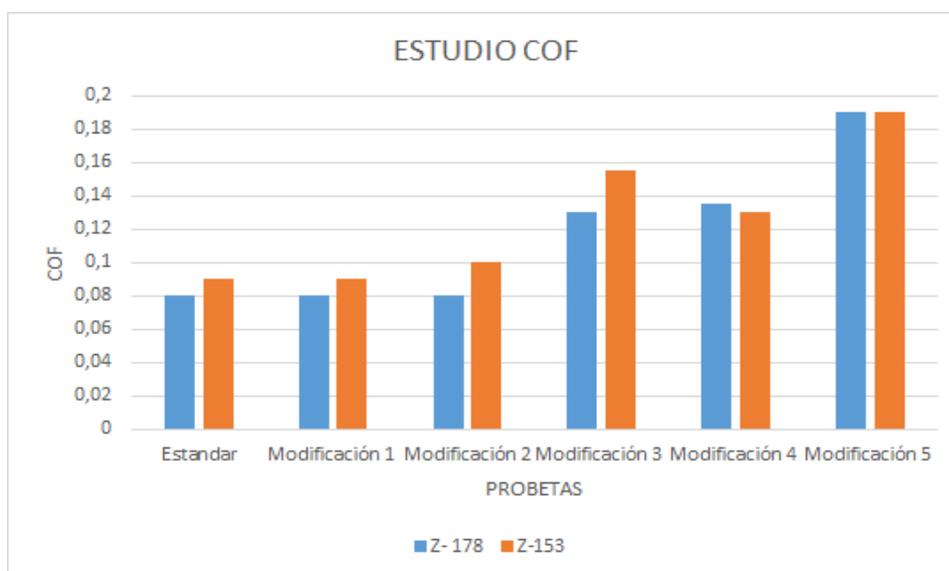
| Geometría | COMPUESTOS | |
|----------------|---------------|--------------------|
| | Z- 178 BLANCO | Z- 153 TRANSLÚCIDO |
| Estándar | 0,08 | 0,09 |
| Modificación 1 | 0,08 | 0,09 |
| Modificación 2 | 0,08 | 0,1 |
| Modificación 3 | 0,13 | 0,155 |
| Modificación 4 | 0,135 | 0,13 |
| Modificación 5 | 0,19 | 0,195 |

Fuente: elaboración propia.

Se evidencia en la gráfica 2 que en la modificación 3 del compuesto blanco mejora el coeficiente de fricción en un 62,5% con respecto a los ensayos anteriores cuando se incluye canales direccionados en el talón de la suela, en la siguiente corrida mejora el resultado en un 3,4% y en la última configuración aumenta el coeficiente de fricción con un valor del 46,1% con respecto a la modificación 4. La última modificación tiene un coeficiente de fricción de 0,19, un 5,5% mayor al valor mínimo descrito por la norma (0,18) y el experimento tiene tendencia a mejorar los resultados cada vez que se disminuía el área de contacto, aumentaba la presión ejercida por el peso del ensayo.

La modificación 2 de la suela traslúcida es el primer ensayo en el que mejora el resultado un 11.1% comparando con los dos resultados anteriores, asimismo, en el siguiente ensayo se demuestra un aumento del 55% confrontando el coeficiente de la modificación 2. A pesar de que la modificación 4 incluya dos nuevos canales verticales en la geometría no se observó mejora en el resultado, disminuyó un 13,3% del valor medido en la anterior corrida lo cual pudo ser generado por algún defecto de la suela o por alguna mala ejecución de algún paso del procedimiento, pues se concluyó que cada vez que se aumentaba canales para drenar el líquido del ensayo (disminuye el área de contacto), mejoraba los resultados con respecto a la presión ejercida y a la vez la resistencia al deslizamiento . Finalmente se obtuvo un coeficiente promedio de 0,195, mejorando un 8,3% el valor expuesto en la norma NTC ISO 20344.

Gráfica 2. COF modificación geometría



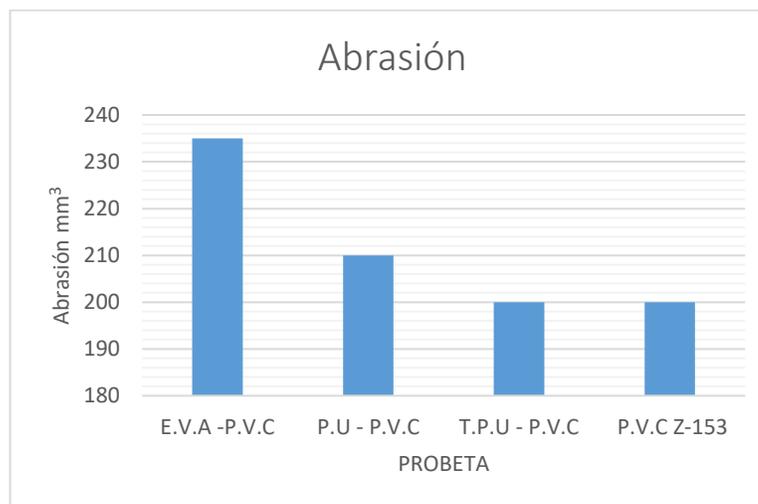
Fuente: elaboración propia.

4.3 ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

El diseño de experimentos incluía la variación de la formulación con mezclas de EVA-PVC, TPU-PVC y PU-PVC de acuerdo con la literatura estudiada en esta propuesta estas mezclas son apropiadas para inyectar en botas de calzado de seguridad, sin embargo, los compuestos mezclados presentaron baja calidad en sus propiedades físicas y también se evidenciaron defectos importantes que influían en el ensayo de antideslizamiento.

El desgaste por abrasión en este ensayo se produce cuando el material de la suela se deteriora en su superficie y disminuye el grosor de la probeta. Los resultados de la resistencia a la abrasión se reportaron como una pérdida de volumen en milímetros cúbicos, al ser más resistente a la abrasión, menor desgaste se presentará en la vida útil de la suela. La pérdida máxima de volumen de suela debe ser menor a 200 mm³ cuando se realiza el ensayo, en la gráfica 3 los resultados están organizados desde el compuesto con menor calificación en el desempeño de esta propiedad (EVA-PVC) hasta el compuesto con mejor desempeño (Z-153), este último cumple el valor de la normatividad y tiene un desempeño mejor que el compuesto EVA-PVC en un 17,5%.

Gráfica 3. Resultados prueba de abrasión.

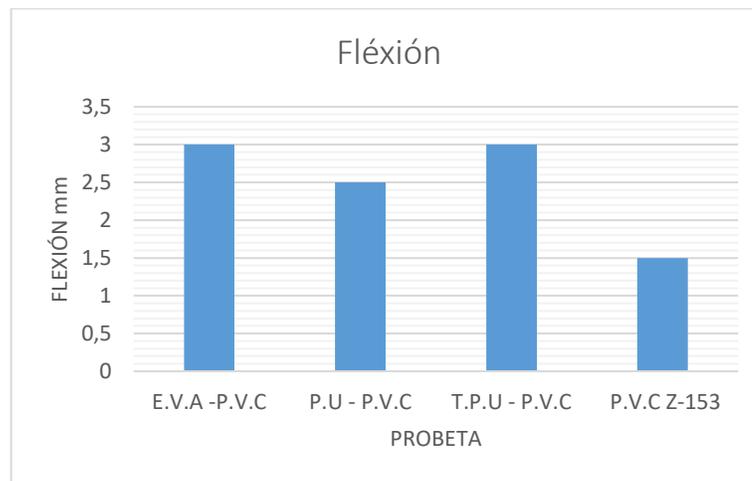


Fuente: elaboración propia.

La resistencia a la flexión es una característica de los materiales definida como la capacidad de doblarse sin romperse o sin presentar defectos como agrietamiento o

arrugas. Además, a mayor número de ciclos de flexión que soporte el material sin romperse, 150.000 ciclos en este ensayo, mayor será su resistencia. Las mezclas EVA-PVC y TPU-PVC presentaron mayor crecimiento de corte, además, todos los compuestos evaluados cumplen el parámetro estándar de la normatividad, es decir las probetas no presentan crecimientos mayores a 16 mm; el compuesto con menor desempeño fue el Z-153, su valor fue un 50% menor que el de la mezcla con EVA y de la mezcla con TPU.

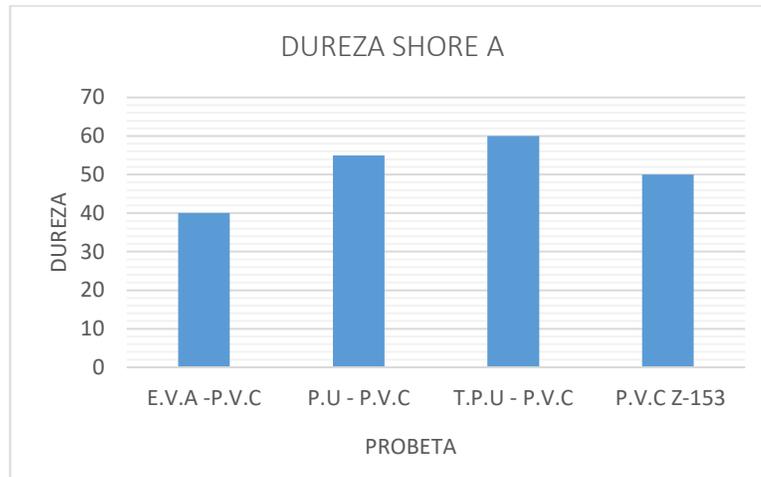
Gráfica 4. Resultados ensayo de flexión.



