

**DISEÑO Y DESARROLLO DE SUELA VULCANIZADA PARA CALZADO SPORT
MASCULINO A PARTIR DE UN NUEVO MATERIAL COMPUESTO REFORZADO
CON FIBRAS NATURALES**

KEYLA ALEJANDRA CORDOBES MOLINA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2013**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE SUELA VULCANIZADA PARA CALZADO SPORT
MASCULINO A PARTIR DE UN NUEVO MATERIAL COMPUESTO REFORZADO
CON FIBRAS NATURALES**

KEYLA ALEJANDRA CORDOBES MOLINA

Proyecto de grado como requisito para optar al título de Diseñadora Industrial

Director

MSc LUIS ALBERTO LAGUADO VILLAMIZAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2013**

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento por la colaboración en el desarrollo del proyecto a:

MSc. LUIS ALBERTO LAGUADO VILLAMIZAR. Diseñador industrial y docente en la Escuela de Diseño Industrial, por su dirección, asesoría y apoyo a lo largo de la investigación.

MSc. ALDRÍN VELOSA PACHECO Ingeniero Metalúrgico y director del Laboratorio de Resistencia de Materiales de las Unidades Tecnológicas de Santander por su colaboración en la realización de las pruebas mecánicas para la investigación.

EMPRESA SUELAS E INSUMOS GALLEGO. Por la colaboración prestada en el suministro de material y el apoyo para la fabricación de las muestras de la investigación.

JUAN MANUEL GALLEGO y MARÍA DE GALLEGO. Gerente y representante de la empresa Suelas e Insumos Gallego, por su atención y colaboración en su empresa.

LABORATORIO DE QUÍMICA. Universidad Industrial de Santander

A todas aquellas personas que contribuyeron a la realización de este proyecto.

A mi madre por ser el motor y mi guía,
A mis hermanas por la compañía y complicidad en el camino,
A mis grandes amigos Danny, Juli, la Rola, Laura, Lili y Martin por ser parte de mi
camino, por los momentos compartidos y en especial por sus enseñanzas.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	20
1.1 JUSTIFICACIÓN	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2 OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GENERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3 MARCO TEÓRICO	26
3.1 MATERIALES COMPUESTOS, MATERIALES PARA SUELAS	26
3.1.1 Matrices	27
3.1.2 Refuerzo con fibras naturales	31
3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS - COMPUESTOS CON FIBRAS	38
3.2.1 Módulo Young	39
3.2.2 Resistencia a la tracción y longitud crítica de la fibra	42
3.2.3 Tenacidad	43
3.3 DISEÑO DE SUELAS	43
3.4 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE SUELAS	44
3.4.1 Vulcanización de Caucho	44
3.5 PRUEBAS Y ENSAYOS PARA SUELAS	48
3.5.1 Determinación de "Dureza Shore A"	49
3.5.2 Resistencia a la tracción	50
3.5.3 Flexión repetida	51
3.6 ASPECTO HUMANO	51
3.6.1 Análisis antropométrico de los usuarios	52
3.6.2 Huella plantar	54
FUENTE: PURATICH, LILIANA. PODOLOGIA UMB	57
3.6.3 Formula metatarsiana	57

3.6.4	Biomecánica de la marcha	58
3.6.5	Aspectos sobre el calzado y la horma	71
3.7	RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE LA SUELA EN EL CALZADO SPORT76	
3.7.1	Tipos de calzado	82
4	ANÁLISIS DEL MERCADO	85
4.1	USUARIOS	85
4.2	EMPRESAS DEL SECTOR	86
4.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS LOCALES	89
4.4	CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS EXTRANJEROS	93
5	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	100
5.1	REQUERIMIENTOS FORMAL- ESTÉTICOS	100
5.2	REQUERIMIENTOS EXPRESIVO- FORMALES	103
5.3	REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	103
5.4	REQUERIMIENTOS ERGONÓMICOS	106
5.5	REQUERIMIENTOS TÉCNICO- PRODUCTIVOS	107
5.6	RESTRICCIONES	110
6	PROPUESTAS DE DISEÑO	111
6.1	DISEÑO DEL REFUERZO	112
6.1.1	Tejido de Mimbre	112
6.1.2	Tejido de Fique	119
6.2	DISEÑO DE LA MATRIZ	126
6.2.1	Propuesta 1.	127
6.2.2	Propuesta 2.	130
6.2.3	Propuesta 3.	132
7	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	136
8	EVALUACIÓN DE MUESTRAS	141
8.1	PRIMERA COMPROBACIÓN	141
8.1.1	Fabricación de primeras muestras de con mimbre y fique	141
8.1.2	Contenido de constituyentes	141

8.2	ESPECIFICACIONES PARA LA VALIDACIÓN DE LAS PRUEBAS	143
8.2.1	Vulcanización de los materiales constituyentes	143
8.3	FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS	145
8.3.1	Probetas de tracción	146
8.3.2	Probetas para ensayo de Dureza Shore	150
9	ENSAYOS Y RESULTADOS	154
9.1	Ensayos de Tracción	154
9.2	Ensayo de Dureza Shore A	157
10	EVOLUCIÓN Y FABRICACIÓN DE LA SUELA	160
10.1	Evolución de la propuesta seleccionada	160
10.2	Producción del molde	164
10.3	Producción de la suela	169
11	PRUEBA DE DESEMPEÑO DEL PRODUCTO	174
11.1	Equipo empleado: SATRA STM 465- NTC ISSO 20344: 2007-11-16	175
11.2	Principio de la prueba	176
12	PRODUCTO FINAL	180
12.1	Aplicación del producto	183
13	CONCLUSIONES	185
14	RECOMENDACIONES	187
15	BIBLIOGRAFÍA	188
16	ANEXOS	191
16.1	Fotografías en detalle – ruptura a tensión	191
16.2	Informe Pueba de Flexión para suelas- Laboratorio CEINNOVA	194

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Propiedades Del Caucho Termoplástico	31
Tabla 2: Estructura Física De La Hoja De Fique	35
Tabla 3: Composición Química De La Hoja De Fique	35
Tabla 5: Medidas Antropométricas- Horma Para Hombre. Muestra Bucaramanga	52
Tabla 6: Medidas Antropométricas, Horma Para Hombre Talla 38.	54
Tabla 4 Costos De Suelas, Distribuidores Locales	90
Tabla 7: Longitudes Para La Plantilla De Refuerzo	119
Tabla 8: Longitudes Para La Plantilla De Refuerzo	125
Tabla 9: Evaluación Según Requerimientos De Función	136
Tabla 10: Evaluación Según Requerimientos Expresivo-Formales	137
Tabla 11: Evaluación Según Requerimientos Formal- Estéticos	138
Tabla 12: Materiales Para Muestras Con Refuerzo De Mimbre	142
Tabla 13: Materiales Para Muestras Con Refuerzo De Fique	142
Tabla 14: Datos De Fabricación De Las Muestras	144
Tabla 15: Selección De Durómetro: Usos Típicos.	153
Tabla 16: Resultados Y Promedios De Las Pruebas De Tracción	154
Tabla 17: Comparación De Resultados Con Otros Materiales Similares	157
Tabla 18: Nomenclatura Para La Identificación De Probetas	158
Tabla 19: Valores De Dureza Shore A Para Las Muestras	158
Tabla 20: Longitudes Para Las Plantillas Del Refuerzo	170
Tabla 21: Corte Del Material Matriz- Según Peso Requerido	171
Tabla 22: Cantidad De Material Matriz Para Cada Tipo De Refuerzo	171
Tabla 23: Verificación, Control Y Emisión	174
Tabla 24: Resultados En La Prueba De Flexión De Suela Completa	177
Tabla 25: Costos Para Suela Con Refuerzo De Fique	182
Tabla 26: Costos Para Suelas Con Refuerzo De Mimbre	182

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Morfologías De Compuestos Reforzados Con Fibras	32
Figura 2: Proceso De Producción Del Fique. De Izquierda A Derecha: Corte, Desfibrado, Lavado Y Secado De La Fibra.	34
Figura 3: Proceso De Producción Del Mimbres. A) Cultivo B) Corte C) Clasificación	37
Figura 4: Diagrama De Barras De Valores De Módulo De Young, E (Gpa)	40
Figura 5: Material Compuesto Cargado En La Dirección En Que El Módulo Es Máximo	41
Figura 6: Curva Tensión - Deformación, Material Compuesto Fibras Continuas.	42
Figura 7: Molino Para Caucho	46
Figura 8: Corte Del Caucho	47
Figura 9: Prensa Vulcanizadora Para Caucho	47
Figura 10: Moldes Cargados	48
Figura 11: Huella Plantar Pie Normal	55
Figura 12: Variaciones De La Huella Plantar	56
Figura 13: Huella Plantar, Grados De Variación	57
Figura 14: Fórmula Metatarsiana Del Pié	57
Figura 15: Clasificación Funcional Del Pie	60
Figura 16: Puntos De Apoyo Del Pie Y Arcos De La Bóveda Plantar	60
Figura 17: Arco Interno Del Pie Y Principales Tensores Tp Y Fp.	62
Figura 18: Fases Del Contacto Del Pie Con El Suelo Y Trayectoria Del Punto De Aplicación De La Carga	63
Figura 19: Desarrollo Del Apoyo Plantar En El Transcurso Del Paso	65
Figura 20: Dirección Del Pie En La Marcha	66
Figura 21: Movilidad Articular Y Amortiguación Sobre La Marcha	69
Figura 22: Superficie Plantar De La Horma	74
Figura 23: Medidas Plantares De La Horma	75

Figura 24: Diagrama De Fuerzas Actuantes Durante La Marcha	78
Figura 25: Recomendaciones Para El Diseño De La Suela	80
Figura 26: Calzado Sport Masculino	83
Figura 27: Empresas Locales Fabricadoras De Suelas	86
Figura 28: Tipos De Suela, Tiendas Locales	90
Figura 29: Suelas De Caucho, Calzado Masculino	91
Figura 30: Vista Superior De La Suela Comercial	91
Figura 31: Diferentes Diseños De Punteras	92
Figura 32: Fibra De Mimbre Natural	112
Figura 33: Técnica Tradicional De Tejido, Tejido Manual	113
Figura 34: Tipos De Tejido De Mimbre	114
Figura 35: Tejido De Mimbre, Primera Muestra	115
Figura 36: Etapa De Propulsión De La Marcha	115
Figura 37: División Del Pie En Zonas De Trabajo	116
Figura 38: Propuesta De Tejido De Mimbre	117
Figura 39: Planteamiento De Tejido Para La Extracción De Varias Plantillas	118
Figura 40: Corte De La Plantilla – Refuerzo De Tejido De Mimbre	118
Figura 41: Tejido De Fique- Primera Muestra	120
Figura 42: Alternativa De Prueba- Tejido De Fique	121
Figura 43: Alternativa De Prueba- Tejido De Fique	122
Figura 44: Eje De Flexión Metatarsiana - Ancho De Las Articulaciones	122
Figura 45: Propuesta Bidimensional De Tejido	123
Figura 46: Propuesta De Tejido De Fique- Ubicación De Las Fibras	124
Figura 47: Distribución Del Refuerzo Sobre La Huella Plantar	125
Figura 48: Puntera Para La Propuesta De Diseño	126
Figura 49: Concepto- Propuesta 1	127
Figura 50: Propuesta Bidimensional 1.	128
Figura 51: Aspectos De La Configuración Formal	128
Figura 52: Concepto 1- Líneas Estoraques	129
Figura 53: Dimensiones Y Organización De Los Materiales De La Propuesta 1.	130

Figura 54: Concepto- Propuesta 2.	130
Figura 55: Distribución De Forma En La Suela	131
Figura 56: Propuesta Bidimensional 2.	131
Figura 57: Concepto – Propuesta 3.	132
Figura 58: Distribución De La Forma Según Puntos De Apoyo Del Pie	133
Figura 59: Módulos De Construcción Formal	134
Figura 60: Detalle De La Propuesta	134
Figura 61: Concepto 3- Silueta Estoraques	135
Figura 62: Suela3 Reforzada. Alternativas De Color Y Organización De Las Partes	135
Figura 63: Puntuación Total Para Cada Propuesta Formal	140
Figura 64: Pasta Negra De Caucho Para Vulcanizado	142
Figura 65: Diseño Del Laminado	143
Figura 66: Proceso De Fabricación Del Material Compuesto	144
Figura 67: Muestras Finales	145
Figura 68: Dimensiones De La Probeta	147
Figura 69: Probetas De Tracción- Refuerzo De Fique	148
Figura 70: Probetas De Tracción- Refuerzo De Mimbres	148
Figura 71: Probetas De Tracción- Sin Refuerzo	149
Figura 72: Equipos E Instrumentos- Prueba De Tracción	150
Figura 73: Penetrador Tipo A Y C	151
Figura 74: Dimensiones De La Muestra Para Cinco Mediciones	151
Figura 75: Probetas De Dureza Terminada	152
Figura 76: Durómetro Shore Tipo A	153
Figura 77: Resultados De Tracción	155
Figura 78: Deformación A Tracción	156
Figura 79: Resultados Dureza Shore A	158
Figura 80: Alternativa Seleccionada Según Evaluación Formal	160
Figura 81: Propuesta De Evolución- Concepto De Radiación	162
Figura 82: Detalles De La Construcción Formal De La Suela	163
Figura 83: Elementos De Diseño De La Suela- Especificaciones Técnicas	164

Figura 84: Planos De La Suela	165
Figura 85: Modelo En Parafina	166
Figura 86: Sellado Del Modelo- Fabricación De Molde En Yeso	166
Figura 87: Molde En Yeso	167
Figura 88: Copiado Del Molde En Arena Sílica	167
Figura 89: Proceso De Fundición Del Aluminio	168
Figura 90: Matriz De Aluminio	168
Figura 91: Proceso De Producción De Las Suelas Propuestas	169
Figura 92: Plantillas Del Refuerzo- Tejido De Mimbre Y Tejido De Fique	170
Figura 93: Ubicación De Los Componentes Del Material En El Molde	172
Figura 94: Extracción De La Suela	172
Figura 95: Prototipo De Suela- Muestra Para Evaluación	175
Figura 96: Maquina Satra Stm 465 Para Prueba De Flexión En Suelas	175
Figura 97: Posición De La Línea De Flexión Ac Sobre La Suela	176
Figura 98: Comportamiento De Las Suelas- Prueba De Flexión	178
Figura 99: Muestras Evaluadas A Flexión En El Laboratorio Ceinnova	179
Figura 100: Fabricación De Prototipos	180
Figura 101: Prototipo- Suela Con Refuerzo De Fique	181
Figura 102: Prototipo- Suela Con Refuerzo De Mimbre	181
Figura 103: Aplicación De Uso Para El Producto	184

ANEXOS

	Pág.
FOTOGRAFÍAS EN DETALLE – RUPTURA A TENSIÓN	185
INFORME PUEBA DE FLEXIÓN PARA SUELAS- LABORATORIO CEINNOVA	188

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y DESARROLLO DE SUELA VULCANIZADA PARA CALZADO SPORT MASCULINO A PARTIR DE UN NUEVO MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES**.

AUTORA: KEYLA ALEJANDRA CORDOBES MOLINA**

PALABRAS CLAVES: Vulcanización, Material compuesto, Refuerzo, Fibras Naturales.

CONTENIDO: En las empresas del sector del calzado, específicamente las fabricantes de suelas, la investigación en nuevos materiales se posiciona como una de las alternativas para el desarrollo tecnológico y el desarrollo de productos; aprovechando esta iniciativa, se estudia la posibilidad de incorporar materiales naturales en la fabricación de suelas, con el fin de estudiar nuevas opciones de diseño para impulsar las propuestas locales de productos. Con la colaboración de la empresa Suelas e Insumos Gallego se plantea el estudio de un material compuesto de caucho termoplástico con reforzado de fibras de mimbre y de fique, para estudiar sus propiedades y desempeño para su aplicación en el producto suelas para calzado sport masculino.

Este proceso se llevó a cabo siguiendo una metodología de diseño comprendida por una etapa de recolección de información, etapa de investigación del material, diseño, evaluación técnica y manufactura del producto.

En la primera parte del proyecto se elaboran probetas con el material compuesto para su evaluación mecánica mediante ensayos de tracción y determinación de dureza Shore A; posteriormente a partir de estos resultados se diseña el refuerzo y la matriz para la nueva suela vulcanizada de calzado sport masculino. Para la aplicación del material se elabora el molde en aluminio a partir de un modelo a escala real de la suela diseñada; a partir de este se fabrican las primeras muestras del producto, con las cuales se realiza la evaluación de desempeño a flexión repetida simulando condiciones reales de esfuerzo para la suela. Se aplica finalmente el material evaluado en un prototipo de suela para la fabricación de una muestra de calzado.

El proyecto permite incorporar comprobaciones técnicas en el diseño y desarrollo de productos industriales. Para el aprovechamiento del contenido y el método utilizado, el proyecto puede ser utilizado como material de consulta para el aprendizaje de los mismos.

* Proyecto de Investigación

** **Facultad:** Ingenierías Físico- Mecánicas **Escuela:** Diseño Industrial **Director:** Luis Alberto Laguado

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND DEVELOPMENT OF MALE SPORT SHOE VULCANIZED SOLE FROM A NEW COMPOSITE MATERIAL REINFORCED WITH NATURAL FIBER .

AUTHOR: KEYLA CORDOBES ALEJANDRA MOLINA**

KEY WORDS: Vulcanization, Composite Materials, Reinforcement, Natural Fibers.

CONTENT: In companies of the footwear industry, specifically the soles manufacturers, research on new materials is positioned as one of the alternatives for technology development and product development; taking this initiative, it studied the possibility of incorporating natural materials in the manufacture of soles, in order to explore new design options to boost local product proposals. With the collaboration of the company Suelas e Insumos Gallego, it's does the approach for the study of a composite material of thermoplastic rubber reinforced with wicker and sisal fibers, to study their properties and performance for application in the product male sport shoe soles.

This process is carried out following a design methodology comprised of information gathering stage, stage equipment research, design, manufacturing and technical evaluation of the product.