Fuente: elaboración propia.

La dureza Shore A es una propiedad importante, la cual mide la resistencia a la penetración de un material. Las suelas estudiadas no superan el estándar de calidad descrito por la norma pues no se encuentran en el rango entre 60 y 75. El material con mejores características antideslizantes de esta propuesta (Z-153) posee una dureza 16,6% menor a la estandarizada por la norma; no obstante, esto favorece al coeficiente de fricción de la suela. Las mezclas que Incluyen PU y EVA, están por debajo del valor expuesto en la norma con un 8,3% y un 33,3% respectivamente.

Gráfica 5. Dureza Shore A compuestos evaluados.



Fuente: elaboración propia.

La densidad de las suelas está dentro de los estándares de calidad de la norma las mezclas de PU Y TPU, poseen densidades de 1,15 g/mL, 1,16 g/mL respectivamente y el compuesto traslúcido tiene una densidad de 1,20 g/mL. El único valor fuera del exigido por la normatividad es la densidad de la EVA, con un valor de 1,01 g/mL.

Con este análisis se cumplió el tercer objetivo específico: analizar el comportamiento de la suela base frente a cambios en la formulación de las mezclas de inyección de la suela, a pesar de que los cambios de formulación no fueron efectivos para mejorar las propiedades antideslizantes de esta propuesta se estudiaron diferentes factores para mejorar en trabajos futuros, evaluando las propiedades físicas y mecánicas de estas mezclas. Frente al proceso de inyección se identificó que la temperatura de la inyectora de la empresa no alcanza a los puntos de fusión de las mezclas, lo cual no permitió estudiar las propiedades antideslizantes de estos compuestos.

La máquina inyectora de la compañía trabaja bajo un rango específico para cada una de las zonas principales de la máquina inyectora (figura 9); los valores presentados en la siguiente tabla son los recomendados para la inyección de PVC flexible:

Tabla 14. Valores típicos de temperaturas programadas en una máquina inyección para la transformación de PVC

| Zona | Valor inferior (°C) | Valor superior (°C) |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Alimentación | 130 | 160 |
| Plastificación | 140 | 170 |
| Dosificación | 150 | 180 |
| Boquilla | 150 | 180 |
| Molde | 20 | 40 |

Fuente: CASTRO, Lina; PLAZAS, Erika. Desarrollo de una propuesta de mejora en el proceso de recuperación de material no conforme en la producción de botas de PVC para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Trabajo de Grado. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América, 2017. p.33.

La mezcla de PVC-TPU tiene una temperatura de procesamiento (fusión) en un rango entre 201°C y 215 °C, la mezcla PVC- PU se alimentaba a una temperatura aproximadamente de 290°C y la mezcla de PVC- EVA a una temperatura de 200 °C; estos valores son elevados con respecto a las trabajadas por la Ottogalli, lo que generaba en repetidas ocasiones daños en el tornillo sinfin de la máquina o cuando se lograba inyectar los compuestos se identificaban defectos en la suela (quemaduras en la suela).

5. COSTO POR KILOGRAMO DE COMPUESTO ANTIDESLIZANTE PARA UNA SUELA DE CALZADO DE SEGURIDAD

La siguiente información fue suministrada por la compañía y el departamento de calidad para determinar el costo de compuesto antideslizante de la suela de calzado de seguridad. También, esta sección incluye la descripción de los principales compuestos inyectados en las diferentes líneas del portafolio de ventas de la empresa y los datos de dureza medidos en el laboratorio:

Tabla 15. Dureza Shore A compuestos Croydon.

| COMPUESTO | DUREZA SHORE A |
|-----------|----------------|
| Z-155 | 68 |
| Z-178 | 63 |
| Z-153 | 50 |
| Z-193 | 60 |

Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

El compuesto con mejor desempeño en los ensayos de esta propuesta fue el Z-153 o compuesto traslúcido, desarrollado para ambientes de barro y agua por lo que no tiene un plastificante especializado ya que no debe tener contacto con ambientes agresivos como combustibles y aceites presentes en la industria de alimentos, posee menos relleno que los otros compuestos por eso su baja dureza la cual está por debajo del valor mínimo descrito por la norma con un valor del 16% además, no tiene otros aditivos o ayudas de proceso como las mezclas especializadas.

El Z-155, es un compuesto desarrollado para ambientes agresivos como los que tienen combustibles, grasas y restos orgánicos, tienen en su formulación caucho nitrilo y un relleno más fino que la Z-153 lo que la hace más dura con una valor por encima del 36% también en su dureza afecta el tipo de pigmento utilizado. Por otro lado, el Z-193 es un compuesto para ambientes agresivos de la industria alimenticia con grasas y restos orgánicos, tienen en su formulación caucho nitrilo, y más plastificantes que las botas anteriores (Z-153 y Z-155), su dureza es afectada por el tipo de pigmento utilizado (amarillo y naranja). La dureza con respecto al compuesto azul es menor en un 12% y un 20% por encima del compuesto traslúcido.

Finalmente el Z-178 es un compuesto desarrollado para ambientes agresivos de la industria alimenticia con grasas y restos orgánicos, tienen en su formulación caucho

nitriilo, y más plastificantes que las botas anteriores Z-153 y Z-155, su dureza es afectada por el tipo de pigmento utilizado (el dióxido de titanio la hace un poco más dura que la Z-193), esta es mayor en un 26% comparando la dureza del compuesto traslúcido.

Para el año 2.019 los precios de los compuestos inyectados en las diferentes líneas de producción de botas de PVC fueron los siguientes:

Tabla 16. Costo por kilogramo de compuesto año 2.019.

| COSTO (COP) POR KILOGRAMO DE COMPUESTO AÑO 2.019 | | | |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Z-153 | Z-155 | Z-193 | Z-178 |
| \$8.907 | \$14.716 | \$13.473 | \$13.787 |

Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

Para el año 2.020 el costo de cada compuesto aumentó un 3,8% con respecto al año anterior, esta tendencia en el mercado se denomina inflación por costes, en donde el precio de materias primas (compuestos de inyección) incrementan buscando mantener un margen de ganancia de acuerdo a las tendencias del mercado.

Tabla 17. Costo por kilogramo de compuesto año 2.020.

| COSTO (COP) POR KILOGRAMO DE COMPUESTO AÑO 2.020 | | | |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Z-153 | Z-155 | Z-193 | Z-178 |
| \$9.245 | \$15.275 | \$13.985 | \$14.311 |

Fuente: CROYDON COLOMBIA S.A.

Con lo anterior se concluye el último objetivo de este trabajo, e donde el compuesto que beneficia esta propuesta tanto para mejorar las propiedades antideslizantes, como en los costos de producción proyectados a futuro por parte de la compañía es el Z-153. El compuesto Z-155 es un 65% más costoso, seguido por el Z-178 con un valor del 54% y finalmente el Z-193 con un 51,3%, estos porcentajes se calcularon a partir del compuesto elegido como mejor alternativa para esta propuesta.

Croydon a lo largo de su historia ha demostrado ser una empresa muy importante en el sector de manufactura colombiano, teniendo que enfrentar diferentes retos para mantenerse en un mercado tan competitivo y globalizado como lo es el relacionado a la moda y el calzado, en especial ante la amenaza relacionada a las

importaciones de productos de origen extranjero por sus bajos precios, ha logrado mantenerse por medio de su promesa de calidad e innovación en los diseños y materiales utilizados en sus productos.

La empresa, como parte de su compromiso con su promesa de valor se preocupa por mejorar e innovar su portafolio de productos, en este caso el compuesto Z-153 obtuvo los mejores resultados durante el desarrollo de la propuesta y su costo es el más bajo comparando con los otros compuestos, lo cual genera una posibilidad de agregar estas modificaciones en los procesos de producción de botas de PVC y así lograr a futuro certificar que la bota de PVC cumple con el parámetro de antideslizamiento de acuerdo con normativas nacionales e internacionales y producir calzado de seguridad más competitivo en el mercado. Asimismo, ante las circunstancias actuales en el mundo, es difícil predecir el comportamiento de las ventas, en especial porque se han contraído drásticamente presentando retroceso de años de esfuerzo y trabajo en las empresas colombianas y a nivel global.

6. CONCLUSIONES

- Realizar el diagnóstico de las características actuales de las botas de seguridad de la empresa permitió estandarizar el ensayo de resistencia al antideslizamiento e identificar las propiedades de dichos componentes para las siguientes experimentaciones.
- Se determina que para obtener un coeficiente de fricción mayor a 0,18 se debe modificar la geometría de la suela, reduciendo el área de contacto para aumentar la presión de la suela con la superficie y evitar de esta manera el deslizamiento del usuario cuando tiene contacto con fluidos en el área de trabajo.
- Los mejores resultados en los ensayos de resistencia al deslizamiento se observaron cuando la suela incluía canales y surcos direccionados y afilados en la planta y en el tacón de la suela, esto permitía el drenaje del líquido que hacía contacto con la suela.
- Haciendo el respectivo análisis del comportamiento de formulación de las mezclas de inyección de las suelas, se identificó que todas las propuestas presentaban defectos en la suela y esto influía negativamente tanto en el ensayo de antideslizamiento, como en las propiedades físicas y mecánicas.
- La suela de la mezcla EVA- PVC obtuvo una abrasión de 235 mm^3 , $1,01 \text{ g/mL}$ de densidad, una rotura en el ensayo de flexión de $1,15 \text{ mm}$ y una dureza Shore A de 40. La suela PU- PVC obtuvo una abrasión de 210 mm^3 , $2,5 \text{ g/mL}$ de densidad, una rotura en el ensayo de flexión de $2,5 \text{ mm}$ y una dureza Shore A de 55. Finalmente, la suela TPU- PVC obtuvo una abrasión de 200 mm^3 , $1,16 \text{ g/mL}$ de densidad, una rotura en el ensayo de flexión de $3, \text{ mm}$ y una dureza Shore A de 60.
- El compuesto Z-153 obtuvo un coeficiente de fricción promedio de 0,195, una abrasión de 200 mm^3 , $1,20 \text{ g/mL}$ de densidad y una rotura en el ensayo de flexión de $1,5 \text{ mm}$. En general las propiedades físicas y mecánicas estudiadas cumplen los estándares de calidad de la empresa, excepto la dureza Shore A que obtuvo un valor de 50.
- El costo por kilogramo de compuesto antideslizante (Z-153) es de \$9.245 (COP). El compuesto Z-155 es un 65% mas costoso, seguido por el Z-178 con un valor del 54% y finalmente el Z-193 con un 51,3%, estos porcentajes se calcularon con respecto costo por kilogramo del compuesto Z-153.

7. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos por medio de la experimentación se recomienda para futuras investigaciones lo siguiente:

- Se recomienda realizar cambios en la formulación implementando los compuestos propuestos en este proyecto, o en su defecto estudiar otro tipo de compuestos para las mezclas de inyección que se adecue a las temperaturas de la máquina (tabla 14) para evitar daños en el tornillo sinfín de esta.
- Se sugiere medir otras propiedades físicas y mecánicas como tensión y elongación.
- Realizar el ensayo de resistencia al deslizamiento en otras superficies como una loseta cerámica, como lo describe la norma NTC- ISO 20344.
- Reevaluar la formulación del compuesto original Z-153, para alcanzar los estándares de dureza (Ver cuadro 3).

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMAMIAK, Marcin. Abrasion Resistance of Materials. BoD – Books on Demand, 2012. p.128. ISBN. 9789535103004
- AISLA. Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado. [en línea] Madrid, España: AISLA, 2016. p.7.
- ANGULO, Gerardo. Reacciones de polimerización. [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/1723922/>
- APONTE, Esteban; VALDERRAMA, Estiven. Automatización de una máquina inyectora Ottogalli de dos tornillos para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2019. p:8
- BARRAGAN, Milee. Como se fabrica una suela. [en línea] p.2 [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: https://www.academia.edu/6273949/Como_se_fabrica_una_suela?auto=download
- BARRETO, Silvia. Diseño de Calzado Urbano. Nobuko, 2006. 258p. ISBN 9789875840416
- BELTRÁN, Maribel; MARCILLA, Antonio. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. España: Universidad de Alicante, 2012. p.68.
- Blogspot.com [Anónimo]. Tecnología de los Plásticos. [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliuretano.html>
- CÁRDENAS, Daniel; SHOMAR, Bernardo; SOLORIO, Alejandro. Análisis de cuchillas de molino para termoplásticos MOD. 2650 y diseño para una mayor duración. Instituto Politécnico Nacional, 2012. p. 5.
- CASTRO, Lina; PLAZAS, Erika. Desarrollo de una propuesta de mejora en el proceso de recuperación de material no conforme en la producción de botas de PVC para la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. Trabajo de Grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América, 2017.p.33.
- CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Reverte,1996. p.499.
- CANAOS, George. Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos. España: McGraw-Hill, 1988. p. 302.

CROYDON COLOMBIA S.A. Prueba de resistencia al deslizamiento en ISO 20344:11 & ISO 13287:2012. Bogotá D.C: Croydon Colombia S.A. Departamento de Calidad, 2019.

DÍAZ, Abel. Diseño estadístico de experimentos. 2 ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquía, 2009. 46.p. ISBN. 9789587142648.

ECHEVERRÍA, Jose. Actualización de las formulaciones del PVC producido en la Empresa de conductores eléctricos Conrado Benítez "ELEKA". Cuba: Universidad Tecnológica de La Habana, 2018. p.16.

FEMAP. Protección individual. [en línea] [Consultado: 26 de marzo de 2020] Disponible en: <https://prevencion.fremap.es/Buenas%20prcticas/ME.TRI.069.pdf>

Fisich.ch. Dinámica. [en línea] [Consultado: 26 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.fisic.ch/contenidos/din%C3%A1mica/tipos-de-fuerzas/>

GARCIA, Silvia. Migración de platificantes de PVC. [en línea]. España: Universidad de Alicante, 2006. p.21

GUNT [Anónimo]. Razonamiento estático y dinámico. [en línea] p.1 [Consultado: 19 de marzo de 2020] Disponible en: https://www.gunt.de/images/download/Rozamiento-esttico-y-dinmico-conocimientos-bsicos_spanish_.pdf

GUTIERREZ, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. Análisis y diseño de experimentos. 2 ed. México: McGraw-Hill, 2008. p. 62.

HERRERA, Laura; PINEDA, Jairy. Evaluación de la mezcla de etileno vinil acetato (EVA) con caucho natural o sintético, para la incorporación en la formulación de suelas y cintas de calzado de la compañía Croydon Colombia S.A. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América, 2018. p.38.

HINCAPIÉ, Herson. Predicción, Experimentación y Simulación en la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 2011. p.8.

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.

_____. Equipo de protección individual. Métodos de ensayo para calzado. NTC- ISO 20344. Bogotá D.C: ICONTEC, 2012. p.1.

_____. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad. NTC- ISO 20345. Bogotá D.C: ICONTEC, 2012. p.1.

_____. Plásticos. Botas de Policloruro de Vinilo (PVC) para uso industrial. NTC- ISO 2385. Bogotá D.C: ICONTEC, 1994. p.19.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Equipo de protección individual de pies y piernas. Calzado. Generalidades. NTP 773. España: NTP.2007. p.2.

JIMENEZ, Alfonso. Características de la degradación térmica de los plastisoles vinílicos. España: Universidad de Alicante, 1996. p.16.

JIMÉNEZ, Leidy. Análisis de la influencia de la incorporación de fragmentos de espuma de EVA en las propiedades del PU. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2008. p.20.

KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven. Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación, 2002. p.182.

LASTIVIDA. Esteres de Ftalatos: su relación con el PVC y sus diferentes aplicaciones. [en línea] p.4. [Consultado: 5 de marzo 2020] Disponible en: <http://ecoplas.org.ar/pdf/14.pdf>

MAQUINOVA. Molino de cuchillas. [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: <https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/productos/molinos/de-cuchillas/>

MEXPOLIMEROS. Polímeros de Ingeniería (TPU). [en línea] [Consultado: 5 de marzo 2020] Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/tpu-1.html>

MEZCLADORES INTENSIVOS [Anónimo]. Mezcladores intensivos en seco. [en línea] [Consultado: 5 de marzo de 2020] Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8286/1/Tema4mezclado.pdf>

MINITAB. Distribución F. [en línea] [Consultado: 1 de mayo de 2020] Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/f-distribution/>

PEMEX. Bota impermeable para uso industrial. NRF-056- PEMEX: 2006. México: Comité de normatización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.2006. p.13.

PRIMO, Eduardo. Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria, Editorial Reverté,1994. p.164.

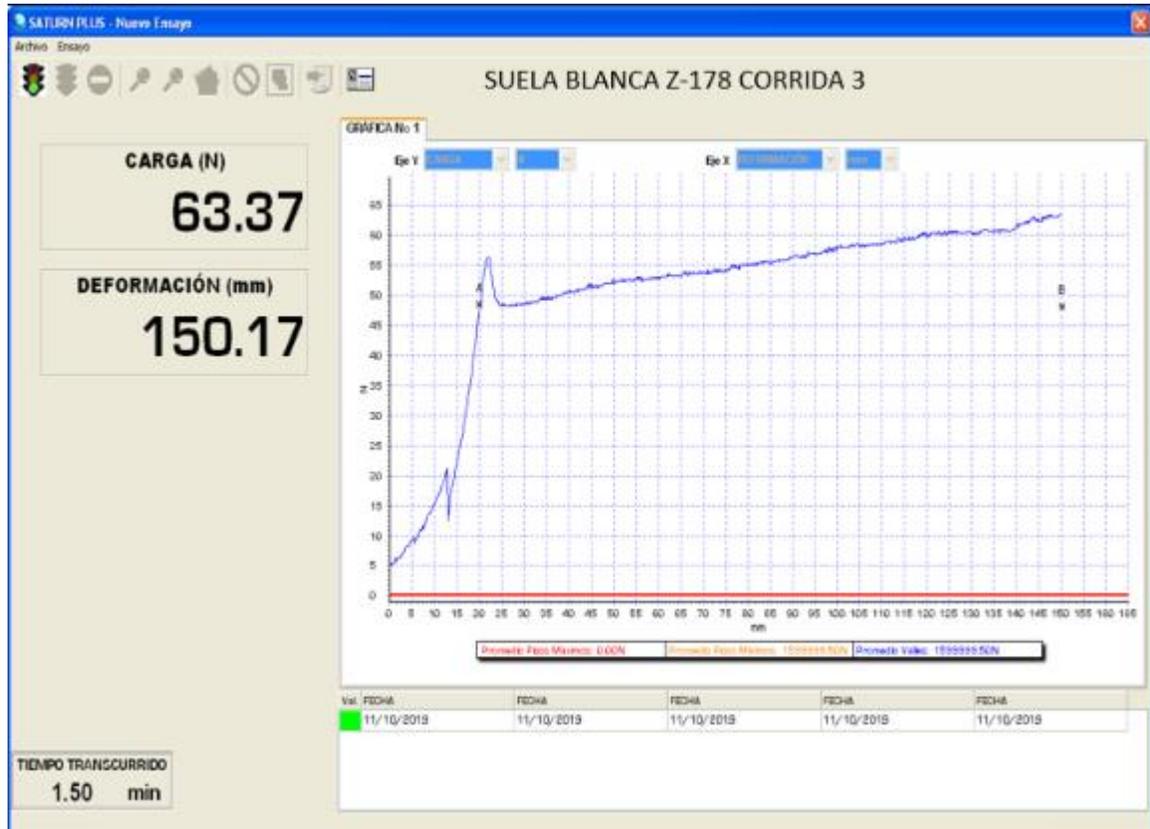
REAL ACADÉMIA ESPAÑOLA. Aditivo. [en línea] [Consultado: 20 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/aditivo>