In the first part of the project was developed with the manufacturing of composite specimens for mechanical testing by tensile and Shore A hardness determination, then from these results, is designed reinforcement and the matrix for the new male sport shoe vulcanized sole. For the application of the material is made of aluminum mold from a real scale model designed sole, since this will make the first samples of the product, which is carried out performance evaluation to conditions simulating repeated bending to real effort of the sole. Finally the material is applied on a prototype sole for manufacturing a footwear sample.

The project allows incorporating technical findings in the design and development of industrial products. For the use of the content and the method used, the project can be used as reference material for learning them.

* Investigation Project

** **Faculty:** Physical-Mechanical Engineering **School:** Industrial Design **Manager:** Luis Alberto Villamizar Laguado

INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual la generación de tendencias y modas es una constante que incide en el desarrollo de productos y por lo tanto en el desarrollo de nuevas estrategias y competencias dentro de las empresas. Para el sector calzado, estos procesos de desarrollo se basan en el control de la calidad, la intervención de nuevas tecnologías, diseño y desarrollo de productos, con el fin de garantizar el mejoramiento continuo de la competitividad a partir de la innovación y el desarrollo tecnológico. La investigación dentro de la empresa, posibilita la identificación de fortalezas y oportunidades de mejoramiento y así mismo, permite plantear planes de acción para el crecimiento y desarrollo tecnológico de la cadena productiva.

Como parte de este proceso de innovación, la investigación y el desarrollo de nuevos materiales para calzado se convierte en una oportunidad de crecimiento. Específicamente en la producción de suelas, pueden incorporarse en un porcentaje mayor, materiales naturales que no solo tengan una función decorativa sino que proporcionen un valor agregado en la calidad; suelas que cumplan con las normas pertinentes, con materiales evaluados según pruebas de resistencia y flexibilidad.

Generalmente el uso de materiales naturales, específicamente las fibras, son utilizadas como elemento de decoración en las suelas de calzado y en menor grado como un elemento que mejora las propiedades mecánicas de los materiales, la durabilidad y el impacto ambiental de estos. Las fibras naturales son una opción tecnológica utilizada en la industria como refuerzo de materiales termoplásticos, mobiliario, laminas, techos, materiales para construcción entre otros, gracias a su alta resistencia mecánica, poco peso y bajo costo. Vegetales como el fique, el bambú, el mimbre, la madera, la rafia, el cáñamo, el yute, entre otras, son parte del amplio grupo de fibras naturales que se emplean como materiales sostenibles de los cuales pueden aprovecharse también sus residuos y son un recurso renovable.

En la producción de suelas en Bucaramanga¹, se utilizan materiales como PVC (Policloruro de Vinilo), TR (Caucho termoplástico), Expansor (de PVC y TR- Maraca comercial) y Espumas de Poliuretano que se manejan por procesos de inyección y vulcanizado; para el presente proyecto se propone el estudio de un material compuesto generado a partir del uso del Caucho Termoplástico que es uno de los materiales más utilizados en la industria de las suelas, reforzado mediante vulcanización, con fibras naturales que permita la disminución del material polimérico en su fabricación y del mismo modo, mantener o mejorar la calidad del producto.

El fique y el Mimbres son fibras naturales que tienen múltiples aplicaciones en mobiliario, productos artesanales y empaques. Para el diseño de la suela para calzado masculino, de tipo sport, se plantea el diseño del refuerzo a partir de uso de estas fibras aprovechando su versatilidad. Con el propósito de conocer las propiedades del material reforzado y evaluar el diseño del producto, se realizan pruebas mecánicas de tracción con probetas de diferentes combinaciones de matriz y refuerzo, se determina la dureza del material, características, y el desempeño del producto mediante pruebas de flexión y aplicación en el calzado. Esta propuesta, debe generar un producto eficiente y competitivo dentro del mercado de las suelas, con características de calidad e innovación.

1. Estudio de mercado; entrevista en tiendas distribuidoras. Bucaramanga

1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 JUSTIFICACIÓN

En el comercio colombiano, se vive un proceso de transformación en cuanto a la producción y el consumo de productos nacionales. El modelo que se ha estado desarrollando es basado en la conservación de un equilibrio entre el nivel de desarrollo de productos y la utilización de los recursos, donde el impacto ambiental y social es también, parte de las preocupaciones de las empresas y de los usuarios. El aprovechamiento de materiales naturales se posiciona como una de las fuentes de diseño y como un aspecto innovador para las empresas que continuamente están aumentando la producción; ligado a esto se va dando importancia al aumento del control y seguimiento de los productos, teniendo en cuenta su ciclo de vida.

En cuando a la fabricación de zapatos, en gran medida se busca hacer más “calzado respetuoso con el medio ambiente y disminuir el uso de materiales tóxicos”². Para alcanzar un nivel de superioridad dentro del mercado, el calzado debe mantener un equilibrio en los aspectos de precio, calidad y diseño, que constituyen los atributos del producto y determinan su consumo.

“En el aspecto de la calidad, empresas de muchos países continuamente hacen estudios tecnológicos con el objetivo de mejorar cada vez más el producto diseñando para cada gusto”³. La fuerte competencia obliga a las empresas de esta industria a destinar gran parte de sus recursos a la mejora de las estrategias de mercadeo y a renovar los procesos y la calidad de sus productos.

-
2. RTVE.es, Noticias sobre ciencia y tecnología: Un zapato biodegradable que se puede utilizar como compost. España, 2012, disponible en la web: <<http://www.rtve.es/noticias/20120813/zapato-biodegradable-se-puede-utilizar-como-compost/556780.shtml>>
 3. TOLOZA, Doris Paulina, Blog Pensamiento Gerencial: Ciclo de vida Del calzado. 2011, Disponible en la web: <<http://pensamientogerencial2011ufps.blogspot.com/2011/06/tercera-nota-ciclo-de-vida-del-calzado.html>>

Frente a este panorama, la industria del calzado se está renovando, en mayor proporción en el exterior del país, donde se exponen varias alternativas para hacer el calzado más amigable con el planeta; diseños que permiten el uso de una suela intercambiable que se utiliza en varios tipos de calzado según el gusto o el clima, materiales 100% reciclables o 100% biodegradables al ser desarrollados a partir de materias orgánicas, materiales curtidos con titanio (un material no tóxico) para reemplazar el plomo⁴ hacen parte de las nuevas propuestas para calzado que sirven de inspiración para las empresas del sector en Colombia.

Según seguimientos técnicos realizados por el laboratorio Ceinnova⁵ a las empresas de la industria del calzado en el país, se concluye que las fábricas colombianas que producen suelas están muy atentas y preocupadas por la calidad de sus productos finales, estableciendo esta como una de las estrategias que ponen en prácticas para conquistar espacio en el mercado. Se percibe una preocupación muy grande en disponer para el mercado productos bien acabados y estéticamente bien fabricados [1].

De manera general, las suelas producidas presentan buena calidad, lo que falta aún son iniciativas para la utilización de un material alternativo que pueda tener mayor durabilidad que los materiales actuales; una opción son los materiales compuestos, debido a que con ellos se puede obtener alta resistencia y baja densidad para diseñar las suelas a partir de estos.

4. DISCOVERY, Treehugger. Artículo: El calzado del futuro. 2011, Disponible en la web: <<http://blogs.tudiscovery.com/descubre-el-verde>>

5. CEINNOVA, Centro de Desarrollo Tecnológico para las industrias del Calzado, Cuero y Afines de Colombia.

Este proyecto se basa en el desarrollo de materiales para suelas aprovechando la colaboración de la empresa Suelas e Insumos Gallego, la cual se dedica a la fabricación y distribución de suelas para calzado en la ciudad. La empresa está estudiando la posibilidad de incorporar tejido de fique en las suelas como elemento de decoración, es así como surge la oportunidad de estudio de los refuerzos con fibras naturales como elemento funcional en las suelas.

En la ciudad de Bucaramanga existen varias empresas fabricantes de suelas, las cuales se pueden beneficiar con los resultados del presente proyecto, incorporando el nuevo material caracterizado en su catálogo de productos. Del mismo modo, pueden ampliarse las posibilidades de investigación con nuevos materiales utilizados en la fabricación de suelas y otros procesos; como el de inyección realizada en la empresa Suelas Rally, Suelas e Insumos Gallego, para la fabricación de suelas de calzado deportivo, baletas para dama, tacones para calzado de dama, mocasines, entre otros, fabricadas con PVC y expansor; procesos de laminado y troquelado en la empresa Plantillas y Suelas Hormany para la fabricación de plantillas en Odena (Marca comercial) y suelas de cuero; o los diseños especiales para dama y niña en la empresa Suelas Fénix; contando con estos procesos en la ciudad, se generan oportunidades de innovación con nuevos productos competitivos para el sector.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La propuesta de un nuevo material consiste en la descripción de sus particularidades como elemento de estudio y el análisis de sus propiedades mecánicas estructurales de acuerdo a pruebas de resistencia; el diseño de una suela para calzado masculino tipo sport -denominación actual para el calzado de uso diario-, es como converge el proceso de desarrollo del material que acompaña el planteamiento del producto. Los materiales compuestos por su parte, “son aquellos que están formados por dos o más constituyentes que se encuentran claramente delimitados entre sí” [2]; estos surgen de

la necesidad de obtener una combinación de propiedades por lo que se “diseña” un material según la aplicación para la cual se necesitan. El material en menor proporción se denomina refuerzo y se busca, que este transfiera algunas de sus propiedades al material base denominado matriz; el refuerzo aporta a la mejora de las propiedades físicas del material compuesto al ser sometido a determinados esfuerzos mecánicos (según la aplicación del material compuesto) sin que difieran demasiado de las características de la matriz.

Teniendo en cuenta lo anterior y con la oportunidad identificada en la empresa Suelas e Insumos Gallego, de realizar el estudio de un nuevo material para suelas, a partir de la experimentación con fibra de yute como elemento decorativo, se propone la utilización de un material elastómero reforzado con fibras naturales para mejorar la resistencia de las suelas de caucho vulcanizado fabricadas en la empresa. Con esta propuesta se pretende obtener un material compuesto que conserve la flexibilidad característica de la matriz de caucho; a diferencia de la fragilidad que proporciona la fibra de vidrio, la cual es uno de los materiales más utilizados para mejorar la resistencia en materiales plásticos, las fibras naturales pueden permitir mantener estas características del material base.

Como actualmente se usan fibras de yute como factor estético de las suelas, se plantean otras fibras como el mimbre y el fique para que no solo aporten al aspecto formal de las suelas, sino que complementen las propiedades del material base. La elección de las fibras se realiza con el fin de dar una nueva aplicación a estas, ya que su uso en mobiliario y en empaques hace que sean un material accesible. Se pretende aprovechar todas las propiedades de resistencia de las fibras para dar así mismo, valor agregado a las suelas que se produzcan con materiales reforzados

Por otro lado, generalmente los diseños de suelas en Bucaramanga y la producción de estas se basa en estudios de mercado y tendencias provenientes de países como Estados Unidos, Italia y Brasil, para lanzar dos nuevos diseños anualmente según las

colecciones de primavera - verano u otoño - invierno de dichos países. En Colombia se cuenta con recursos para generar tendencias creativas; incrementar esta capacidad innovadora en las empresas nacionales es también una de las razones por las que se plantea el desarrollo de un nuevo material renovando los procesos de producción y el desarrollo de productos de calidad que permitan posicionar elementos de identidad en los productos nacionales, con mejora de las propiedades de los materiales empleados y con un factor diferenciador en los productos; de este modo puede hacerse un aporte al crecimiento de las propuestas locales de diseño de suelas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar una suela vulcanizada para calzado sport masculino, a partir de un nuevo material compuesto reforzado con fibras naturales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar probetas del material compuesto con matriz de Caucho termoplástico-TR, reforzadas con Mimbre y Fique por medio del proceso de vulcanizado, para su evaluación mediante ensayos de tracción y determinación de dureza Shore.
- Realizar ensayos de tracción y determinación de dureza Shore en las muestras del material compuesto con base en las respectivas Normas para ensayos en caucho vulcanizado, con el propósito de determinar sus propiedades mecánicas.
- Diseñar y construir la matriz y el refuerzo de fibras de mimbre y fique para una nueva suela vulcanizada de calzado Sport masculino, aplicando los resultados de evaluación del material
- Evaluar el comportamiento del material en la suela diseñada mediante prueba de flexión repetida para la valoración real de desempeño del producto.
- Elaborar un prototipo de suela vulcanizada con el material caracterizado para su aplicación en una muestra de calzado Sport masculino utilizando tecnología local.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 MATERIALES COMPUESTOS, MATERIALES PARA SUELAS

Un material compuesto consta de dos o más materiales físicamente diferentes que se mezclan procurando que la dispersión de un material en el otro pueda hacerse de manera controlada para alcanzar unas propiedades óptimas [3]. La matriz puede estar reforzada con fibras continuas, fibras cortas o partículas, y estructuras laminares. Sus propiedades son superiores en algunos aspectos específicos respecto a las propiedades de los componentes por separado; las espumas son consideradas también un compuesto al estar formadas por un sólido y un gas, las propiedades de este material se pueden adaptar fácilmente para responder a necesidades de ingeniería [4]. “Además de fibra y matriz existen otros tipos de componentes como cargas y aditivos que dotan a los materiales compuestos de características peculiares para cada tipo de fabricación y aplicación”⁶.

En los materiales compuestos, el proceso de fabricación tiene gran importancia sobre sus propiedades finales debido a su efecto en la microestructura y en las tensiones internas. Una abstracción de la clasificación de los procesos para productos plásticos reforzados con fibra presentado por Hull [3] define los siguientes procesos realizados con molde cerrado:

- **Moldeo por compresión en caliente:** las matrices o útiles calientes y acoplados, se cargan con materia prima y se comprimen para que se adapten a la cavidad y curen.

6. MIRAVETE, Antonio. materiales compuestos, tomo I. Barcelona, España. 2007. Cap. 1

- **Moldeo por inyección – Moldeo de transferencia:** se inyectan polímeros fundidos o en estado plástico mezclados con fibras cortas, normalmente a alta presión, en la cavidad de un molde ranurado y se deja solidificar.
- **Pultrusión:** una alimentación continua de fibras en una orientación preseleccionada se impregnan con resina y se comprimen a través de un molde de curado para darle la forma de la sección final. Durante el paso por la matriz se produce un curado parcial o total.

Con los materiales compuestos, más que con cualquier otro tipo de materiales, las propiedades pueden ser diseñadas y las características del propio material se pueden manipular [4]. En la producción de suelas no es diferente; la materia prima utilizada está compuesta por materiales bases y otros elementos que son adicionados en la elaboración de esta, posteriormente por medio de los procesos de inyección y vulcanizado se elabora la suela; estos aditivos actúan como refuerzos, acelerantes, desmoldantes, entre otras funciones.

3.1.1 Matrices

La matriz de un material compuesto soporta el refuerzo manteniéndolo en la posición correcta y transfiere las cargas a este. Por lo general la matriz es responsable del control de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico, el uso a temperaturas elevadas y proporciona tenacidad y ductilidad al compuesto. Entre las matrices más comunes se encuentran las poliméricas, tanto termoplásticas como termoestables; del mismo modo se utilizan matrices metálicas en las que se incluyen aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos; estas permiten su uso a temperaturas altas pero normalmente su producción es costosa. Las matrices cerámicas tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas y son

más ligeras que las matrices metálicas [5]. En las estructuras laminares también se utiliza la madera como matriz ya que es un material con buenas propiedades mecánicas que dependen del grado de humedad que esta contenga.

Para el presente proyecto se utiliza una matriz de caucho termoplástico TR. Este material es usado para la producción de suelas, entre sus propiedades se destaca su capacidad para permitir grandes deformaciones ante cargas aplicadas; sus propiedades son dependientes de la temperatura. A continuación se describe este tipo de matriz y su utilización como matriz en el diseño de la suela reforzada con fibras naturales.

3.1.1.1 Matrices termoplásticas

Un polímero se caracteriza por estar formado por unidades estructurales repetidas (número) que conforma una macromolécula. Las macromoléculas pueden estar unidas entre sí mediante fuerzas de diversa intensidad; cuando estas son de baja intensidad se pueden superar con un simple calentamiento dando lugar al plástico fundido. Los polímeros con estas características son llamados Termoplásticos los cuales se funden o plastifican con un incremento de temperatura. “Normalmente se usan matrices de termoplásticos con refuerzo de fibra corta para aplicación en productos fabricados mediante moldeo por inyección. El material de alimentación esta normalmente en forma de pellets que contienen las fibras cortas (1-3mm) íntimamente mezcladas y dispersas en la matriz”⁷.

7. HULL, Derek. Materiales compuestos. España, 1987. Cap. 1, p. 32

Los termoplásticos experimentan grandes deformaciones que se incrementan con el tiempo bajo condiciones de cargas constantes; en los sistemas compuestos, se redistribuyen las cargas entre la matriz y las fibras durante la deformación. La matriz de Caucho Termoplástico que se utiliza en este proyecto, se encuentra en forma de lámina que se corta según el diseño de la suela; se hace de la misma manera para su análisis como material reforzado con fibras naturales y se somete a pruebas de tracción.

3.1.1.2 Elastómeros

Estos materiales se caracterizan por presentar una gran deformación elástica cuando se les aplica una fuerza, esta deformación puede desaparecer cuando se suprime el esfuerzo gracias a la “memoria” del material que es proporcionada por los entrecruzamientos en los enlaces de su estructura [6]. Concretamente, en ensayos de tracción, la relación entre la longitud final de una probeta y la inicial puede llegar a valores del orden de 300-800%, sin que se produzca la rotura y sin que aparezcan deformaciones permanentes una vez terminado el ensayo. Dentro de este grupo se encuentra el caucho natural, el Estireno Butadieno SBR y el Caucho Termoplástico TR con el que se trabaja en este proyecto.

Este comportamiento de los materiales termoplásticos, se justifica por el deslizamiento relativo que se produce en las macromoléculas lineales que los constituyen; esto ocurre en el momento en que las tensiones superan las relativamente débiles fuerzas de atracción (de Van der Waals, de carácter polar o puentes de hidrógeno) que tienden a mantenerlas unidas entre sí [7].

3.1.1.2.1 Caucho Termoplástico - TR

El caucho es un polímero que surge como un material viscoso conocido como látex, que se obtienen de diversas plantas. El caucho termoplástico TR es un material de molécula elevada que contiene características de caucho vulcanizado a temperatura normal y características de plástico cuando es calentado. Esto significa que una vez que estén formados, pueden ser calentados y reformados repetidamente. La capacidad de elastómeros termoplásticos de procesar como termoplásticos e imitar el rendimiento y sensación de cauchos termoestables los ha posicionado como material principal entre materiales plásticos durante un largo tiempo.

El TR se forma por materiales con interrelación física de fase dura (plásticos) y fase suave (elastómeros). Esta interrelación física es reversible, lo que indica que las moléculas son libres para fluir en altas temperaturas y recuperan sus estructuras originales y estabilidad en temperatura ambiente.

El TR es un material con alta capacidad de aplicación de los métodos de procesamiento estándar como moldeado por inyección, extrusión y soplado, vulcanizado; gracias a su fácil manejo ahorra energía en su procesamiento y reduce el tiempo de ciclo; es 100% reciclable y de peso ligero [8].

La coloración blanca que el caucho presenta, es una de las características de este, como la solidez y dureza que puede alcanzar; el caucho, de 0°C a 10°C es frágil y opaco; por encima de 20°C se vuelve blando, flexible y translúcido. Al calentar el caucho por encima de 50°C el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso, a temperatura de 200°C o superiores se descompone. Este material es insoluble en agua, álcali o ácidos débiles y es soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos colorados y disulfato de carbono.

Tabla 1: Propiedades del Caucho Termoplástico para suelas

Propiedad	Unidades	Valor
Peso específico	g/cm	1,49
Dureza de indentación	Shore A	65
Carga de rotura	MPa	4
Alargamiento a la rotura	%	200
Desgarro	(n/mm)	12
Resistencia a la abrasión	(mm)	480
Temperatura de trabajo	°C	-25/70
Deformación permanente a 70°C	% Def. Max.	43

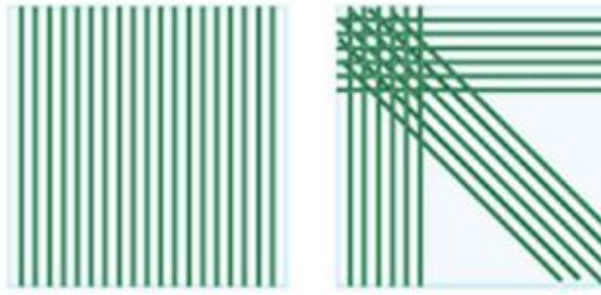
Fuente: SUELAS E INSUMOS GALLEGO. 2012

3.1.2 Refuerzo con fibras naturales

En los materiales compuestos, el refuerzo juega un papel importante en las propiedades mecánicas del material ya que los esfuerzos se distribuyen a través de este y así se pueden aprovechar adicionalmente las propiedades de las fibras, partículas o láminas que compongan el material.

Los materiales de refuerzo presentan diferentes características con respecto a la orientación en el material compuesto. Fibras cortas, fibras tejidas o fibras largas pueden ser ubicadas de diferentes maneras en la matriz.

Figura 1: Morfologías de compuestos reforzados con fibras



Fuente: Ashby, 2011

Para el refuerzo del material que se estudia en este proyecto, se han planteado dos fibras naturales, fique y mimbre, con el fin de evaluar su comportamiento con la matriz de TR. Las fibras, en un material compuesto aportan resistencia mecánica a este. Con el fin de obtener propiedades uniformes en el compuesto, se usan las fibras mencionadas en forma de tejido para hacer que el material se comporte de manera isotrópica a diferencia de los materiales reforzados con fibras unidireccionales [6].

Las características más sobresalientes de las fibras de los materiales compuestos son su resistencia a la tracción y su elevado módulo de elasticidad. Algunas de las fibras más utilizadas en los materiales compuestos son las fibras de Carbono, fibras inorgánicas (de origen mineral) y fibras poliméricas; existen otros tipos de fibras especiales que se utilizan en los materiales compuestos como, por ejemplo las fibras cerámicas. Nuevas investigaciones en materiales compuestos están orientadas al uso de fibras de origen natural vegetal, como fibra de yuca, coco, fique, yute, cáñamo, entre otras que pueden ser aprovechadas por sus propiedades mecánicas.

Las fibras naturales tienen una ventaja especial de resistencia, esto las convierte en el material de refuerzo ideal para varias matrices de polímeros. Las fibras naturales se aplican en varios campos como construcción, la industria de los automóviles y algunas veces en conservación de suelos [9].

Además de las propiedades mecánicas y baja densidad, las fibras pueden ser usadas en diferentes procesos; también haciendo procesos de modificación como tratamientos alcalinos, tratamientos de mecanización con amoníaco líquido, esterilización, acrilación, entre otros, pueden mejorarse las propiedades y reducir la sensibilidad a la humedad creando mejor adaptación entre fibra y matriz. La ventaja del uso de fibras naturales en el diseño de suelas radica en sus propiedades de resistencia, flexibilidad y durabilidad que pueden complementarse con las propiedades de la matriz de TR. [10]

3.1.2.1 Fique

Nombre común: Fique, cabuya, penca, pita, maguey, cabui, chuchao, cocuiza.

Nombre Científico: *Angiopermae Furcraea Bedinghau-sii*.

Derivado de la planta de Fique, que crece en la América Tropical. Esta planta produce fibras largas duras y resistentes, jugos con propiedades químicas naturales ideales para la industria farmacéutica, bagazos aptos para el sector de la construcción, aislantes térmicos, entre otros. La estopa y el bagazo se utilizan como materia prima para producir pulpa de papel y abono orgánico [11]. Colombia produce cerca de treinta mil toneladas de fique al año, principalmente en los departamentos de Cauca, con una demanda de 5.000 toneladas por Empaques Cauca con sede en Popayán; 15.000 toneladas son utilizadas para sacos de papa, panela y otros productos en municipios de Boyacá y Santander; 8.000 toneladas son demandadas por la Compañía de Empaques de Medellín y las 2.000 toneladas restantes por Coohilados del Fonce en el municipio de San Gil, Santander [12]. En estos sitios los agricultores y campesinos se han asociado en agremiaciones de figueros e hilanderas, entre otros.

La fibra del fique se obtiene al separar la corteza de las hojas, extrayendo las fibras de cabuya que están en su interior. Este proceso se hace por métodos manuales o con desfibradora portátil de motor a gasolina o diesel. En la obtención de la fibra, el

proceso de fermentado es fundamental a la hora de determinar la calidad de la fibra. La acción de los microorganismos y levaduras aumentan la temperatura, descomponiendo orgánicamente la materia, es decir, soltando el ripio. Los compuestos químicos del jugo hacen que se desprendan los restos de celulosa quedados entre las fibras.

La fibra debe tener un proceso de secado aéreo, ya que cuando la fibra es secada en mangas o potreros se presentan una serie de inconvenientes que afectan la calidad de la fibra y contribuyen a su rechazo. En invierno el proceso de secado tiende a ser más demorado ya que se dificulta alcanzar el grado de humedad máximo requerido de 12%. La fibra (cabuya) debe estar libre de ripio y suciedades [12]. En la Figura 4, se presenta una descripción gráfica del proceso de producción del fique.

Figura 2: Proceso de producción del Fique. De izquierda a derecha: corte, desfibrado, lavado y secado de la Fibra.



Fuente: CANAL SENA, 2012

En la clasificación, la fibra se selecciona por diferentes grupos de cabuya seca de acuerdo a tres características: Calidad obtenida, cabuyas cortas o largas y humedad de la cabuya (no mayor del 12%). En las tablas 6 se observa el porcentaje de fibra en la hoja de fique y en la Tabla 7 su composición química.

Tabla 2: Estructura física de la hoja de Fique

Componente	% en la hoja	% útil	Usos
Fibra	5	4	En la industria textil
Jugo	70	40	Extracción de esteroides
Estopa	8	3	Pulpa de papel
Bagazo	17	10	Material de construcción, abonos

Fuente: FUNDACIÓN CODESARROLLO, 2007

Tabla 3: Composición química de la hoja de Fique

Fibra de Fique	
Cenizas	0,7%
Celulosa	73,8%
Resinas, ceras y grasas	1,9%
Lignina	11,3%
Pentosanos	10,5%
Total	98,2%

Fuente: FUNDACIÓN CODESARROLLO, 2007

El promedio general del largo de la fibra es de 120cm, los tipos de fibras y su calidad varían de acuerdo al microclima. La resistencia a tracción, elongación, fineza y otras características físicas dependen de la especie, variedad, suelo, clima y beneficio dado a la hoja. La elección de la hoja para la fibra deber realizarse con cuidado ya que las hojas muy jóvenes contienen fibra más débil y las muy maduras se pudren más fácilmente.

3.1.2.1.1 Aplicaciones

La industria utiliza el fique para múltiples aplicaciones que no solo se centran en la producción de empaques, que es uno de los usos comunes, al mismo tiempo se ve

aplicada como refuerzo de vigas, columnas, tejas, así como nutrientes y abono de cultivos, entre otros; estas son varias de las opciones que se ofrecen con la fibra de Fique. En el mercado nacional de artesanías, el uso del fique natural o con tratamientos de coloración suele tener una amplia aplicación en la fabricación de este tipo de productos.

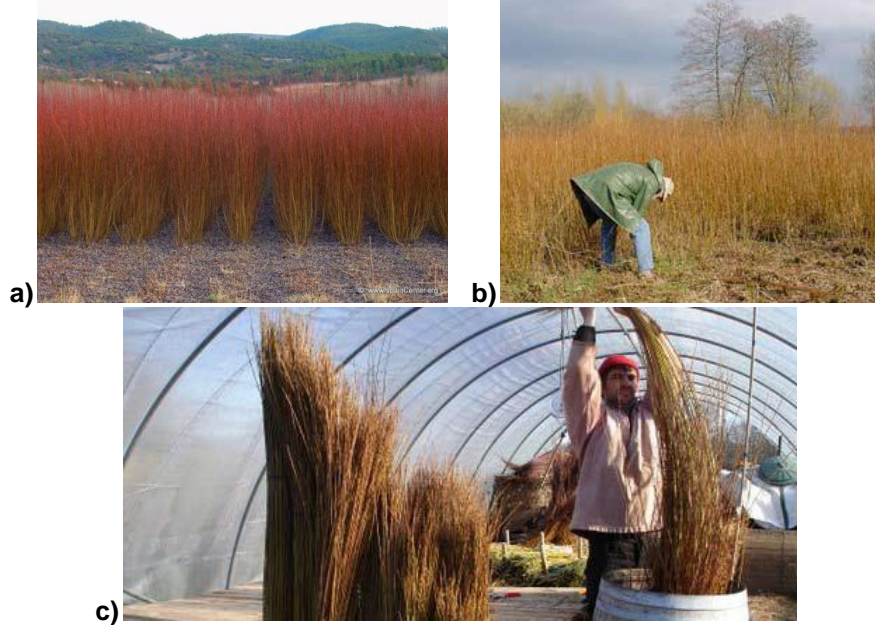
3.1.2.2 Mimbre

Nombre científico: *Salix Viminalis*. Familia: Salicaceae

El Mimbre es una planta perteneciente al género del Sauce originario de las regiones frías de Europa y Asia. Se caracteriza por producir varas de gran flexibilidad y resistencia a la torsión, condiciones ideales para la confección de diversos artículos, desde canastos cosecheros, hasta muebles y artículos para el hogar. Es un material 100% natural, clásico en los materiales que se trabajan artesanalmente [13].

El proceso productivo del mimbre comienza con el cultivo (Figura 3-a) que involucra diferentes especies. Dependiendo del modo de cosecha, las ramificaciones de la planta se transforman en varillas con características de forma, flexibilidad, tenacidad, resistencia, las cuales les otorga la utilidad para diversas aplicaciones. El corte (Figura 3-b) se realiza luego de que las hojas se maduren y se caigan; este se realiza lo más cerca de la base de abajo hacia arriba. Posteriormente se clasifica (Figura 3-c) el mimbre en varillas con corteza o descortezado; luego por calibre fino, mediano o grueso. Los finos van de 80 a 160cm de longitud, los medianos de 161 a 280cm y los gruesos de 281 a 400cm. Las varas pueden tener diámetros de 0,4 a 3cm. El proceso de descortezar se realiza por diferentes métodos, varas sumergidas en agua por 1 o 2 meses para ablandar la corteza; varas hervidas por 1 o 2 horas y sumergidas en agua por unos días para obtener el mismo resultado del primer proceso [14].

Figura 3: Proceso de Producción del Mimbre. a) Cultivo b) Corte C) Clasificación



Fuente: INTI- Centro de Investigación y Desarrollo en Diseño Industrial.

El mimbre es una fibra vegetal que se obtiene de un arbusto de la familia de los sauces (género *Salix*, principalmente *Salix viminalis*, pero también *Salix fragilis* y *Salix purpurea*). En el tejido se utiliza el tallo y las ramas de la planta, ya sea en todo su grosor para el marco o en lonjas cortadas longitudinalmente para la fabricación del tejido.

Figura 5: Aplicaciones del Mimbre. De izquierda a derecha: Lámparas- The Andes House; Muebles- Aniki Design; Pabellón Español en China.



Fuente: Blog Diario Design

En la Figura 5 puede observarse que el mimbre es una fibra resistente y cuenta con una larga vida útil lo que permite que pueda aplicarse en productos de diferentes

escalas, tanto en artesanías, muebles e incluso en la arquitectura. Materiales como el mimbre y fique de origen vegetal y lana virgen de procedencia animal, son algunos de los elementos que se trabajan como parte de las tradiciones artesanales en Cundinamarca, transmitidas de generación en generación. El tejido de mimbre cuenta con alta demanda por ser una fibra ligera, pero a su vez resistente, ideal para la fabricación de muebles como camas, cunas, sillas, juegos de sala, canastos, entre otros.

3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS - COMPUESTOS CON FIBRAS

En los materiales compuestos, sus propiedades pueden ser diseñadas y las características del propio material se pueden manipular. Para el desarrollo del material compuesto propuesto de caucho reforzado con Mimbre y Fique, se realizan pruebas de tracción y dureza para determinar sus propiedades.

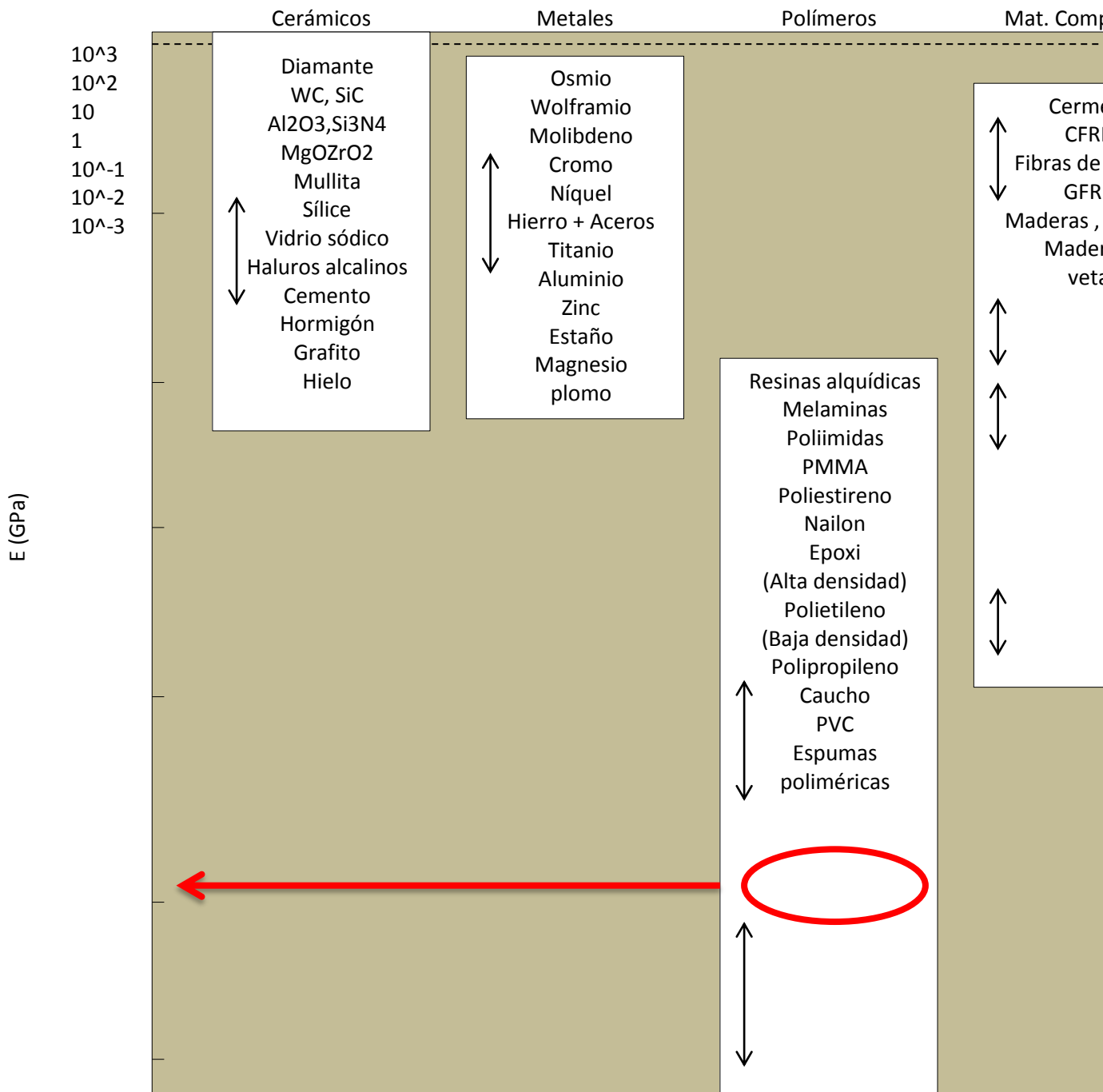
Una matriz polimérica presenta baja rigidez y es dúctil, por el lado contrario los cerámicos son rígidos y resistentes pero muy frágiles; con el refuerzo de fibra pueden obtenerse la resistencia de los cerámicos sin la rotura frágil, el fallo en las fibras se convierte en una rotura frágil progresiva y de este modo el material no se fractura repentinamente [4].