- SCHILLER, Michael. PVC Additives: Performance, Chemistry, Developments, and Sustainability, Hanser Publications, 2015. p.164.
- SEYMOUR, Raimond; CARRAHER, Charles. Introducción a la química de los polímeros. Editorial Reverté S.A, Universidad de Southern, 2002. p.460.
- TRIOLA, Fabio. Estadística. 9 ed. México: Pearson Educación, 2004. 626.p. ISBN. 9789702605195.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID. Análisis de datos. [en línea] p.16 [Consultado: 20 de mayo de 2020] Disponible en: <http://verso.mat.uam.es/~pablo.fernandez/AADD2-Cifuentes-18.pdf>
- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Diseño estadístico de experimentos. [en línea]. Antioquía: Universidad de Antioquía. 2009. p.103
- WEIGALL, Fiona. Formal Safety Assessment: Personal Protective Equipment in Marine Pilot Ladder Transfers, 2009. p.18
- WICKSON, Edward. Handbook of PVC formulating, Wiley Editor, 1993. p.629
- WILSON, Jerry; BUFFA, Anthony. Física. Pearson Educación, 2002.p.125.
- WORKMAN [Anónimo]. Catálogo Seguridad y Protección en todo terreno. [en línea] [Consultado: 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://workman.com.co/Catalogo/catalogo.pdf>
- WYPYCH, George. Handbook of Odors in Plastic Materials, ChemTec Publishing, 2017. p.89.
- YAMAGUCHI, Takeshi; HOKKIRIGAWA, Kazuo. Development of a High Slip-resistant Footwear Outsole Using a Hybrid Rubber Surface Pattern, Japón: Universidad de Tohoku, 2014. p.416.
- ZWEIFEL, Hans; AMOS, Stephen. Plastics Additives Handbook, Hanser Gardner Publications, 2001.p.362.

ANEXOS

ANEXO A.

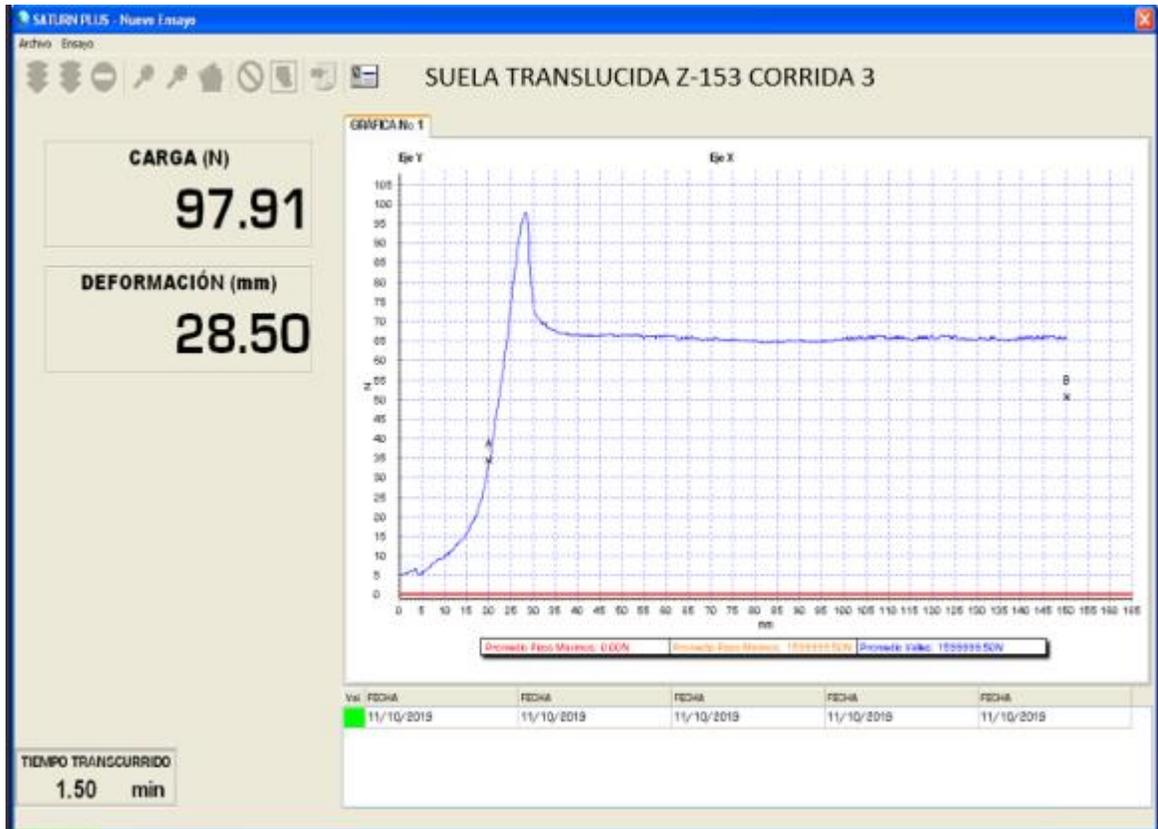
ENSAYO SUELA Z-178 PRIMER EXPERIMENTO



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

ANEXO B.

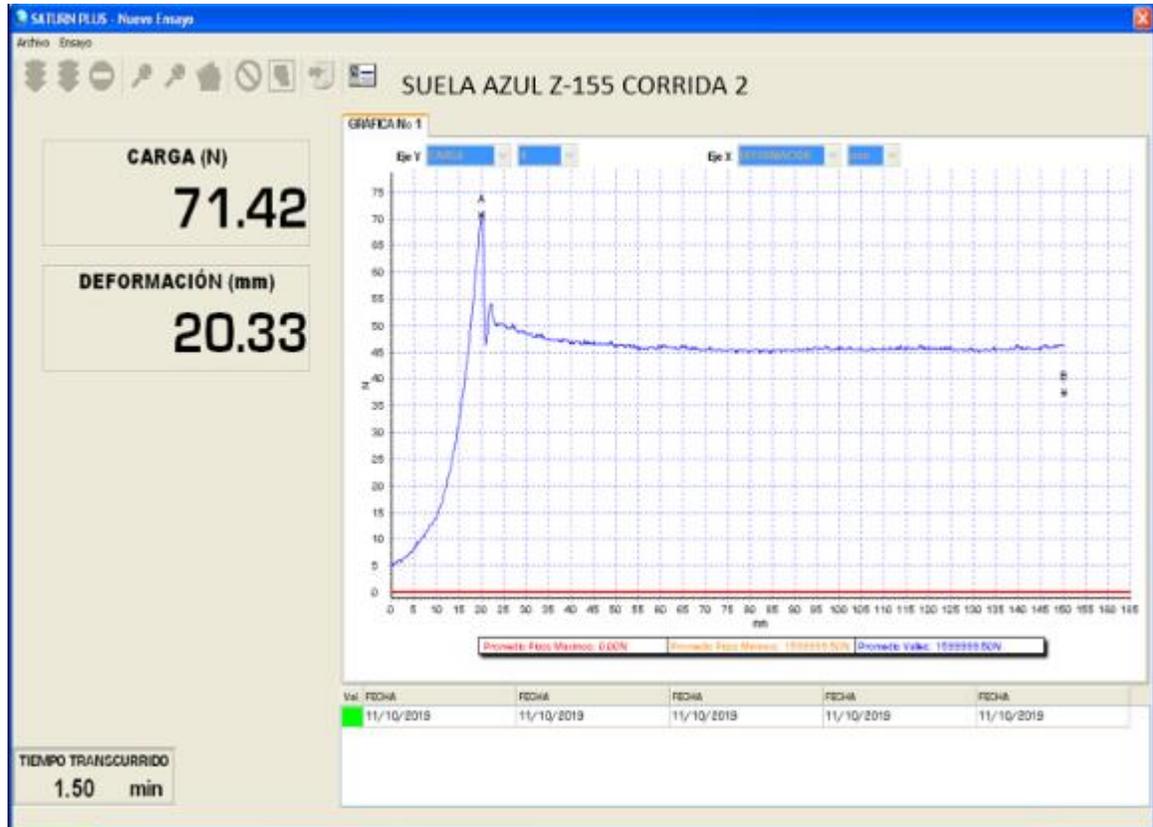
ENSAYO SUELA Z-153 PRIMER EXPERIMENTO



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

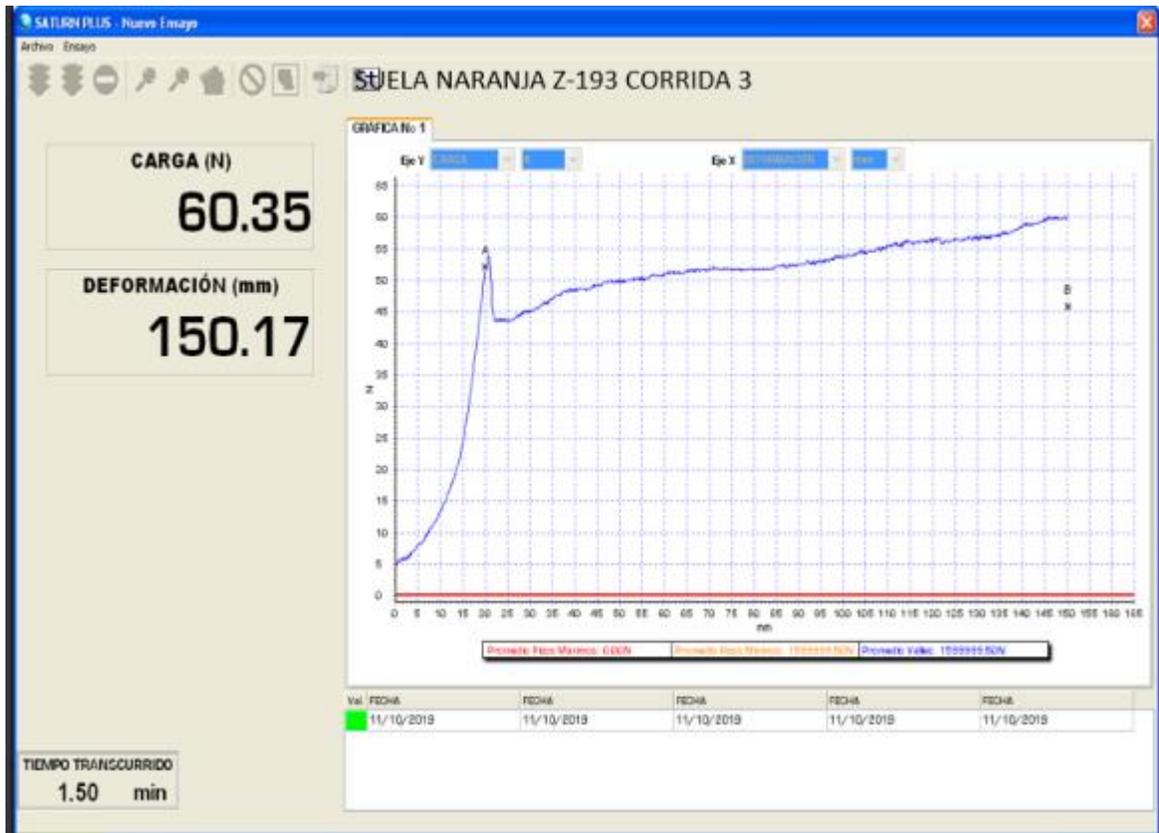
ANEXO C.

ENSAYO SUELA Z-155 PRIMER EXPERIMENTO



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

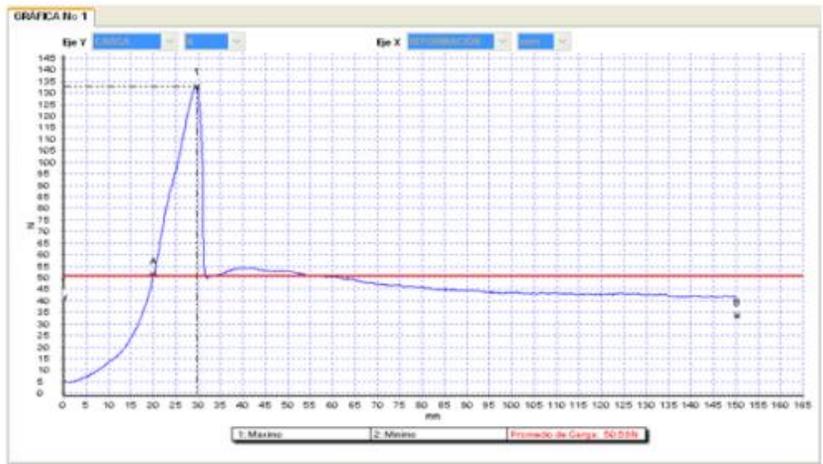
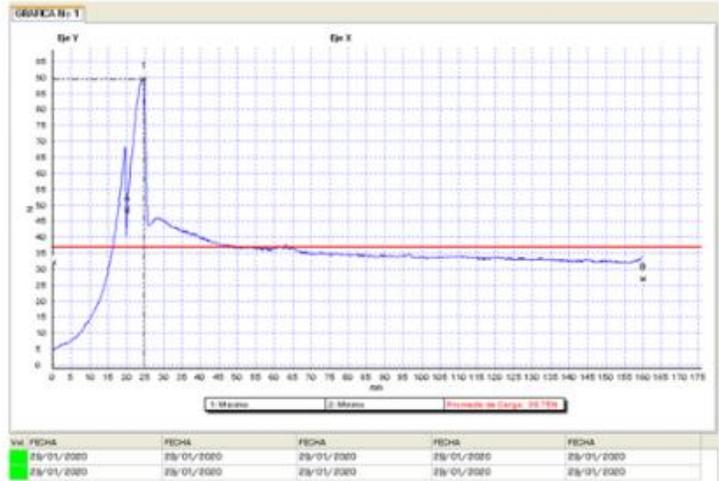
ANEXO D.
ENSAYO SUELA Z-193 PRIMER EXPERIMENTO



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

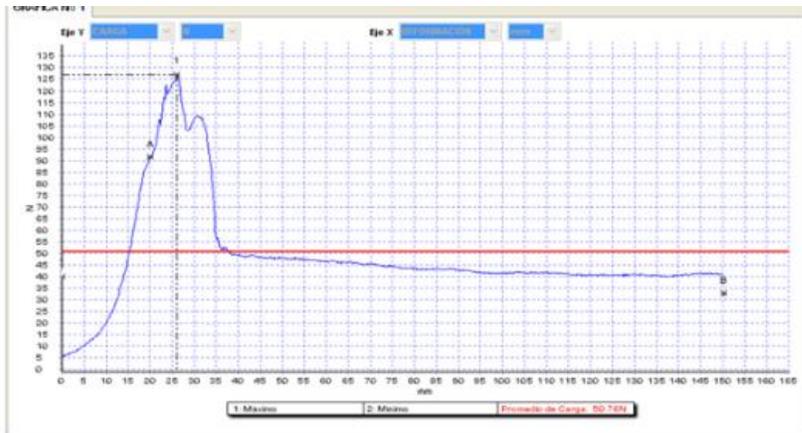
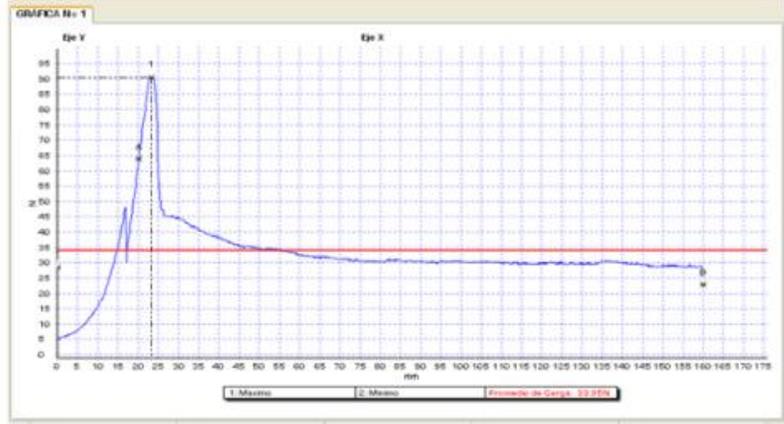
ANEXO E.

ENSAYO Z-178 Y Z-153 HUELLA ESTÁNDAR SEGUNDO EXPERIMENTO



Fuente: elaboración propia.