Fabricar un material compuesto requiere conocer los métodos de fabricación pero también es importante saber cómo utilizar dichos materiales, para esto se requiere la comprensión de sus propiedades. A continuación se definen las principales propiedades de un material compuesto reforzado con fibra según corresponde al material que se desarrolla en el presente proyecto.

3.2.1 Módulo Young

La deformación de un material es definida por el “módulo”, pero antes de definirlos, debe definirse el tipo de deformación según la tensión aplicada; esta puede ser de tracción, si la tensión se aplica en un eje central del material, de cizalla cuando la deformación presenta un ángulo respecto a una de sus aristas; y de dilatación cuando se produce un cambio de volumen. En la deformación por tensión el módulo se denomina “Modulo de Young”. En la siguiente gráfica puede observarse que los elastómeros, presentan modulo de elasticidad bastante bajo como 0,001 GPa ya que son más blandos en comparación con los cerámicos y metales; por el lado contrario los materiales compuestos presentan módulos más, elevados con valores intermedios entre los polímeros y los cerámicos [15].

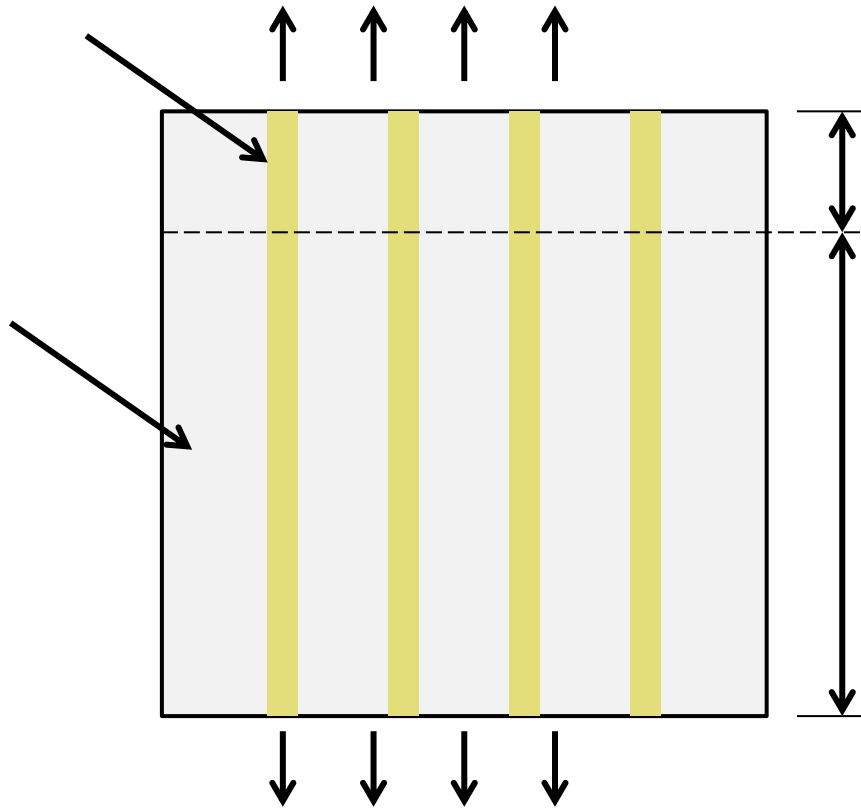
Figura 4: Diagrama de Barras de valores de módulo de Young, E (GPa)



Fuente: Ashby, 2008

El diagrama muestra que los materiales compuestos pueden tener módulos mayores que los de sus matrices, estos también pueden ser anisotrópicos lo cual se refiere a que el módulo puede variar según la dirección de la fibra.

Figura 5: Material compuesto cargado en la dirección en que el módulo es máximo



Fuente: Ashby 1, 2008

La deformación ε_n en las fibras y en la matriz es la misma cuando el material compuesto con fibra está cargado a lo largo de la dirección de la fibra (Figura 5) con un volumen de fibra V_f y teniendo en cuenta que $\sigma = E\varepsilon_n$ entonces $E_c = \sigma/\varepsilon_n$. Teniendo en cuenta que el módulo del material compuesto es una combinación lineal del módulo de las fibras y E_f y el módulo de la matriz E_m tenemos que el módulo del compuesto es [15]

(Fórmula 1)

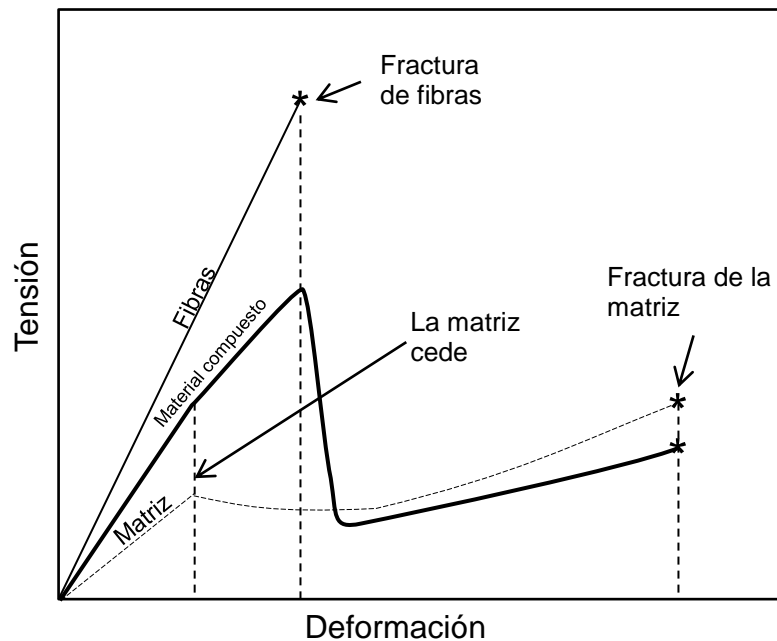
$$E_c = V_f E_f + (1 - V_f) E_m$$

3.2.2 Resistencia a la tracción y longitud crítica de la fibra

En los materiales compuestos, las fibras por lo general son resistentes y frágiles, se organizan en una matriz más dúctil. La curva de tensión - deformación de un material compuesto es el promedio de la combinación de los esfuerzos soportados por la fibra hasta su fractura y el esfuerzo posterior soportado por la matriz.

Una gráfica típica de material compuesto (Figura 6), muestra como esta es lineal con pendiente E (formula 1) hasta que la matriz comienza a ceder; a partir de este punto, la carga es soportada por las fibras que continúan deformándose elásticamente hasta su fractura. En este punto la tensión cae hasta el límite elástico de la matriz (no siempre tan abruptamente como muestra la figura porque las fibras se rompen progresivamente); el material compuesto falla totalmente cuando se fractura la matriz [4].

Figura 6: Curva tensión - deformación, material compuesto fibras continuas.



Fuente: Ashby 2, 2008

La tensión máxima es el punto donde las fibras están justo en el punto de rotura y la matriz ha cedido; esta tensión, σ_{TS} está dada por el límite elástico de la matriz σ_y^m y la resistencia a la fractura de las fibras σ_f^f . Estas se combinan mediante la regla de mezclas; en el punto máximo, las fibras están en el punto de rotura y la matriz ha cedido.

(Fórmula 2)

$$\sigma_{TS} = V_f \sigma_f^f + 1 - V_f \sigma_y^m$$

Cuando las fibras se terminan de romper, la resistencia aumenta para dar un segundo máximo está determinado por la resistencia a la fractura de la matriz σ_f^m .

(Fórmula 3)

$$\sigma_{TS} = 1 - V_f \sigma_f^m$$

La anterior es la resistencia del material reforzado con fibras continuas y ocurre si todas las fibras se alinean a lo largo de la dirección de carga como se utiliza en el presente proyecto.

3.2.3 Tenacidad

La tenacidad, G_c es una medida de energía absorbida por unidad de área de la grieta. Esta definición se aplica en materiales compuestos así como en cualquier otro. Generalmente la grieta hace que las fibras se arranquen de la matriz a medida que esta se abre, este proceso contribuye a la tenacidad, el trabajo realizado para sacar una fibra fuera de la superficie de la fractura es relativo al número de fibras por unidad de área de la grieta [4].

3.3 DISEÑO DE SUELAS

La suela es la parte del zapato que por lo general está formado por un material más resistente que el zapato en sí. Sirve para proteger la planta del pie contra el frío, el calor, las superficies desiguales, objetos agudos y proporcionar tracción y mayor fricción para evitar caídas. La forma de estas es definida por el formato del zapato, proporcionando características diferentes para cada uno.

Como en todo producto, la idea es el punto de partida del proceso, en el diseño de suelas también se cuenta con una etapa de bocetación, se analizan sus fases y se estudian las combinaciones de color y materiales. Posteriormente se realiza un patrón sobre la horma para definir los detalles estilísticos. Muchos sistemas modernos utilizan diseño asistido por ordenador CAD-CAM en 2D y 3D que permiten el análisis ingenieril y renderizado del diseño del producto⁸. En cuanto a los materiales, se utilizan diferentes clases dependiendo de las referencias que se van a elaborar y el tipo de caucho a utilizar, para su control se utiliza un formato prediseñado.

3.4 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE SUELAS

Existen varios procesos para la fabricación de suelas, pueden ser inyectadas o moldeadas en una maquina de compresión. En la mayoría de los casos la materia prima para suelas esta granulada y es fundida a temperaturas entre 100°C y 170°C para luego ser estampadas en moldes fabricados con aluminio, acero o Zamac. El proceso utilizado en la fabricación de las muestras de material para el presente proyecto fue el de vulcanizado, este facilita la obtención de las características determinadas en las respectivas normas para ensayos de tracción y dureza realizados.

3.4.1 Vulcanización de Caucho

Vulcanizar el caucho es el tratamiento por medio del que este se combina con azufre y otros compuestos. Bajo la acción del calor apropiado junto con el azufre, y a veces de la luz, el caucho sufre profundas modificaciones en sus propiedades. Una lámina de caucho de 2 milímetros de espesor sumergida en un baño de azufre fundido a 120°C se hincha ligeramente y la goma entra en combinación con el azufre produciéndose la vulcanización. Elevando la temperatura entre 1300° y 1400° y manteniendo el tratamiento entre 30 y 40 minutos, el aspecto y las propiedades del caucho se modifican, la sustancia toma un color gris amarillento, su elasticidad aumenta

8. GORETTI STUDIO DESIGN, Empresa: Diseño de suelas para calzado, disponible en la web: <http://www.shoedesign.it/es/diseño_de_suelas_para_calzado.html>

considerablemente con la particularidad de que el frío no la anula como sucede con el caucho crudo. Este fenómeno conocido con el nombre de vulcanización, puede producirse a diversas temperaturas comprendidas entre el punto de fusión del azufre y los 160°C. La vulcanización se produce más rápidamente a esta última temperatura, pero la experiencia ha demostrado que los mejores resultados son los obtenidos cuando se vulcaniza a 120°C, lo que exige en cambio prolongar por más tiempo la operación.

Sí se prolonga la operación de vulcanizado elevando la cantidad de calor entre 150° y 160° por algunas horas entonces se obtiene un nuevo producto, en el cual la elasticidad desaparece y el aspecto del caucho se ha modificado. El grado de vulcanización del caucho depende de varios factores, tales como el tiempo que dura el tratamiento, la temperatura, la presión y la cantidad de azufre agregado. Después de vulcanizado, el caucho se modifica completamente, siendo insoluble en los solventes comunes y soporta elevadas temperaturas sin perder sus propiedades de elasticidad. Se entiende por elevadas temperaturas a las toleradas por la materia orgánica antes de su carbonización [16].

En la fabricación de suelas, se utiliza un molde de yeso previamente fabricado a partir de un modelo hecho en cera. El molde consta de dos partes, hembra y macho, este es el molde base para la fabricación del mismo en aluminio el cual presenta la forma de la suela en negativo. Para la vulcanización del material se realiza una mezcla de materiales según el tipo de suela a elaborar; la mezcla es preparada a partir de unas especificaciones del peso de cada componente. La materia prima utilizada en las muestras del material compuesto, es la pasta negra de caucho de la empresa Suelas e Insumos Gallego [9].

3.4.1.1 Sección molida

Cuando los materiales están mezclados pasan al molino donde un operario le da la forma al caucho según especificaciones de cada referencia, este proceso tiene una duración de 20 a 30 minutos. Una vez terminado el caucho pasa a enfriarse a unos tenderos.

Figura 7: Molino para caucho



Fuente: QingDao JuDong Industry Co. Ltd.

3.4.1.2 Sección de corte

Cuando el caucho ha alcanzado su temperatura ambiente se cortan las tiras de caucho de tamaños determinados para cada molde y se ubican dentro de estos para pasar a la prensa de vulcanizado.

Figura 8: Corte del caucho



Fuente: Moncada, Niño. 2012

3.4.1.3 Sección de prensado

Con el caucho cortado en tiras, se prensa el material en la maquinas con la cantidad de caucho según la referencia de la suela a elaborar. Una vez se llena cada molde precalentado, se prensa y se lleva al horno durante un tiempo determinado. Posteriormente la suela ya elaborada pasa a enfriarse por medio de choque térmico.

Figura 9: Prensa vulcanizadora para caucho



Fuente: Autora del proyecto

3.4.1.4 Sección de refilado

Los moldes son retirados de la prensadora, se retiran las suelas ya moldeadas para quitarle los sobrantes; comúnmente a este proceso se le llama rebabear.

Figura 10: Moldes cargados



Fuente: Moncada, Niño. 2012

3.5 PRUEBAS Y ENSAYOS PARA SUELAS

Como parte del proceso de desarrollo de productos existen etapas de evaluación que soportan la calidad de estos, paralelamente el cumplimiento de esta etapa permite la implementación de acciones en los procesos inherentes a la fabricación de productos, mediante la verificación de condiciones presentes, en materia prima, producto en proceso y producto terminado frente a parámetros deseables, establecidos contractualmente o normalizados.

En cuanto al tema de Normatividad y Sellos de conformidad del Calzado, el principio es que la calidad de un producto consiste en satisfacer de un modo adecuado las necesidades del consumidor, y como bien agregado generar bienestar en él. Las normas técnicas permiten unificar conceptos de evaluación, al mismo tiempo que permiten enmarcar la definición de calidad en un producto, enfocando el resultado del ensayo a un cumplimiento o a una conformidad con respecto a un modelo ideal preestablecido de calidad [17].

Algunas de las pruebas que se realizan en el sector del calzado son:

- Medición de la Resistencia al desgaste por abrasión para suelas y forros
- Determinación del comportamiento a la Flexión de suelas completas
- Adhesión de suelas a capelladas y entre componentes
- Resistencia del cuero y otros materiales a la Tensión, Rasgadura, Elongación y Distensión
- Determinación de la Transpiración y Penetración del agua en materiales para capellada
- Resistencia del tacón al desprendimiento de zapato para dama
- Resistencia a la tensión de los hilos y cordones
- Medición del contenido de grasas y oxido de cromo en el cuero
- Resistencia a la flexión y a la abrasión para compuesto a caucho vulcanizado.

3.5.1 Determinación de “Dureza Shore A”

La dureza que es aplicada a los elastómeros está definida como la resistencia de una superficie a la penetración por un indentador con unas dimensiones dadas; cuanto más penetre el indentador, más blando es el material y menor es su límite elástico [15]. Al utilizar un material de la industria del hule, la determinación de dureza “Shore A” hace parte de los métodos de prueba, especificaciones y requisitos mínimos de desempeño, aplicados en la evaluación de las suelas de calzado [18]

El método más común de medir la dureza, H , se define como la carga (F) dividida por el área de la huella del indentador (A), esta se relaciona con la Dureza Vickers. El límite elástico se puede calcular a partir de la expresión

(Fórmula 4)

$$H = 3\sigma_y$$

Donde σ_y es el límite elástico (inicio de la deformación plástica). Este ensayo es una forma simple, económica y no destructiva de medir este factor; no se requieren probetas de tracción y el indentador es tan pequeño que prácticamente no daña el material, por esto puede emplearse el ensayo en el control de calidad de materiales para verificar la especificación de σ_y sin dañarlos [15].

La indentación es convertida a grados de dureza internacional del caucho (IRHD), tiene una escala que abarca desde 0 (infinitamente blando) hasta 100 (infinitamente duro). Es importante enfatizar que cualquier ensayo de indentación depende del espesor del caucho. Aquí el espesor indicado en la norma de ensayo deberá ser usado hasta donde sea posible y cualquiera que se utilice deberá ser reportado [15].

3.5.2 Resistencia a la tracción

Las propiedades de tracción incluyen esfuerzo de tensión, elongación y modulo de tensión. Estas propiedades miden el comportamiento plástico de los materiales; son determinadas por el estiramiento de una probeta estándar a una velocidad constante usando una maquina de tensión. Para el desarrollo de un material desarrollado a partir de caucho reforzado con fibras naturales, que se aplica en la fabricación de suelas, las pruebas de tracción y dureza se incluyen en las especificaciones relevantes de este tipo de material.

Esfuerzo de tensión es la fuerza, o esfuerzo, expresado en Mpa o en N/mm^2 , requerida para romper la probeta estándar por estiramiento a una velocidad constante. La deformación, está definida como la extensión producida por una fuerza de tensión aplicada a un espécimen estándar y es expresada como porcentaje de la longitud original. Una elongación del 300% por ejemplo, significa que la probeta ha sido estirada 3 veces su longitud original. La elongación última o elongación al

rompimiento, es la elongación al tiempo de la ruptura y es determinada simultáneamente con el esfuerzo de tensión. La elongación al rompimiento de diferentes elastómeros puede variar desde menos de 100% hasta por encima de 1000% dependiendo de la formulación del compuesto. En el desarrollo del producto suela, es pertinente dentro de los aspectos técnicos, formales y funcionales, conocer las características y el comportamiento del material que conforma el producto, fundamentan las particularidades de este.