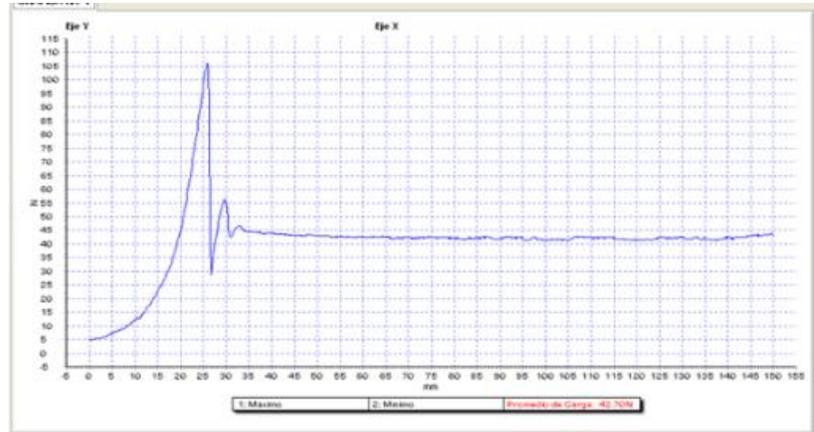
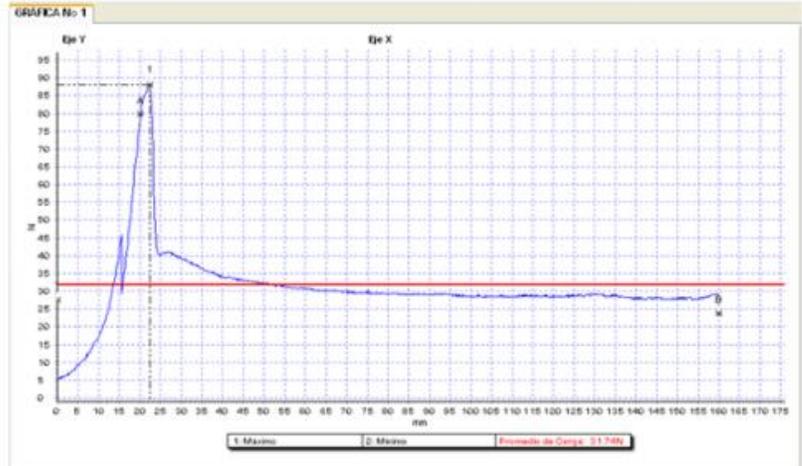
ANEXO F. ENSAYO Z-178 Y Z-153 MODIFICACIÓN 1



Fuente: elaboración propia.

ANEXO G.

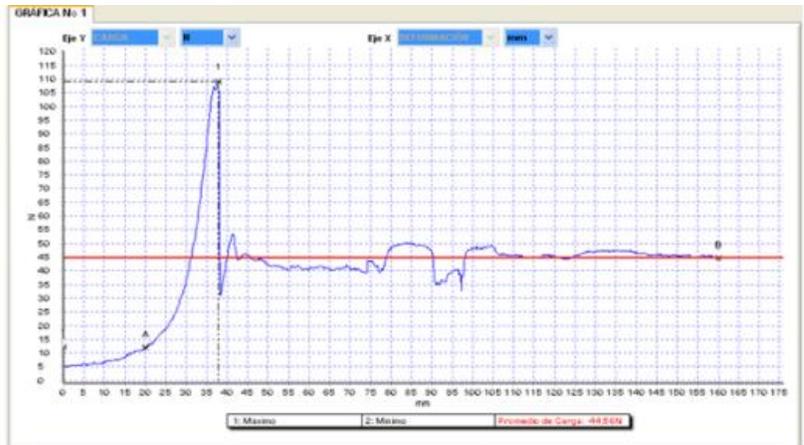
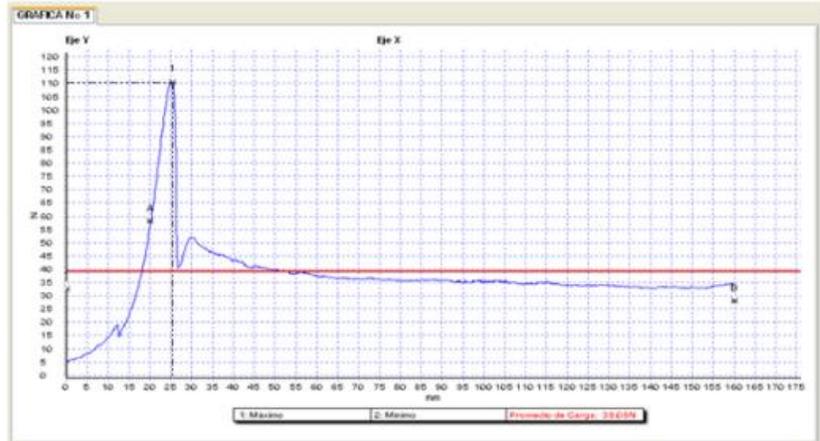
ENSAYO Z-178 Y Z-153 MODIFICACIÓN 2



Fuente: elaboración propia.

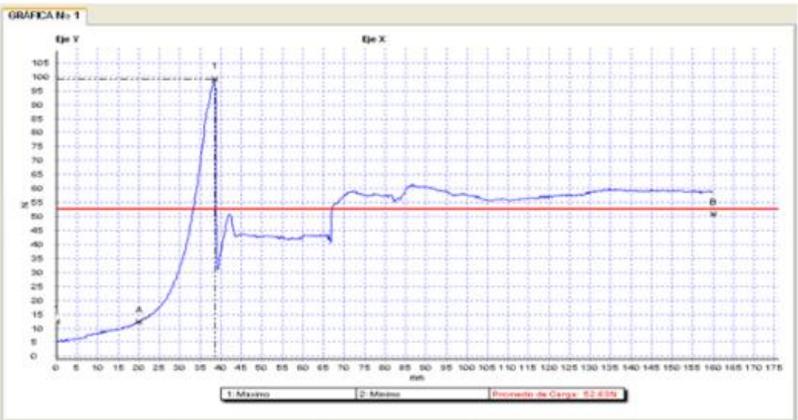
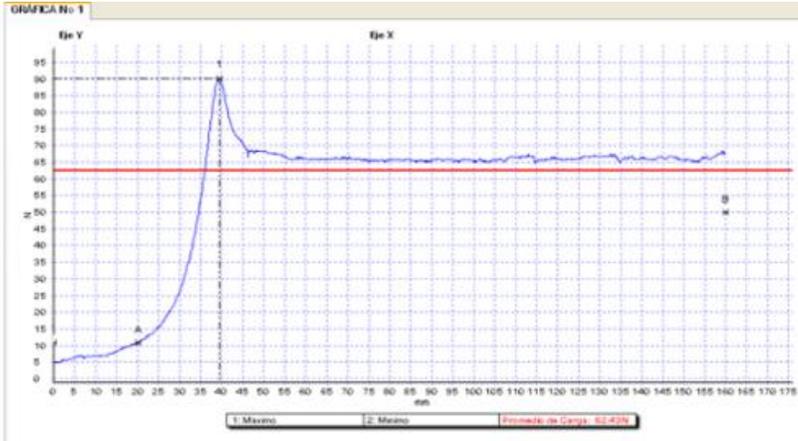
ANEXO H.

ENSAYO Z-178 Y Z-153 MODIFICACIÓN 3



Fuente: elaboración propia.

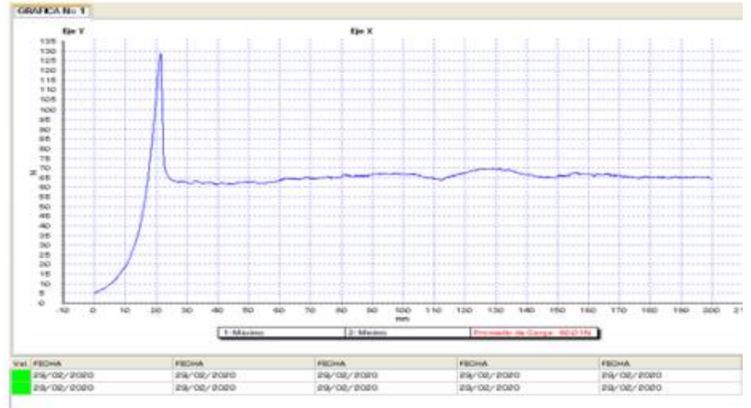
ANEXO I.
ENSAYO Z-178 Y Z-153 MODIFICACIÓN 4



Fuente: elaboración propia.