3.5.3 Flexión repetida

Una de las fallas que se presentan en los calzados en uso es el de la suela partida. Teniendo esto diferentes orígenes, en el diseño de suelas, es necesario incorporar la medición de la Resistencia a la Flexión de suelas. Para esto se separa completamente la suela y se lo coloca en el equipo Flexómetro, sometiéndose a la Probeta a 30000 flexiones a un ángulo máximo de 90 grados. Inicialmente se hace una incisión de 2 mm en la suela y luego de los 30000 ciclos se mide si la incisión creció más que lo indicado por la respectiva norma acerca de seguridad para el calzado. [19].

Esta prueba se realiza con base en la norma NTC-ISO 20344, Equipo de protección personal; métodos de ensayo para calzado [20], debe realizarse en laboratorios especializados en el control y Para la determinación de la resistencia de la suela a la flexión

3.6 ASPECTO HUMANO

La descripción de los aspectos que intervienen en el diseño de la suela, guían el proceso creativo, permitiendo diseñar con base en los ejes conductores que se establecen. Especificaciones sobre el tipo de calzado al que va dirigida la suela, datos antropométricos del pie, biomecánica de la marcha y, sobre todo, información

dimensional de la horma con la que se fabrica el calzado conforman los aspectos base para el desarrollo del producto.

A continuación se describe una de las partes fundamentales a partir de la cuales se realiza el diseño de la matriz y el refuerzo que conformaran la suela para calzado sport masculino, el aspecto humano que incluye la antropometría del pie y la biomecánica de la marcha, se traducen más adelante, en requerimientos de diseño para el desarrollo de la suela a partir de una horma. Se especifican los aspectos básicos que tienen relación directa con el desarrollo de la suela.

3.6.1 Análisis antropométrico de los usuarios

Las características físicas del usuario son enmarcadas en las dimensiones antropométricas; para el diseño de calzado y de suelas, es necesario conocer la antropometría del pie y su aplicación en la fabricación de hormas que son la base, a partir de la cual debe diseñarse la suela.

Las medidas antropométricas son dependientes del estereotipo de persona a la que va dirigido el producto, estas pueden variar según la región de la persona ya que su contextura física y características influyen en la variación de estas. Teniendo en cuenta lo anterior, los datos específicos recogidos con una muestra realizada en un estudio para la estandarización de las medidas para hormas de calzado, realizado en la ciudad de Bucaramanga, muestra las medidas específicas para un grupo de personas de la ciudad, a las que va dirigido el producto, suelas para calzado sport masculino [21]. Las medidas resaltadas son las requeridas para el diseño de la suela.

Tabla 4: Medidas antropométricas- horma para hombre. Muestra Bucaramanga

TABLA COMPARATIVA- MEDIDA USADA RESULTADO REGRESIÓN						
MEDIDA	38	39	40	41	42	43
Largo total del pie	24,3	24,95	25,73	26,33	26,99	27,55
Contorno de las articulaciones	23,35	24,21	24,76	25,08	25,5	26,25
Ancho del pie	9,98	10,45	10,54	10,39	10,79	10,98
Ancho Articulaciones	9,19	9,64	9,91	9,94	10,2	10,46
contorno del medio pie	23,36	24,15	24,65	24,83	25,19	26,09
Ancho del talón	6,28	6,49	6,69	6,71	6,94	7,17
Longitud talón cabeza 1 metatarsiano	18,03	18,51	18,97	19,36	19,85	20,18
Longitud talón cabeza 5 metatarsiano	15,92	16,1	16,40	16,65	17,17	17,63
Altura del empeine	8,08	8,21	8,43	8,35	8,55	8,65
Longitud del ante pie	14,36	14,63	14,97	15,47	15,69	15,87
Altura del tobillo	6,79	6,93	7,09	7,02	7,27	7,39
Altura talón	6,03	6,27	6,39	6,39	6,64	6,62
Altura del recio	5,02	5,08	4,97	4,94	5,08	4,94
Contorno del empeine	25,64	26,22	26,77	27,2	27,41	28,3
Contorno talón empeine	31,52	32,37	33,12	33,47	34,32	34,73
Contorno del tobillo	26,04	27,01	27,24	28,01	28,3	28,1
Angulo del quinto dedo P10	8,05	8	8,06	9,15	8,3	8,51
Angulo del primer dedo P10	1,62	1	2,23	2,63	3,68	4,07
Angulo de los flancos P 50	76,582	74,34	74,25	74,08	76,23	74,74
Altura bóveda Plantar P 90	2,25	2,39	2,60	2,56	2,75	2,4
Altura dedo más alto P50	2,2	2,25	2,25	2,25	2,25	2,23
Altura dedo más pequeño P50	2,3	2,1	2	2,15	2,1	2,1
Altura candado P50	1,53	1,6	1,6	1,6	1,32	1,35
Longitud talón flanco exterior P50	16,71	17,1	17,4	17,77	18,18	18,71

Fuente: FLÓREZ, Claudia; ESPINEL, Francisco. 2012

Se escoge para el presente proyecto, la talla más pequeña del grupo de usuarios, ya que es más adecuado usar este tamaño para el posterior desarrollo, fabricación y evaluación de la suela.

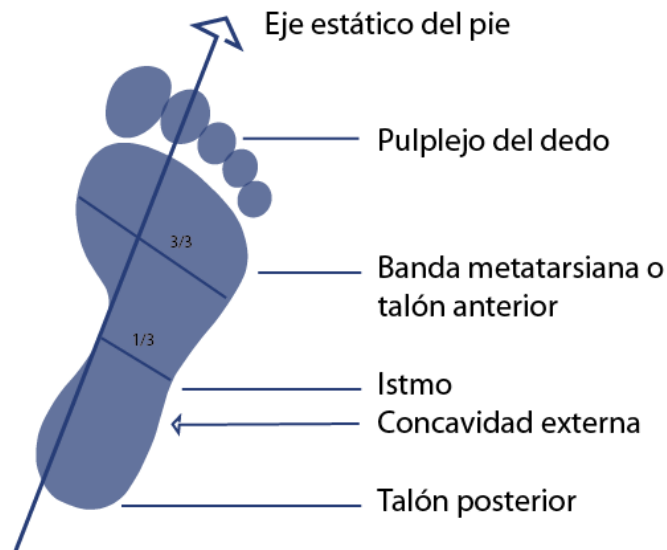
Tabla 5: Medidas antropométricas, horma para hombre talla 38.

TALLA 38	
MEDIDA	RESULTADO REGRESIÓN O PERCENTIL
Largo total del pie	24,3
Contorno de las articulaciones	23,35
Ancho del pie	9,98
Ancho Articulaciones	9,19
contorno del medio pie	23,36
Ancho del talón	6,28
Longitud talón cabeza 1 metatarsiano	18,03
Longitud talón cabeza 5 metatarsiano	15,92
Altura del empeine	8,08
Longitud del ante pie	14,36
Altura del tobillo	6,79
Altura talón	6,03
Altura del recio	5,02
Contorno del empeine	25,64
Contorno talón empeine	31,52
Contorno del tobillo	26,04
Angulo del quinto dedo P10	8,05
Angulo del primer dedo P10	1,62
Angulo de los flancos P 50	76,582
Altura bóveda Plantar P 90	2,25
Altura dedo más alto P90	2,2
Altura dedo más pequeño P90	2,3
Altura candado P50	1,53
Longitud talón flanco exterior P50	16,71
OBSERVACIONES	
Se analizaron 22 archivos para esta talla, permitiendo determinar que es relevante en el proceso de comparación	
Fuente: FLÓREZ, Claudia; ESPINEL, Francisco. 2012	

3.6.2 Huella plantar

La huella plantar es la señal que imprime la planta del pie sobre un plano horizontal, y sirve para estudiar la disposición estructural del pie. Los puntos de referencia son: a) base anterior o zona metatarsiana; b) zona media, que corresponde al mediopié y, c) zona del talón. La huella plantar tiene internamente una forma cóncava y externamente convexa. El contacto de los pulpejos de los dedos genera una imagen triangular y ligeramente separada de la zona anterior [22].

Figura 11: Huella plantar pie normal

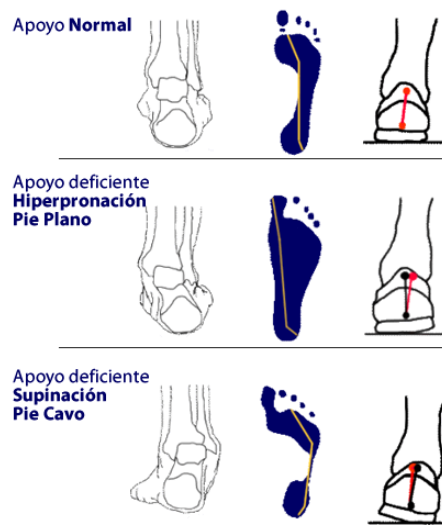


Fuente: Patiño, Jimena. 2005

3.6.2.1 Variaciones de la huella plantar

- Pie normal: El apoyo normal del pie presenta la concavidad interna entre la zona metatarsiana y el talón.
- Pie plano: se caracteriza por la ausencia de la concavidad interna y el aumento de la superficie de contacto del medio pie, corresponde a un pie aplanado.
- Pie cavo: presenta ausencia total de la zona que corresponde al mediopié o su disminución.

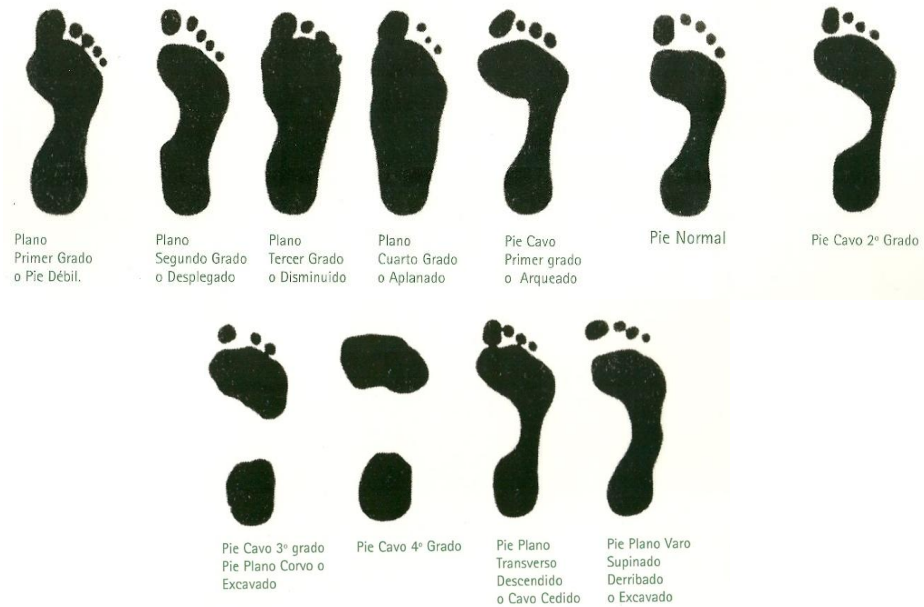
Figura 12: Variaciones de la huella plantar



Fuente: Pie y postura. Diagnostic Support

De acuerdo a la variación en el apoyo, la huella plantar se modifica y se pueden describir grados de deficiencia en la pisada, 4 grados para el pie plano y de 4 a 6 grados para el pie cavo como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 13: Huella plantar, grados de variación



Fuente: Puratich, Liliana. Podología UMB

3.6.3 Formula metatarsiana

Según la longitud de los dedos se puede clasificar el antepié en:

- Pie egipcio: el primer dedo es más largo que el segundo, este es más largo que el tercero y los restantes disminuyen progresivamente.
- Pie Griego: el primer dedo es más corto que el segundo y éste más largo que el tercero, los dedos restantes disminuyen progresivamente
- Pie Cuadrado: el primer dedo es igual que el segundo y los restantes decrecen progresivamente

Figura 14: Fórmula metatarsiana del pie



3.6.4 Biomecánica de la marcha

En el diseño de calzado, es importante tener en cuenta el modo en que este interactúa con nuestros pies y su influencia sobre la salud. La biomecánica ha generado la posibilidad de estudiar los movimientos humanos y estos conceptos son aplicados en el diseño [23].

Desde el punto de vista de la biomecánica, un buen calzado, además de ser confortable, debe permitir la normal función del pie y contribuir a la preservación de la salud del usuario. Todos estos factores deben ser considerados a la hora de construir un calzado; sin embargo dependen de la función a la que van destinados y deben priorizarse unos aspectos de diseño sobre otros.

Independientemente de las características específicas de cada tipo de calzado, que dependerán del uso y de las restricciones de la población a la que vaya destinado, existen una serie de requisitos funcionales mínimos que desde el punto de vista del mantenimiento de la salud y de la funcionalidad debería satisfacer todo tipo de calzado. En este proyecto se hace mención de estos requisitos, ya que están directamente relacionados con los requisitos funcionales que también deben aplicarse en el desarrollo de la suela para el calzado masculino tipo sport que se plantea. Los

siguientes cuatro aspectos son lo que se deben tener en cuenta en la relación biomecánica que mantiene el calzado con el pie:

- La adaptación del calzado a la forma y las dimensiones de los pies de la población a la que se destina,
- La adaptación del calzado a los movimientos fisiológicos del pie,
- La capacidad de amortiguación de las cargas derivadas del contacto del pie con el suelo,
- Las características de rozamientos entre el calzado y la superficie.

Los dos últimos aspectos son relacionados con la funcionalidad de la suela en determinado calzado y, del mismo modo, los dos primeros aspectos deben ser abarcados en el desarrollo de la suela para que no interfiera esta con el cumplimiento de estos durante el uso del calzado.

En el presente proyecto, al ser la suela un elemento del calzado de gran importancia, que proporciona comodidad y confort durante la marcha, se presentan a continuación las consideraciones biomecánicas a tener en cuenta para el desarrollo de la matriz y el refuerzo que la conforman.

3.6.4.1 El pie como estructura de soporte

El pie es una fuente constante de estímulos sensitivos, siguiendo un orden en la especialización del pie como órgano táctil que conforma la parte terminal de la extremidad inferior del cuerpo humano, la segunda función asumida del pie es la de soporte de la carga corporal. Es una estructura compleja que permite absorber las rotaciones del tronco y de la pierna sin modificar su posición en el apoyo.

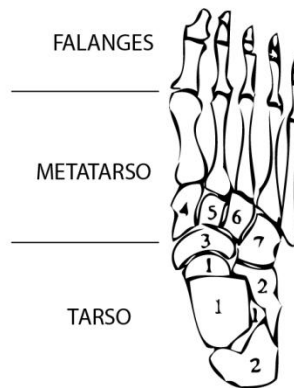
El pie normal es aquel que puede desarrollar las funciones que le son propias independientemente de su morfología. Estas funciones son la de configurar la base de

sustentación en la posición vertical del cuerpo humano sobre la que se proyecta el centro de gravedad de la persona; es un elemento fundamental en la marcha humana y actúa como centro de recepción sensorial que participa en el mantenimiento del equilibrio.

- Huesos

El pie humano está constituido por una estructura de 26 huesos divididos en tres grupos: tarso, metatarso y falanges. Estos elementos esqueléticos están unidos por fuertes ligamentos y músculos que soportan y mantienen en equilibrio la masa corporal durante la realización de las distintas actividades humanas.

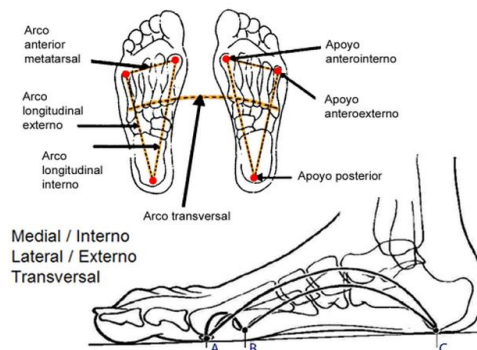
Figura 15: Clasificación funcional del pie



Fuente: Patiño, Jimena. 2005

Se considera el pie como una estructura de soporte que admite variaciones en la cantidad de carga, los huesos del pie se disponen en una bóveda sostenida por tres arcos apoyados en el suelo por tres puntos: A) la articulación del primer dedo con el metatarso, B) la articulación del quinto dedo con el metatarso y C) la tuberosidad posterior del calcáneo como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 16: Puntos de bóveda plantar



apoyo del pie y arcos de la

A. _____
B. _____
C. _____

Fuente: Pie y postura. Diagnostic Support

Para comprender la funcionalidad de las partes del pie y describir los respectivos aportes en la marcha y la posición bípeda del cuerpo humano, es importante describir algunas características internas del comportamiento de las partes. La formación de tres arcos entre los puntos de apoyo son representativos en la situación de bipedestación y la marcha, estos son: el arco longitudinal interno, arco longitudinal externo y arco anterior que se muestran en la Figura 16.

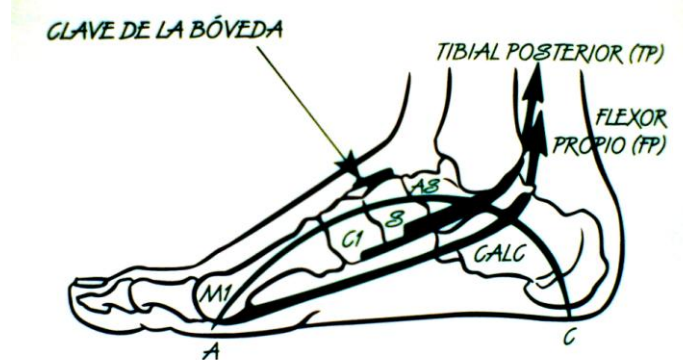
La característica esencial del arco externo del pie es su rigidez, debida en gran parte a la potencia de los ligamentos plantares y a la existencia de un tope óseo (clave del arco) integrado por la apófisis mayor del calcáneo y el borde superior del cuboides, que impide que la articulación se entreabra por su parte inferior.

Durante la bipedestación la deformación de este arco es mínima. Las partes blandas que recubren los huesos del pie en esta zona se hallan permanentemente en contacto con el suelo. La carga corporal es soportada en realidad por un área que se extiende a lo largo del borde externo del pie.