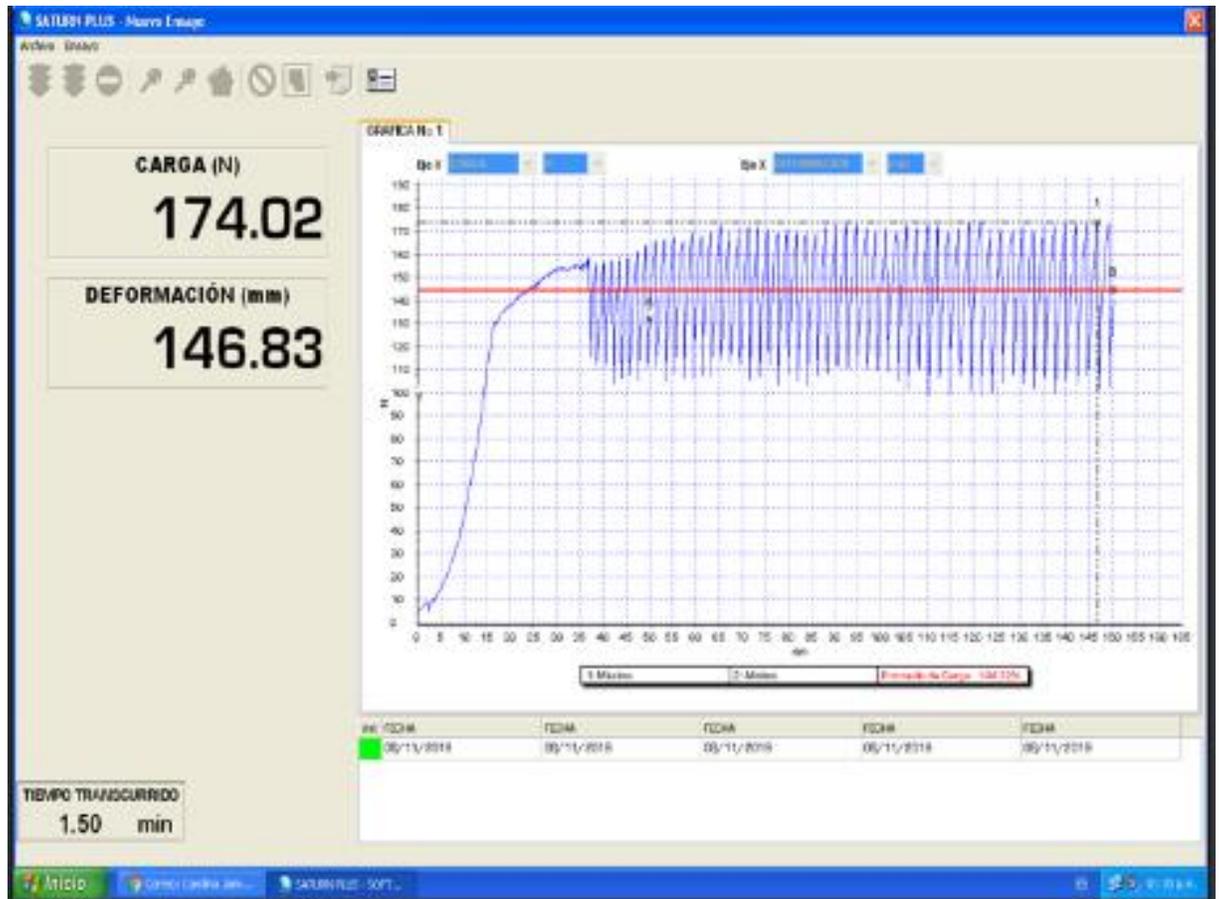
ANEXO J.

ENSAYO Z-178 Y Z-153 MODIFICACIÓN 5



Fuente: elaboración propia.

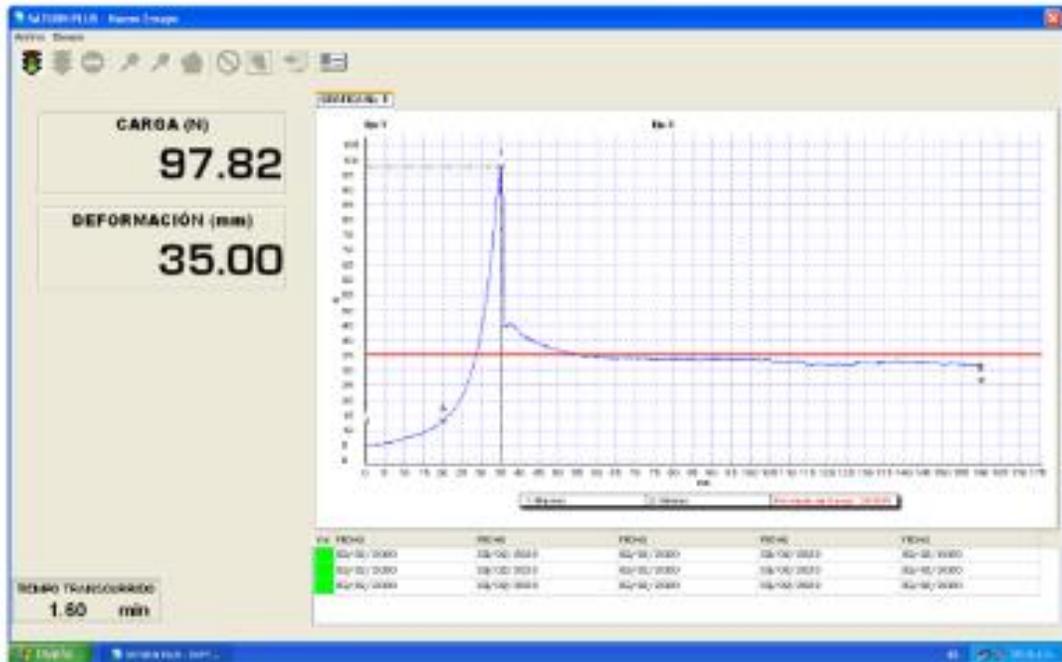
ANEXO K. ENSAYO PU-PVC



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS

ANEXO L. ENSAYO TPU-PVC

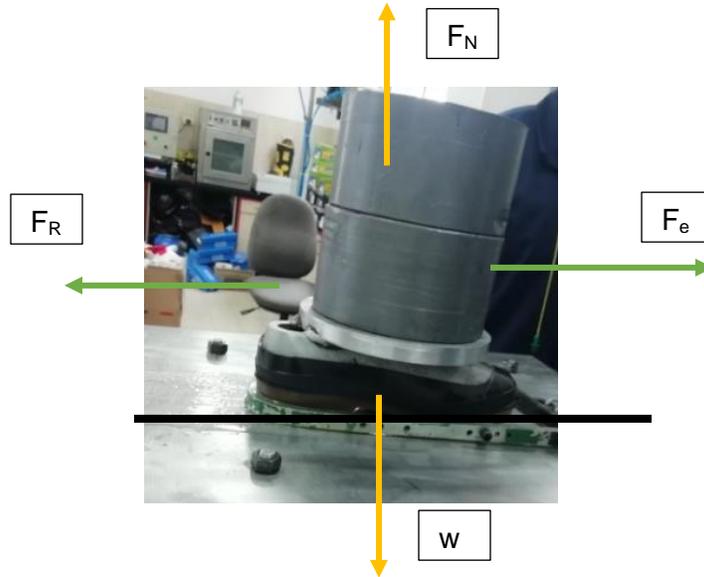
SUELA TPU + PVC



Fuente: elaboración propia, con base en: software SATURN PLUS.

ANEXO M.
CÁLCULO COEFICIENTE DE FRICCIÓN DIMÁMICO Y ESTÁTICO.

Figura M1. Fuerzas involucradas coeficiente de fricción estático.



Fuente: elaboración propia.

Donde:

F_N = Fuerza normal.

F_e = Fuerza estática.

F_R = Fuerza de rozamiento.

W = Peso.

Masa= 40,23 Kg

$$\sum F_y = F_N = W$$

$$W = 40,23 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 394,25 \text{ N}$$

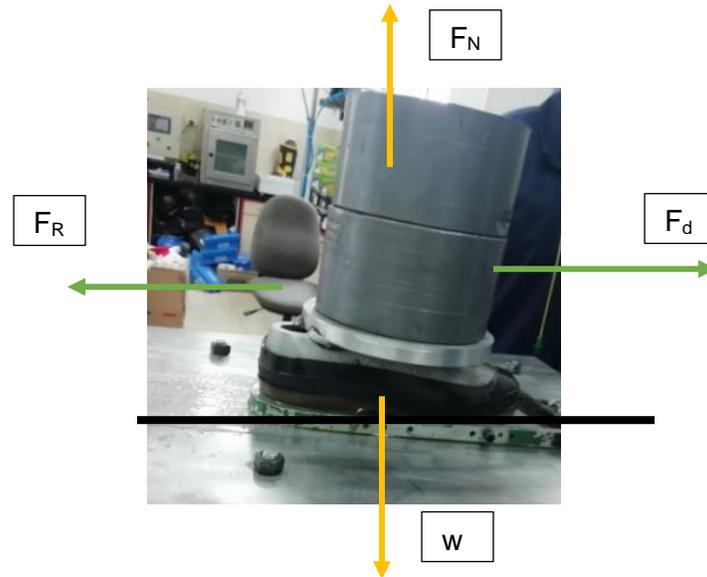
$$\sum F_x = -F_R + F_e = 0$$

$$\sum F_x = -F_R = -F_e$$

$$F_R = F_e$$

$$\mu_e * F_N = F_e$$

Figura M2. Fuerzas involucradas coeficiente de fricción dinámico.



Fuente: elaboración propia.

Donde:

F_N = Fuerza normal.

F_d = Fuerza dinámica.

F_R = Fuerza de rozamiento.

W = Peso.

Masa= 40,23 Kg

$$\sum F_y = F_N = W$$

$$W = 40,23 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 394,25 \text{ N}$$

$$\sum F_x = -F_R + F_d = m * a$$

Movimiento rectilíneo uniforme $\alpha=0$

$$\sum F_x = -F_R = -F_d$$

$$F_R = F_d$$

$$\mu_d * F_N = F_d$$

Tabla M1. Fuerzas primer experimento.

| Z-155 AZUL | | Z-153 TRANSLUCIDO | | Z-178 BLANCO | | Z-193 NARANJA | |
|-----------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| FUERZA SCOF (N) | FUERZA COF (N) | FUERZA SCOF (N) | FUERZA COF (N) | FUERZA SCOF (N) | FUERZA COF (N) | FUERZA SCOF (N) | FUERZA COF (N) |
| 82,79 | 23,65 | 74,91 | 31,54 | 74,91 | 27,59 | 67,02 | 27,59 |
| 90,67 | 27,59 | 74,91 | 31,54 | 86,73 | 27,59 | 39,42 | 23,65 |
| 86,73 | 23,65 | 82,79 | 31,54 | 82,79 | 27,59 | 43,37 | 23,65 |

Fuente: elaboración propia.