Sin embargo, durante la locomoción, la rigidez de este arco es esencial para transmitir el impulso motor de la musculatura posterior de la pierna hacia el antepié. El verdadero arco plantar es el arco longitudinal interno del pie, Figura 17; este arco se extiende desde el apoyo del primer dedo (A) hasta el apoyo de la tuberosidad posterior del calcáneo (C) y comprende 5 piezas óseas:

- El primer metatarsiano (M1) que sólo se apoya en el suelo por su cabeza (A).
- El primer cuneiforme (C1) la clave de la bóveda.
- El astrágalo (As) que se articula con la tibia.
- El calcáneo que descansa en el suelo por su parte posterior

Figura 17: Arco interno del pie y principales tensores TP y FP.



Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

La característica esencial de este arco, al contrario de lo que sucede con el arco externo, es su extraordinaria movilidad. El arco interno del pie constituye un elemento esencial para el mantenimiento del equilibrio durante la bipedestación, constituyendo mediante su deformación a absorber las rotaciones hacia afuera y hacia dentro de la pierna de apoyo.

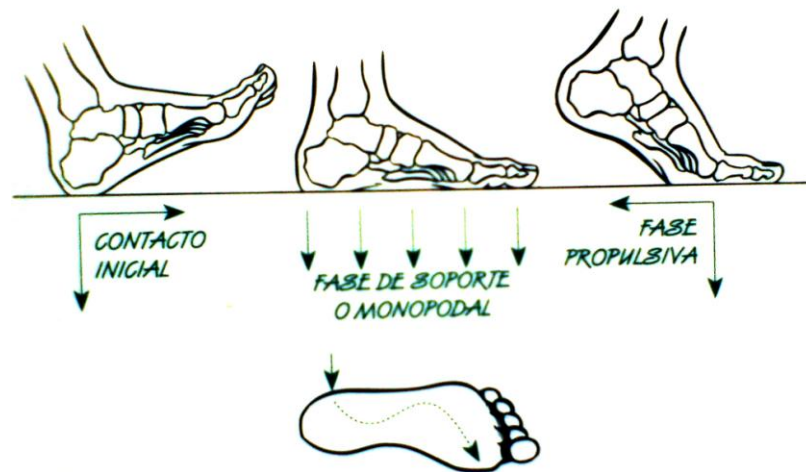
Siguiendo este modelo, entre A y B (Figura 17) se extiende el arco anterior del pie. Este solo es posible apreciarlo con el pie en descarga; cuando se apoya el pie en el suelo y se soporta la carga corporal, el arco anterior se aplasta y extiende a cada lado del segmento metatarsiano [23].

3.6.4.2 El ciclo de marcha

Para la mejor comprensión de las recomendaciones generales en el diseño de la suela se hace una descripción de las fases de la marcha humana como un apoyo para la realización del proceso de diseño.

La marcha es un proceso durante el cual ambos pies van cíclicamente alternando el soporte de la carga corporal mientras la pierna contralateral oscila de atrás hacia adelante. Este proceso se conoce como ciclo de la marcha y está dividido en tres fases: contacto inicial, fase de soporte monopodal y fase propulsiva [23].

Figura 18: Fases de contacto del pie con el suelo, trayectoria del punto de aplicación de la carga



Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

En las fases del apoyo bipodal (segundo pie en fase propulsiva) y monopodal, el pie y la pierna siguen una secuencia de movimientos durante la cual pueden distinguirse tres formas básicas de contacto entre el pie y el suelo:

- El apoyo del talón o fase de contacto inicial
- El apoyo sobre el pie completo o fase de soporte y
- El apoyo sobre el antepié o fase de propulsión

El contacto inicial en condiciones de normalidad produce cuando el pie contacta con el suelo por la parte posteroexterna del talón para, inmediatamente después y de forma

secuencial, apoyar el quinto y después el primer metatarsiano, mientras el peso del cuerpo es transferido de un pie a otro (fase de apoyo bipodal).

Una vez el pie está apoyado completamente sobre el suelo, se inicia la fase de soporte monopodal. Dicha fase coincide con el inicio de la oscilación desde atrás hacia delante de la pierna contralateral, que se prepara para recibir un nuevo apoyo.

Durante la fase de soporte monopodal existe un momento en el que los tres principales puntos de soporte de la bóveda plantar se halla en contacto con el suelo. Como consecuencia de la acción del peso corporal y de las fuerzas originadas en el desplazamiento, los arcos que integran la bóveda plantar sufre las mayores deformaciones y el pie alcanza su mayor longitud y anchura. Es también durante esta fase de soporte monopodal cuando se produce la mayoría de las reacciones de equilibrio. La musculatura que se inserta a lo largo de la tibia y el peroné y la musculatura intrínseca del pie se encargan de proporcionar las reacciones de equilibrio necesarias para, en una fase ligeramente posterior, disponer el pie en la posición más adecuada para impulsar el cuerpo en la dirección deseada.

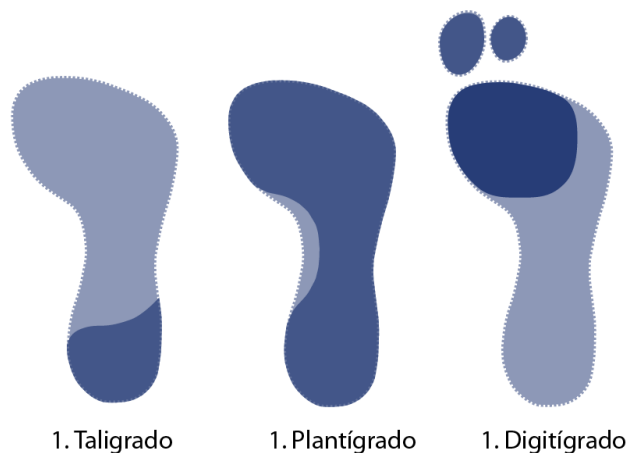
Esta capacidad para mantener el equilibrio sobre un solo pie, mientras la masa corporal se mantiene en movimiento, se debe a las excelentes características propioceptivas de los músculos del pie que por sus terminaciones nerviosas, permiten tener conciencia y sentir la posición relativa de partes corporales contiguas.

La fase de propulsión se inicia cuando la posición de la pierna oscilante esta más adelantada y se ha producido un desequilibrio de la masa corporal hacia adelante buscando un nuevo apoyo. En esta fase se produce una contracción de la musculatura del tríceps de impulsar el cuerpo sobre el pie más adelantado, que inicia en ese momento la fase de contacto bipodal. Durante los instantes siguientes y como consecuencia de dicha contracción, se produce una progresiva extensión del tobillo, el talón se despega del suelo y se produce una flexión dorsal de los dedos. Así se llega a

una posición de máxima carga sobre el arco anterior que da lugar al ensanchamiento máximo del antepié.

Durante la marcha el apoyo del pie genera una huella plantar, que varía en su forma según la morfología del pie y la dinámica del apoyo al caminar. Como se ha indicado en la descripción del ciclo de la marcha, durante el movimiento el apoyo plantar pasa por tres fases: 1) ataque del suelo por el talón posterior; 2) apoyo clásico sobre los talones posterior y anterior y sobre el borde externo del pie; 3) apoyo sobre el talón anterior con liberación progresiva del apoyo sobre las cabezas metatarsianas de afuera hacia adentro.

Figura 19: Desarrollo del apoyo plantar en el transcurso del paso



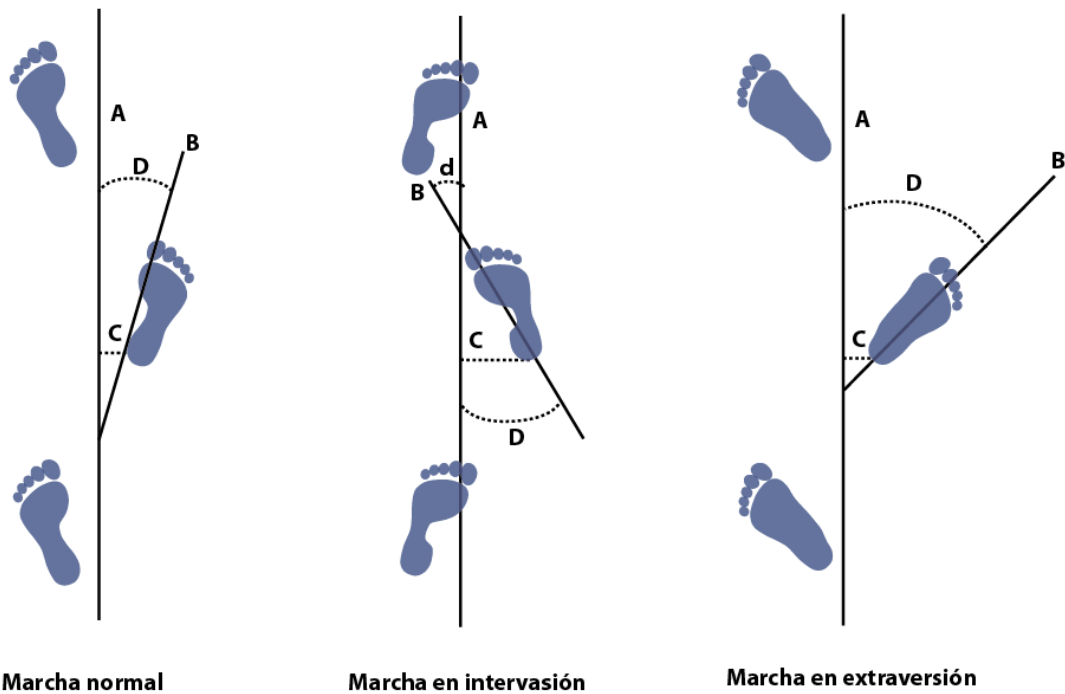
Fuente: Goldcher, Alain. Podología,

3.6.4.3 Dirección el paso

Cuando se cubre a pie la distancia entre dos puntos, el paso evoluciona según una línea sorprendentemente recta: el eje de la marcha. Los pies se disponen a un lado y a otro de la línea según un esquema más o menos regular, el talón se separa del eje de la marcha en unos 5 ó 6 centímetros (anchura del paso) C, mientras el eje del pie B forma con el eje de la marcha un ángulo de aproximadamente 15° (ángulo del paso) D.

En la marcha “con las puntas hacia adentro” o intervención, el eje del pie no se cruza con el eje de la marcha por detrás, sino por delante, de manera que el ángulo queda anulado o invertido; la anchura del paso aumenta, pues el talón se separa necesariamente (dado que en caso contrario los pies se entrecruzarían del eje de la marcha) [22].

Figura 20: Dirección del pie en la marcha



Fuente: Patiño, Jimena. 2005

En la marcha en extraversión, la anchura del paso permanece invariable, porque el talón gira simplemente sobre sí mismo, mientras el ángulo del paso aumenta notablemente hasta alcanzar y superar los 45°

3.6.4.4 Interacción mecánica del pie con la superficie

Durante el desempeño de las actividades humanas, el pie interactúa mecánicamente con la superficie transmitiendo al cuerpo las fuerzas de reacción generadas sobre el suelo. De esta manera, el pie y el tobillo actúan bajo dos supuestos básicos: por un lado, amortiguando la carga derivada del peso corporal y los impactos producidos en el choque del pie con el suelo al caminar o correr y por otro, transmitiendo el impulso proporcionado por la potente musculatura posterior de la pierna [23].

La interacción del pie con el suelo da lugar a la aparición de fuerzas de distinto nivel y duración. Aquellas fuerzas que tienen corta duración, en torno a 30 milisegundos, se denominan fuerzas de impacto. En general se producen impactos siempre que ocurra una caída del centro de masa del sujeto desde cierta altura por pequeña que esta sea.

Al caminar, los impactos son generalmente del orden del peso del cuerpo, en carreras atléticas llegan a alcanzar niveles de dos y tres veces el peso del cuerpo y en saltos en deportes como el baloncesto, hasta cinco o seis veces este valor.

Otro aspecto importante que influye en la fuerza de impacto que se genera al caminar, es la acción del terreno por donde se camina o corre; estos impactos crecen cuando la superficie es pavimento duro como el asfalto y se suavizan cuando se hace sobre superficies naturales como la madera, la hierba o la arena.

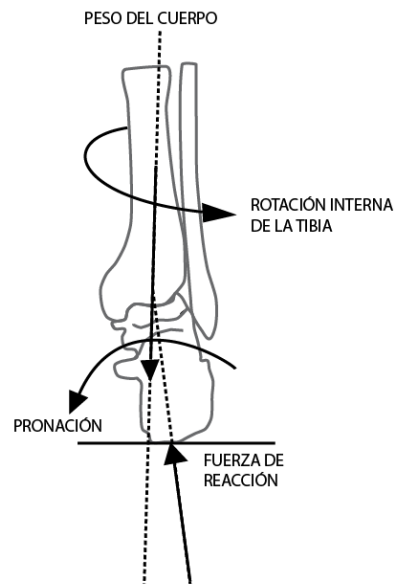
3.6.4.5 Movilidad articular y amortiguación sobre la marcha

Para protegerse de las cargas y fuerzas de impacto generadas por la marcha, es importante resaltar que el cuerpo humano posee sistemas naturales de absorción de impactos, entre los cuales se distinguen fundamentalmente dos: la movilidad articular y la contribución de los tejidos blandos. Una de las funciones esenciales de las estructuras de la pierna y del pie es la atenuación de la caída del cuerpo sobre el pie en su contacto con el suelo. A continuación se describe el funcionamiento de estos sistemas y su efecto durante la marcha.

La flexión de las articulaciones de la cadera, de la rodilla y del tobillo son mecanismos que actúan de forma similar a como lo haría un muelle reduciendo las fuerzas producidas en base a incrementar su deformación, que en este caso corresponde a movimientos de flexión.

El hecho de que el talón impacte con el suelo en primer lugar y debido a la situación del calcáneo ligeramente lateral al eje de la tibia, conlleva una pronación del pie, que se da cuando la tibia presenta una rotación interna y una eversión pasiva del calcáneo; esta serie de movimientos se producen durante el primer 15% del ciclo de la marcha y se invierten al iniciarse la fase propulsiva del apoyo. El movimiento coordinado de flexiones y rotaciones que se suceden en las articulaciones del tobillo y del pie resultan esenciales para la disipación de energía procedente de los impactos del pie contra el piso.

Figura 21: Movilidad articular y amortiguación sobre la marcha



Fuente: Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

Otro aspecto característico de la marcha, son los mecanismos de amortiguación naturales de los que dispone el cuerpo humano; el tejido blando del talón es uno de los más importantes. La almohadilla de tejido celular subcutáneo situada bajo el talón tiene una capacidad de reducción de energía del 90%, muy superior a la de cualquiera de los materiales habitualmente utilizado en el calzado.

3.6.4.6 El pie calzado como amortiguador de los impactos en el apoyo

El calzado puede contribuir a amortiguar o a incrementar los impactos que se transmiten en la estructura esquelética. Distintas características del calzado, como son los materiales de la suela y la plantilla, la forma con la que se diseñan, la rigidez del material de corte y la altura del tacón, determinan la capacidad del calzado para disminuir e incluso incrementar los impactos producidos.

La importancia relativa de este aspecto, depende del uso del calzado, sus características y las características de la población a la que va destinado; pueden con base a esto, describir unos casos concretos en los que la amortiguación es un criterio de especial importancia:

- Cuando por el uso al que va destinado el calzado, se espere soportar impactos elevados; caso del calzado deportivo, deportes de salto o carrera.
- Cuando alguna característica específica del calzado lo haga susceptible de provocar impactos elevados; calzado de tacón alto, botas que puedan limitar el normal movimiento del tobillo o aquellos calzados que requieran una suela dura.
- Cuando el calzado valla destinado a poblaciones especiales que requieren una mayor protección; personas mayores, mujeres embarazadas.

Otro aspecto considerable, es la selección del material para la constitución de entresuelas y suelas, debe tenerse en cuenta que no siempre los materiales más blandos son los que mejor amortiguan. En este sentido es preferible incorporar a los diseños materiales que no se deformen fácilmente o que, siendo relativamente “duros” incorporen especial propiedades de absorción de impactos.

3.6.5 Aspectos sobre el calzado y la horma

Para el diseño de la suela, es importante considerar aspectos relacionados al comportamiento de la suela en el calzado y tener en cuenta que el punto de partida para la creación de una suela es la horma a partir de la cual se va a construir determinado calzado. A continuación, se describen estos aspectos para tener una base informativa que será traducida en requerimientos de diseño para el producto que se plantea.

3.6.5.1 Interacción del calzado con el suelo, rozamiento.

La marcha, requiere de un nivel de rozamiento entre el calzado y la superficie que permita que esta se pueda llevar a cabo; sin embargo, excesivas fuerzas de rozamiento, como las que en ocasiones se producen en el ámbito deportivo, son origen de un gran número de lesiones.

Se entiende por rozamiento o fricción la fuerza que actúa entre dos superficies en contacto y que opone al movimiento relativo entre ellas. La teoría clásica del rozamiento supone que esta fuerza es directamente proporcional a la fuerza perpendicular que hay entre las dos superficies. El coeficiente de proporcionalidad se llama coeficiente de rozamiento y depende del tipo de materiales en contacto.

Esta teoría se expresa en la denominada ley de Coulomb, sin embargo es solo una aproximación a la realidad en el comportamiento de fricción entre dos superficies que depende de varios factores:

- Fuerza perpendicular entre las superficies
- Tipo de materiales
- Dimensiones de las superficies de contacto
- Acabado de las superficies

- Velocidad del movimiento de las superficies
- Condiciones ambientales: temperatura, humedad, etc.

La elección del material de la suela dependerá, por tanto, y de forma determinante, del tipo de superficie sobre el que se va a desempeñar la actividad y de la presencia de contaminantes.

El rozamiento que debe existir entre la suela y los diferentes pavimentos, dependen del tipo de calzado y el uso al que vaya destinado; básicamente se puede decir que es necesario un rozamiento mínimo para evitar caídas. El rozamiento necesario será mayor para el calzado de carrera o cuando se necesita incrementar la seguridad, como es el caso de los calzados destinados al ámbito laboral. Una solución sencilla podría basarse en la selección de los materiales que tienen mayor coeficiente de rozamiento, sin embargo esta solución es peligrosa pues dificultaría los giros y los cambios de dirección pudiendo provocar lesiones. Como criterio general se puede decir que para aumentar el rozamiento se puede utilizar materiales blandos, también se puede recurrir al incremento de la superficie de contacto entre la suela y la superficie; en superficies contaminadas por la presencia de agua, polvo o aceites que son ocasionalmente, casi todas, se debe recurrir a la inclusión de dibujos en la suela destinados a la dispersión de dichos contaminantes.