Cálculo SCOF Z-155 AZUL:

$$\mu_e * F_N = F_e$$

$$\mu_e = \frac{F_e}{F_N}$$

$$\mu_e = \frac{82,79 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,21$$

$$\mu_e = \frac{90,67 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,23$$

$$\mu_e = \frac{86,73 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,22$$

Cálculo COF Z-155 AZUL:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{23,65 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,06$$

$$\mu_d = \frac{27,59 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,07$$

$$\mu_d = \frac{23,65 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,06$$

Cálculo SCOF Z-153 TRASLÚCIDO:

$$\mu_e * F_N = F_e$$

$$\mu_e = \frac{F_e}{F_N}$$

$$\mu_e = \frac{74,91 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,19$$

$$\mu_e = \frac{74,91 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,19$$

$$\mu_e = \frac{82,79 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,21$$

Cálculo COF Z-153 TRASLÚCIDO:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{31,54 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,08$$

$$\mu_d = \frac{31,54 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,08$$

$$\mu_d = \frac{31,54 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,08$$

Cálculo SCOF Z-178 BLANCO:

$$\mu_e * F_N = F_e$$

$$\mu_e = \frac{F_e}{F_N}$$

$$\mu_e = \frac{74,91 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,19$$

$$\mu_e = \frac{86,73 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,22$$

$$\mu_e = \frac{82,79 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,21$$

Cálculo COF Z-178 BLANCO:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{27,59 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,07$$

$$\mu_d = \frac{27,59 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,07$$

$$\mu_d = \frac{27,59 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,07$$

Cálculo SCOF Z-193 NARANJA:

$$\mu_e * F_N = F_e$$

$$\mu_e = \frac{F_e}{F_N}$$

$$\mu_e = \frac{67,02 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,17$$

$$\mu_e = \frac{39,42 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,10$$

$$\mu_e = \frac{43,37 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,11$$

Cálculo COF Z-193 NARANJA:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{27,59 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,07$$

$$\mu_d = \frac{23,65 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,06$$

$$\mu_d = \frac{23,65 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,06$$

Tabla M2. Fuerzas promedio para calcular COF segundo experimento.

| Geometría | COMPUESTOS | |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| | FUERZA COF (N) Z- 178 BLANCO | FUERZA COF (N) Z- 153 TRASLÚCIDO |
| Estándar | 31,54 | 35,48 |
| Modificación 1 | 31,54 | 35,48 |
| Modificación 2 | 31,54 | 39,425 |
| Modificación 3 | 51,25 | 61,11 |
| Modificación 4 | 53,22 | 51,25 |
| Modificación 5 | 74,91 | 76,88 |

Fuente: elaboración propia.

Cálculo COF geometría estándar:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{31,54 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,08$$

$$\mu_d = \frac{35,48 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,09$$

Cálculo COF modificación 2:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{31,54 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,08$$

$$\mu_d = \frac{35,48 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,1$$

Cálculo COF modificación 1:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{31,54 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,08$$

$$\mu_d = \frac{35,48 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,09$$

Cálculo COF modificación 3:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{51,25 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,13$$

$$\mu_d = \frac{61,11 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,155$$

Cálculo COF modificación 4:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{53,22 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,135$$

$$\mu_d = \frac{51,25 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,13$$

Cálculo COF modificación 5:

$$\mu_d * F_N = F_d$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N}$$

$$\mu_d = \frac{74,91 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,19$$

$$\mu_d = \frac{76,88 \text{ N}}{394,25 \text{ N}} = 0,195$$

ANEXO N.
PRUEBAS PREVIAS INTERTEK

intertek

Total Quality Assured.
TEST REPORT

Applicant: CROYDON COLOMBIA S.A.
CROYDON COLOMBIA S.A.
CARRERA 61 NUMERO 48-37 SUR
Attn: OSCAR ARIAS



中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L0220

Number: GZHT90902240

Date: Jul 05, 2019

Sample Description:

Three (3) groups of submitted samples said to be:

- (A) One (1) pair of pull on occupational boots in Black marked as "A"
- (B) One (1) pair of pull on occupational boots in Black marked as "B"
- (C) One (1) pair of pull on occupational boots in Black marked as "C".

Standard : EN ISO 20347:2012

Size : EUR 40

Ref. : PVC boot

Date Received/Date Test Started: Jul 01, 2019

Date Final Information Confirmed: Jul 05, 2019

Test Result Please Refer To Attached Page(5).

Should you have any query on this report, you may contact at gzfootwear@intertek.com

Authorized By:
For Intertek Testing Services Shenzhen Ltd.
Guangzhou Branch

Gulliang Dong
Senior Lab Manager



Page 1 Of 3

MG / amilyiang

Intertek Testing Services Shenzhen Ltd. Guangzhou Branch

深圳天祥质量技术服务有限公司广州分公司

Room 02, 1-6/F. & Room 01, E101/E201/E301/E401/E501/E601/E701/E801,
No.7-2, Capiin Road, Guangzhou Science City, GZTDD, Guangzhou, Guangdong, China
广州经济技术开发区科学城彩虹桥1号之二第1-6层02室, 01室101.
E01L, E01L, E401L, E501L, E601L, E701L, E801L
Tel: +86 208213 9001 Fax: +86 20 82089909 Postcode: 510663

3/F., Hengyun Building, 235 Kaili Ave., Guangzhou
Economic & Technological Development District, Guangzhou,
China
中国广州经济技术开发区彩虹桥235号恒运大厦3楼
Tel: +86 20 82966868 Fax: +86 20 82226059 Postcode: 510730

Slip Resistance (EN ISO 20344:2011(5.11) & ISO 13287:2012, SRC, Temperature: 23°C)

| Sample | Size | Test Floor | Lubricant | Modes | Results | Requirement | Pass/Fail |
|--------|--------------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| (A) | 40 (Left) | Eurotile 2 | NaLS | Forward Heel Slip (#1) | 0.35 | Min. 0.28 | Pass |
| | | | | Forward Flat Slip (#2) | 0.27 | Min. 0.32 | Fail |
| | | Steel Floor | Glycerine | Forward Heel Slip (#1) | 0.07 | Min. 0.13 | Fail |
| | | | | Forward Flat Slip (#2) | 0.13 | Min. 0.18 | Fail |

| Sample | Size | Test Floor | Lubricant | Modes | Results | Requirement | Pass/Fail |
|--------|--------------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| (B) | 40 (Left) | Eurotile 2 | NaLS | Forward Heel Slip (#1) | 0.29 | Min. 0.28 | Pass |
| | | | | Forward Flat Slip (#2) | 0.25 | Min. 0.32 | Fail |
| | | Steel Floor | Glycerine | Forward Heel Slip (#1) | 0.05 | Min. 0.13 | Fail |
| | | | | Forward Flat Slip (#2) | 0.06 | Min. 0.18 | Fail |

| Sample | Size | Test Floor | Lubricant | Modes | Results | Requirement | Pass/Fail |
|--------|--------------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| (C) | 40 (Left) | Eurotile 2 | NaLS | Forward Heel Slip (#1) | 0.41 | Min. 0.28 | Pass |
| | | | | Forward Flat Slip (#2) | 0.34 | Min. 0.32 | Pass |
| | | Steel Floor | Glycerine | Forward Heel Slip (#1) | 0.04 | Min. 0.13 | Fail |
| | | | | Forward Flat Slip (#2) | 0.06 | Min. 0.18 | Fail |

Note:

It Must Be Noted That The Slip Resistance Test Carried Out In This Report Denotes An Indication Of Slip Of This Particular Footwear/Component On The Surface Mentioned In The Test Item. It Is Important To Note That Footwear Is Subject To Many Different Conditions Encountered In Everyday Use And That It Is Impossible To Make Footwear Resistant To Slip In All Conditions. Nevertheless, It Is Generally Accepted That Problems Are Minimized If The Guideline Coefficients Of Friction Are Achieved.

Remark: #1 = Using Standard Shoemaking Last
#2 = Using Mechanical Foot

Expanded Uncertainty: 0.01, With k = 2.03 At 95% Confidence Level.

intertek

Total Quality. Assured.

TEST REPORT

Tests Conducted (As Requested By The Applicant)



中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L0220

Number: GZHT90902240



End Of Report

This report is made solely on the basis of your instructions and/or information and materials supplied by you. It is not intended to be a recommendation for any particular course of action. Intertek does not accept a duty of care or any other responsibility to any person other than the Client in respect of this report and only accepts liability to the Client insofar as is expressly contained in the terms and conditions governing Intertek's provision of services to you. Intertek makes no warranties or representations either express or implied with respect to this report save as provided for in those terms and conditions. We have aimed to conduct the Review on a diligent and careful basis and we do not accept any liability to you for any loss arising out of or in connection with this report, in contract, tort, by statute or otherwise, except in the event of our gross negligence or wilful misconduct. No copy of the test report(except for full text copy) shall be made without the written approval by Intertek.