Por último es necesario distinguir entre rozamiento y abrasión. El término abrasión se utiliza relacionándolo con el desgaste o deterioro del material causado por el rozamiento. Normalmente si el rozamiento es grande y el material utilizado en la suela es demasiado blando, se provoca mucha abrasión y el material se desgasta antes.

3.6.5.2 Aspectos sobre la horma, relacionados a la suela

El diseño de la horma para calzado, se realiza con el objetivo de adaptar el calzado a las medidas antropométricas de determinada población e incluyen una serie de

correcciones según el estilo del calzado que se pretenda diseñar. En general, para el presente proyecto, puntualizar la información referente a la horma se realiza para la mejor comprensión de los aspectos que influyen en las dimensiones de la suela para calzado sport que se plantea; se tendrán en cuenta las características de la horma directamente relacionadas con la suela, es decir la configuración de la base de la horma y sus métrica.

La horma es un modelo del pie que sirve para fabricar el calzado, es un elemento de doble función; por una parte, al ser un modelo del pie está relacionado con su anatomía funcional, y por otro lado se trata de una herramienta para la fabricación del calzado que incorpora dimensiones útiles para construirlo. Puede definirse por sus superficies y ejes de los cuales se hace referencia en este proyecto, a los que están relacionados con la base de la horma donde se ubica la suela y de esta manera continuar con la utilización de los términos apropiados en la construcción de esta.

La horma puede dividirse en tres superficies:

- Interior: superficie plantar (referencia para la suela)
- Laterales: con dos vertientes la interior y la exterior (separadas por una línea imaginaria- vista frontal de la horma)
- Superior: limitada por las líneas de contorno de las superficies laterales, de forma ovalada.

La superficie plantar, referencia para el desarrollo de la suela, a su vez se divide en tres partes:

a) Antepié: es la zona que va desde la puntera hasta la parte delantera más ancha de la horma y está relacionada con la posición de las articulaciones metatarso- falángicas del pie.

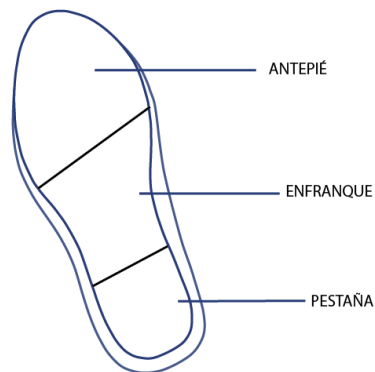
b) Enfranque de la horma: Corresponde a la zona del mediopié que ubica la posición del arco plantar. En la horma es un puente curvado que va desde el talón al antepié.

La curvatura de este puente está directamente relacionada con la altura del tacón; a mayor altura del tacón, mayor será la curvatura de este puente.

c) Pestaña del tacón: es la zona que recoge el talón; está relacionada por la anchura máxima del talón (que suele estar a 1/12 de la longitud total de la horma).

La superficie plantar no suele ser plana, sino que dispone de una serie de relieves y zonas excavadas destinadas a albergar la geometría de la planta del pie [23].

Figura 22: Superficie plantar de la horma

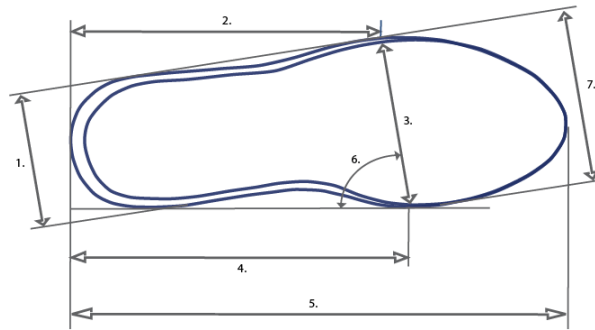


Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

La superficie plantar de la horma está definida a su vez por las aristas de la superficie lateral o líneas de transición entre estas dos superficies. El eje plantar o eje de la horma, es el que pasa sobre dos puntos en los extremos de la misma: 1) el punto medio de la puntera sobre la arista formada por la intersección de la superficie plantar y las superficies laterales y 2) el punto más prominente de la parte trasera de la horma.

A continuación se definen las medidas de la horma que se relacionan con la suela:

Figura 23: Medidas plantares de la horma



1. Anchura del talón o pestaña
2. Longitud del talón al flanco exterior
3. Ancho de flancos plantar
4. Longitud del talón al flanco interior
5. Longitud calzable
6. Ángulo de los flancos
7. Ancho de flancos

Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

1. Anchura del talón o pestaña de la horma sobre la superficie plantar: es la distancia entre los puntos más prominentes del talón.
2. Longitud del talón franco exterior: longitud que va entre los flancos interno y externo que albergan la cabeza del 1° y 5° metatarsiano.
3. Anchura de flancos sobre la superficie plantar: es la máxima anchura pasando por los flancos interior y exterior más prominentes de la horma, sobre el pie corresponde a la anchura a nivel de la articulación metatarso- falángicas.
4. Longitud del talón al flanco interior: es la distancia comprendida entre el extremo del talón y la prominencia interior de la horma que tiene que albergar la articulación del primer dedo.
5. Longitud calzable: la longitud del pie es la base de esta dimensión, indica la longitud total de la horma basada en la antropometría del pie añadiendo a esta, valores de corrección.
6. Ángulo de los flancos: es el ángulo tomado sobre la superficie plantar que forman la recta tangente interior, que pasa por la parte más ancha del talón y el saliente interior de la horma y, por la recta que pasa por los puntos más prominentes de

los flancos interno y externo. Esta medida, puede ser base para el diseño del refuerzo.

7. Altura del tacón: distancia que se toma descansando la parte del antepié sobre el plano de apoyo, entre la arista posterior de la horma y dicho plano; en este punto la superficie del talón sobre el calzado queda paralelo al suelo.
8. Quebrante de la puntera: elevación de la puntera del zapato tomada desde el plano de apoyo de la horma; esta elevación tiene como objetivo dejar espacio para la acción de palanca extremo del antepié durante la marcha.

A partir de estas medidas, aplicando los elementos de configuración formal y los requerimientos de función de la suela, puede fundamentarse la construcción del diseño de la suela complementando el concepto del refuerzo y matriz.

3.7 RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE LA SUELA EN EL CALZADO SPORT

Como calzado urbano se considera aquél destinado a un uso habitual en ambientes urbanos; este en el contexto de calzado masculino en la ciudad de Bucaramanga se conoce como calzado Sport. Las funciones que este calzado debe abarcar son las de proporcionar estabilidad a la masa corporal, absorber los impactos derivados del choque del pie con el suelo, y permitir la progresión del cuerpo sobre el pie en apoyo.

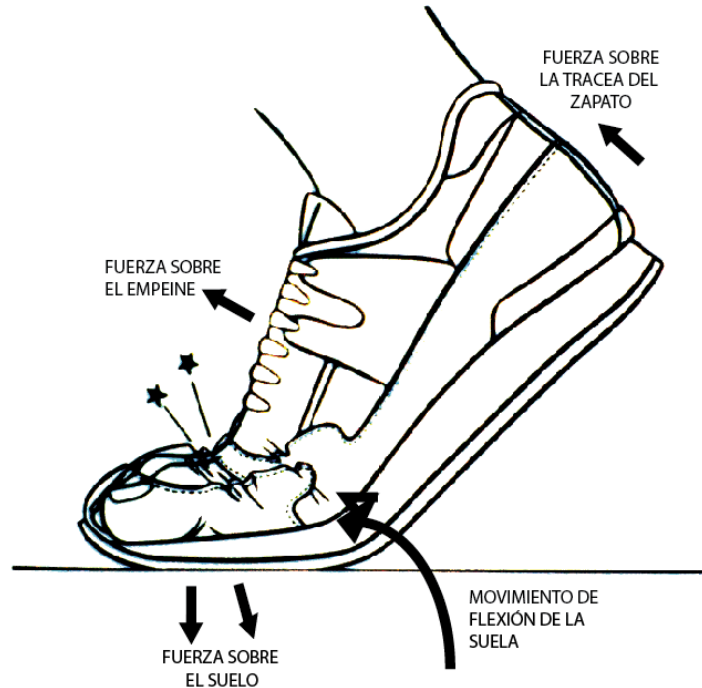
Con relación a la suela del calzado sport masculino, esta debe complementar el calzado en el correcto desarrollo de sus funciones, es decir proporcionar estabilidad, así como también buenas características de rozamiento y absorción de impactos y debe permitir la flexión normal del pie durante la marcha; adaptarse junto con el calzado, al estilo de vida, complejidad física y características personales del usuario.

- El ajuste de los dedos esta dado en el calzado por la puntera, es importante las características de esta ya que el calzado no debe someter los dedos a

compresiones ni alteraciones de su forma y posición. El diseño de la puntera define también el diseño frontal de la suela, puede variar entre la forma oval, creciente, circular, cuadrada, oblicua o redondeada; de acuerdo a la horma que se utiliza para el presente proyecto, la forma delantera de la suela es de puntera circular.

- La suela, debe aportar el manejo de la amortiguación de cargas del calzado; las características de amortiguación de la suela dependen fundamentalmente del espesor y del material con que este fabricada. Según estudios del IBV* en el análisis de la capacidad de amortiguación del calzado urbano, las suelas de caucho, corcho o poliuretanos (PU) siempre que dispongan de un espesor adecuado, han demostrado una mayor eficacia en la amortiguación de impactos que la suelas de cuero. El material definido para la matriz hace parte entonces de este grupo de beneficio, ya que el Caucho termoplástico es utilizado en la industria de las suelas por las propiedades que ofrece.
- Con relación al tacón, en cuanto mayor sea la capacidad de deformación elástica del material de este, mayor será la capacidad para amortiguar cargas de impacto. Según lo anterior, podría parecer que un tacón cuanto más blando y alto (espesor) mejor amortiguaría los impactos, pero esta solución es limitada por la inestabilidad que produciría un tacón demasiado alto o demasiado blando.
- Para la suela, pueden tenerse en cuenta también, consideraciones sobre la plantilla y la ubicación de materiales viscoelásticos bajo las prominencias óseas de las plantas de los pies, como el talón o la cabeza de los metatarsianos para mejorar la capacidad de amortiguación del calzado; estas zonas pueden ser guía para el diseño del refuerzo y de la matriz de la suela.
- En la suela, el cierre sobre el empeine y sobre el talón transmiten la fuerza de la pierna al zapato dando lugar a la flexión de la suela que deberá acompañar la flexión de los dedos en el despegue

Figura 24: Diagrama de fuerzas actuantes durante la marcha



Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

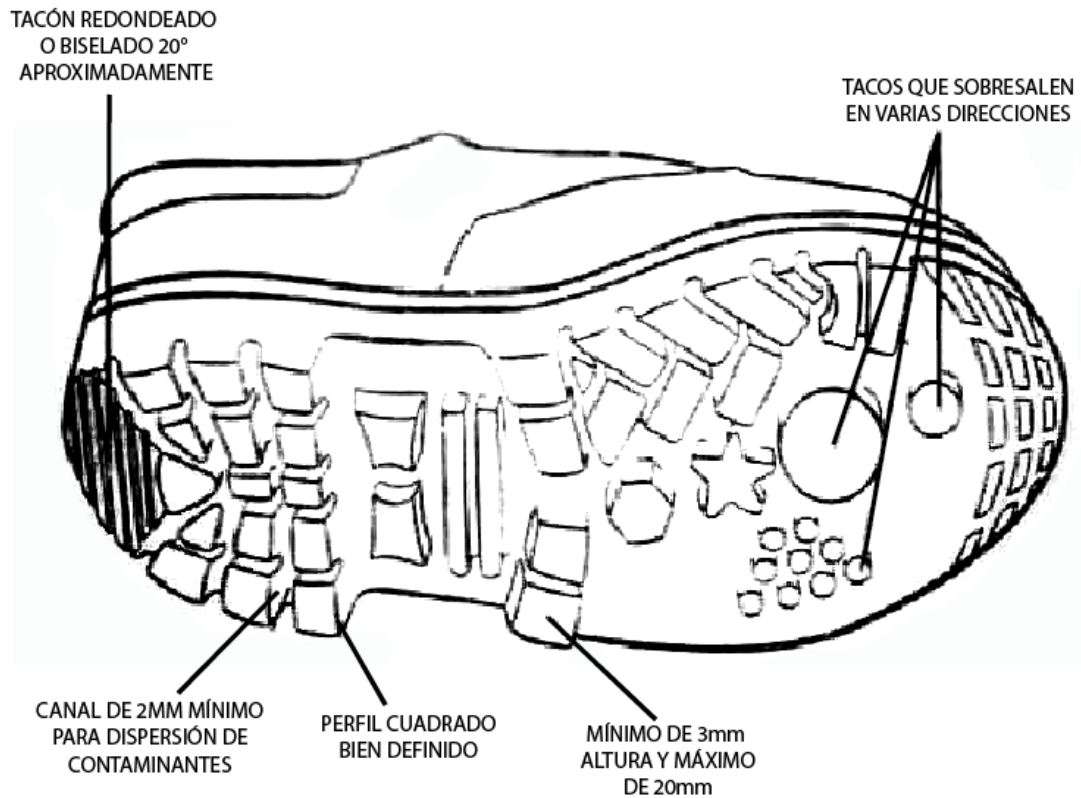
A mayor esfuerzo necesario para obtener esa flexión de la suela, mayor fatiga se produce al andar [23].

Tanto desde el punto de vista del confort como desde la perspectiva de su adecuación biomecánica, debe tenerse en cuenta el rozamiento actuante entre la suela y la superficie de apoyo, en el diseño de calzado urbano y por consiguiente en el diseño de la suela. Los factores de diseño que determinan el rozamiento de la suela son fundamentalmente las características del material de la suela y la geometría de la suela, incluyendo dibujos y forma de esta.

Se hace referencia a esto ya que define en gran parte los requerimientos de función de la suela destinada al uso en calzado sport masculino, utilizada en terrenos variados.

- En cuanto al material a utilizar deberá tenerse en cuenta el compromiso entre características, en ocasiones contrapuestas, asociadas al comportamiento mecánico. Es decir, los materiales de la suela deben presentar un coeficiente de fricción adecuado a los pavimentos urbanos y a su vez resistencia a la abrasión o al desgaste de dicho material. En este sentido, el material planteado para este proyecto Caucho Termoplástico ya cuenta con estudios sobre estas propiedades y puede ser utilizado en el desarrollo del material compuesto que se plantea para la suela reforzada con fibras naturales.
- Para obtener un coeficiente de fricción adecuado a las superficies urbanas, en el diseño de las suelas es necesario considerar el área de contacto entre la suela y la superficie. El área de contacto, determinada por el diseño de la suela, es uno de los factores de mayor influencia en el comportamiento de los materiales sometidos a fricción. Cuanto mayor sea esta área, mayor será el coeficiente de fricción que puede obtenerse y menor, por lo tanto, el riesgo de caídas por resbalamiento; este aspecto es intervenido durante el diseño y desarrollo de la suela que se plantea.
- En el diseño de calzado para caminar por ambientes urbanos, se recomienda (según la IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia) un corte en cuña (30° a 45°) del tacón para mejorar la fricción en el momento de contacto inicial.
- En ambientes urbanos en los que son frecuentes la presencia de contaminantes, es necesario darle a la suela cierta rugosidad o diseñar huellas con ranuras y dibujos destinados a la dispersión de dichos contaminantes.

Figura 25: Recomendaciones para el diseño de la suela



Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

Para evitar roturas en el uso de los dibujos o ranuras en la zona del antepié no deben ser completamente perpendiculares al eje longitudinal del zapato pues, de este modo, se aumenta el riesgo de fallo prematuro de la suela en la zona de flexión.

En el diseño del dibujo de la suela los criterios son los mismos que los aplicados en el diseño de los neumáticos de los coches. En superficies secas y perfectamente limpias una suela completamente lisa aumentará la superficie de contacto y, por lo tanto, las fuerzas de fricción. Sin embargo en situaciones reales siempre existen contaminantes como el agua o el polvo; en estos casos, un cierto dibujo de la suela es esencial para dispersar el contaminante o para anclarse físicamente al suelo [23]. Algunos de los de

los dibujos de suelas utilizados con mayor frecuencia en el diseño de calzado sport se muestran a continuación:

- Listados: favorecen el deslizamiento en la dirección del listado; se puede utilizar para favorecer el deslizamiento en una dirección dada, aunque si lo que se desea es aumentar la fricción, debe ser discontinuos. Se recomiendan anchuras de 3 y 20mm con canales redondeadas de 2mm de ancho y profundidad para dispersar contaminantes y evitar fisuras por flexión.
- Salientes: aumentan la fricción al dejar aristas en varias direcciones. Para aumentar la superficie de contacto se suele recomendar que su superficie sea lisa. Una terminación en cuña daría lugar a un área de contacto pequeña y por tanto a una baja fricción.
- Entrantes: se recomienda que estas no sean superficies cerradas que puedan actuar como depósitos de contaminantes.
- Granulados: si son pronunciados aumentan la fricción ya que generan aristas en todas las direcciones; si son suaves y en suelas duras, disminuyen la fricción al disminuir el área de las superficies en contacto.
- Dibujos circulares: suelen colocarse bajo la cabeza del primer metatarsiano y van destinados a favorecer el giro. El principio de funcionamiento es el mismo que el de los listados. Un conjunto de listados formando circulo, favorecen un giro entre las superficies cuando el eje de giro coincida con el centro de las circunferencias; su ubicación debajo del primer metatarsiano es debido a que, en los giros, éste es el punto de apoyo y por tanto el eje de giro se halla situado sobre él. disminuyen la fricción al giro y aumentan la fricción longitudinal.
- Barras de flexión: las barras situadas en el eje de flexión de la suela para aumentar la flexibilidad de ésta, provocan en general un aumento de la fricción rotacional al dar lugar a aristas perpendiculares a la dirección de giro. Si son necesarias deben ser siempre líneas alisadas y no listados para disminuir el número de aristas que se opongan al giro.

3.7.1 Tipos de calzado

Para la mejor comprensión del proceso de diseño, se hace una descripción del tipo de calzado al que va dirigido el diseño de la suela de caucho con fibras naturales.

El calzado es un elemento que puede ser utilizado para vestir o proteger los pies de condiciones adversas de la naturaleza, de la suciedad y adicionalmente como prenda de vestir; este se denomina también como zapato.

El surgimiento de innumerables funciones alrededor del desarrollo de calzado, ha permitido la evolución de diferentes modelos o categorías según funciones a desempeñar, por ejemplo, el calzado normal que es utilizado en la vida cotidiana, el deporte, el trabajo y en actividades sociales; calzado especializado, conocido como terapéutico u ortopédico que se utiliza para corregir, paliar o detener deformaciones en los pies o de los sistema óseo de los miembros inferiores; calzado anatómico, que es el más moderno en confección y su diseño se basa en aspectos biomecánicas para que cumplan con requerimientos de confort y ergonomía.

3.7.1.1 Calzado sport masculino

En términos comerciales, dentro del mercado del calzado, la denominación Sport describe un calzado que pasó de un uso exclusivo a la hora de hacer deporte, a ser un calzado de uso diario que cuenta generalmente con una suela de caucho, cobertura de lona o piel y un sistema de cierre a base de cordones, elásticos o velcro. Una particularidad de este calzado es que está basado en la comodidad y funcionalidad.

Figura 26: Calzado Sport masculino



Fuente: Recopilación del autor

El entorno de uso de este calzado, se ubicado en el área de la ciudad de Bucaramanga; está dirigido a hombres con edad entre 15 a 50 años, estudiantes universitarios, personas que en su trabajo no requieren el uso de uniforme o traje formal, o bien, personas mayores que mantienen un estilo informal y requieren calzado cómodo. El grupo de usuarios es amplio en el sentido de que el calzado casual puede ser utilizado en diferentes contextos sociales como, la universidad, reuniones con personas allegadas, salidas a lugares públicos, actividades de ocio, entre otras, que posibilitan el uso diario de este tipo de calzado. El calzado sport suple la necesidad de encontrar un punto medio entre los zapatos de vestir más formales y rigurosos y los totalmente deportivos.

Se debe tener en cuenta el uso de este tipo de calzado en terrenos variados como concreto, piso de madera y baldosa ya que por ser un calzado de uso diario, las características del terreno donde se usa es una variable independiente de las actividades que realice el usuario. Desde el punto de vista funcional, las superficies

sobre las que nos movemos son duras (asfalto, terrazo, cemento, etc.) lo que somete a los pies a sollicitaciones mecánicas mayores que si se caminara en superficies como la tierra o la hierba; la presencia de agua, grasas, aceites y otros contaminantes hacen parte de la variabilidad de las condiciones del terreno urbano.

4 ANÁLISIS DEL MERCADO

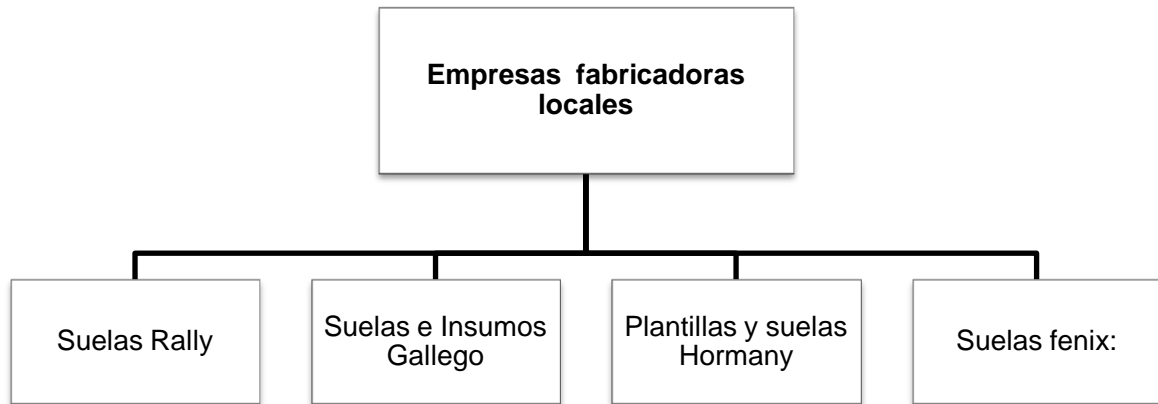
4.1 USUARIOS

El grupo principal de usuarios a los que van dirigidas las suelas de material reforzado con fibras naturales, está conformado por los fabricantes de calzado del sector de Bucaramanga; estos son los principales compradores del producto y tienen el criterio para su selección. No se describen características específicas para este grupo, ya que no son relevantes para el desarrollo y producción de la suela, es decir la variedad en el sexo, la edad, el nivel académico no tienen mayor importancia; en este caso la experiencia técnica, métodos de fabricación y conocimiento sobre materiales dentro de sector del calzado es más relevante.

Un segundo grupo de usuarios a los que va dirigido el producto, y definidos como usuarios finales, son los hombres con edad entre 15 a 50 años que utilizan calzado sport. El uso de este calzado puede ser ubicado en diferentes contextos sociales como universidad, reuniones personales, salidas a lugares públicos, actividades de ocio, entre otras; estos espacios son los que definen el perfil de los usuarios que puede estar conformado por estudiantes, personas con un estilo informal de vestir, y principalmente personas que busquen calzado cómodo para sus actividades diarias. Este perfil se define más detalladamente en la descripción del calzado sport masculino.

4.2 EMPRESAS DEL SECTOR

Figura 27: Empresas locales fabricantes de suelas



Fuente: Autora del proyecto

- Suelas Rally: Es una organización dedicada a fabricar y comercializar productos, con énfasis en el sector calzado. Ofrece una gran variedad de estilos de suelas para hombre, dama, niño y niña, elaboradas en materiales como TR y PVC.
- Suelas e Insumos Gallego: Empresa dedicada a la fabricación y distribución de suelas para la industria del calzado, que busca optimizar la calidad de sus productos para satisfacer las necesidades del cliente, transformando técnicamente la materia prima para lograr los niveles de calidad que le permita un crecimiento sostenible. Ofrece suelas de caucho, TR, Expanso y PVC.
- Plantillas y suelas Hormany: Empresa dedicada a la fabricación de plantillas para calzado fino, sandalias, botines, mocasines, zapatillas y botas. Suelas con materiales de alta calidad.
- Suelas Fénix: Empresa dedicada a la fabricación de suelas de poliuretano de la más alta calidad y variedad, con los productos que permitan estar a la

vanguardia de la moda en el calzado, brindándole a todos sus clientes un excelente producto con líneas de producción para dama y niña.

En la actualidad, el calzado de Santander goza de un buen posicionamiento con respecto a calidad y precio; esto permite competir en varios segmentos de mercado. Bucaramanga ocupa el segundo lugar nacional en productos de cuero relacionados con el calzado, marroquinería y manufacturas afines⁹.

Para la obtención de información relacionada al estado del mercado de suelas para calzado masculino tipo sport en la ciudad de Bucaramanga, se visitó la zona ubicada entre la carrera 15 y carrera 12 desde la calle 32 a 28, donde se encuentran las tiendas distribuidoras de suelas. La información se obtuvo por medio de entrevistas con los distribuidores y personal relacionado con la fabricación y venta del producto.

Las tiendas distribuidoras que permitieron la realización de la entrevista y colaboraron con la información compartida, se encuentran: Hipersuelas, Alpes Group, Distri-Suelas e insumos, Mega Suelas, Valincal; a continuación se presenta la información recogida con las entrevistas realizadas.

Los materiales de las suelas que actualmente se distribuyen para calzado sport masculino en el mercado local son PVC, Caucho TR, Expansor; los precios para estas son:

- Suelas de PVC con valor entre \$1200 y \$4000, depende de la talla
- Suelas de Expansor con valor entre \$3800 y \$6000
- Suelas de TR con valor \$6000 y \$8000
- Suelas de Caucho con valor de \$2000 a \$5000
- Suelas de Poliuretano con valor entre \$4000 y \$4500

9. Cámara de Comercio de Bucaramanga, Informe Empresarial 2007.

- Las características que más se presentan en las suelas sport para hombre, son de tipo formal y de función; suelas suaves, bicolor o monocolor; se utilizan formas simétricas, con punta cuadrada o clásica. Se utilizan suelas fabricadas con PVC reciclado que tienden a ser más duras, relacionadas con los otros materiales para suelas; las suelas de poliuretano tienen baja resistencia a los químicos y si no se usa con frecuencia se descompone con facilidad.
- En general el desempeño de las suelas esta determinado por el tipo de material: Las suelas están sujetas a garantía por un año; los materiales como expansor y PVC tiene baja resistencia a los combustibles, el caucho presenta mayor resistencia a este; Las suelas de caucho pueden ser empleadas en calzado de trabajos donde el calzado este en contacto con aceites, grasas o gasolina; deben cumplir con el requisito de flexibilidad y durabilidad.
- Los usuarios directos, que son los fabricantes de calzado del sector, tienen en cuenta el material y el precio como principal requerimiento de compra; en un nivel siguiente, la forma y la tendencia se unen a la decisión de compra. Aspectos como el color, peso y marca de la suela no tienen mucha importancia para el usuario, por lo general el precio es lo más importante cuando se fabrica calzado al por mayor, y el material cuando se fabrica calzado de alta calidad.
- Dentro del portafolio de productos para calzado, específicamente suelas, la variedad de colores y formas es amplia; pero respecto a nuevos materiales no hay muchas alternativas de selección. En cuanto a fibras naturales solo es conocido el fique como elemento de decoración de las suelas.
- Para los fabricantes, aspectos como la calidad y durabilidad del producto tienen mucha importancia por la conexión con el comprador; lo que el garantice le da más nivel de confianza con el usuario. Los usuarios se guían más por la economía y buscan productos con más bajo precio, pero al mismo tiempo le

dan un valor de 90% a la calidad y la durabilidad de las suelas. Pueden reconocerse en el mercado dos tipos de usuario; el que busca calidad, está dispuesto a pagar el valor justo del producto; por otro lado, los fabricantes de calzado más económico, buscan bajos precios en suelas.

A partir de estas visitas y entrevistas, se observa que en el mercado de las suelas, son pocas las intervenciones de innovación ya que las tiendas presentan el mismo tipo de producto, el diseño solo está enfocado en el aspecto formal de la suela. Por otro lado en cuanto a materiales, existen 4 materiales establecidos como los principales y que son referencia para el tipo de calzado en el que se va a utilizar la suela; materiales como PVC, TR, Expansor, y Poliuretano conforman este grupo. La propuesta de la investigación en materiales para suelas, y el desarrollo de estas a partir de un material reforzado con fibras naturales, genera en el gremio interés por el planteamiento, paralelamente expresan que debe tenerse en cuenta la calidad y el desempeño de la suela desarrollada en comparación con las existentes. En general, los usuarios buscan productos de alta calidad pero prefieren la economía, lo que hace que la investigación y el desarrollo de nuevos productos no sea una demanda directa para los empresarios y fabricantes.

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS LOCALES

A continuación se presenta el estereotipo de suela disponible en la ciudad de Bucaramanga para calzado sport masculino; el estado del arte de estas suelas es referencia para el diseño de la suela reforzada con fibras naturales.

Figura 28: Tipos de suela, tiendas locales



Fuente: Recopilación de la Autora del proyecto

Dentro de los materiales con que se fabrican las suelas y las que son comercializadas en mayor proporción en la ciudad son el TR, PVC, Caucho y Expansor; los precios de estas están determinados por este el tipo de material.

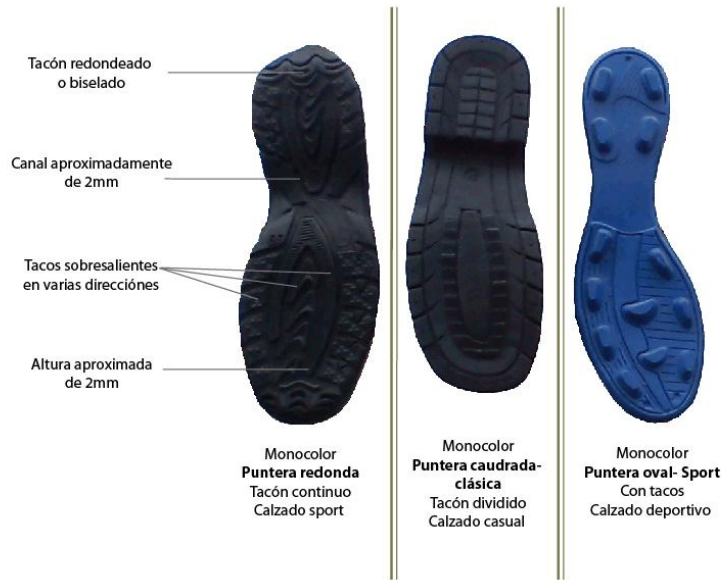
Tabla 6 Costos de suelas, distribuidores locales

Material de la suela	Costo unitario	Tipo de calzado- aplicación
PVC	\$1200 - \$4000	Calzado deportivo, sport, para dama, para Caballero, para niño- niña.
TR	\$6000 - \$8000	Calzado deportivo, sport, para dama, para Caballero, para niño- niña.
CAUCHO	\$2000 - \$5000	Calzado para trabajo pesado, botas, calzado de dama, calzado de hombre
EXPANSOR	\$3800 - \$6000	Sandalias para dama, calzado para dama y niña
POLIURETANO	\$4000 - \$4500	Calzado deportivo para hombre y mujer, sandalias para dama.

Fuente: Autora del proyecto

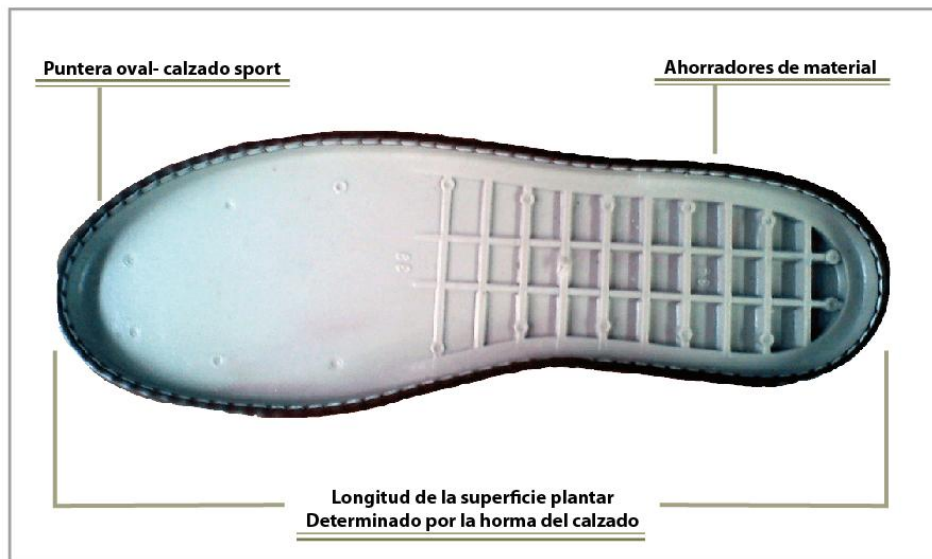
Las suelas disponibles en el mercado, fabricadas con caucho, para calzado masculino, están fabricadas por medio del proceso de vulcanización; varían en la forma de la puntera, el tipo de tacón y los diseños de las texturas y dibujos plantares.

Figura 29: Suelas de caucho, calzado masculino



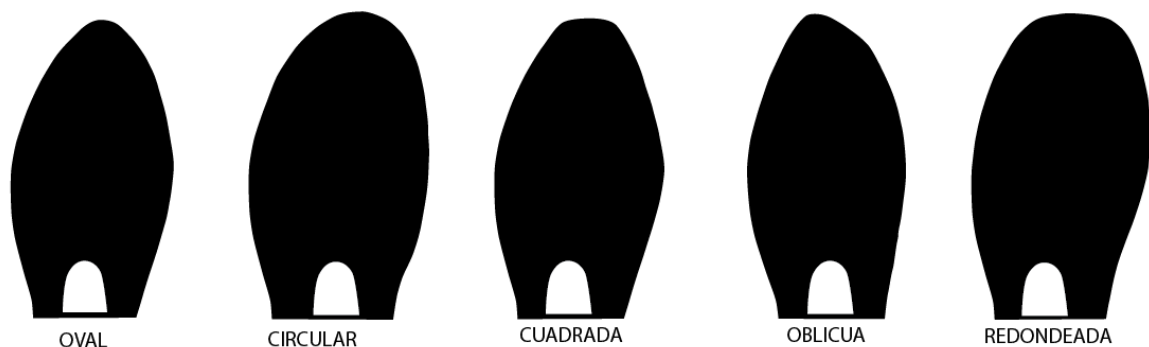
Fuente: Autora del proyecto

Figura 30: Vista superior de la suela comercial



Fuente: Autora del proyecto

Figura 31: Diferentes diseños de punteras



Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

-La variedad de forma de las suelas favorece a los usuarios ya que cuentan con un amplio portafolio de productos que se adaptan a las diferentes necesidades.

-Los precios oscilan dentro de un rango que en el cual el usuario puede escoger el valor que se adapte a la demanda de calzado que va a fabricar y al presupuesto disponible para estos, teniendo en cuenta que este precio influye directamente en la calidad y el material del producto.

-Los diseños de la huella plantar son en algunos casos simétricos, con radiación o irregulares, este es un aspecto que permite una amplia intervención de diseño, teniendo en cuenta los requerimientos y restricciones funcionales y técnicos de las suelas, según el tipo de calzado.

El grupo de productos que se encuentran actualmente en el mercado local de las suelas, tiene grandes ventajas en cuanto a variedad de precios y calidad; los materiales con que son fabricadas las suelas que se distribuyen en la ciudad han sido previamente probados bajo normas y requerimientos técnicos establecidos en la industria del calzado, marroquinería, cueros y productos afines. Por otra parte no se observa un grado de innovación o un factor diferenciador entre los productos disponibles en el sector de las suelas; no existe un factor elemento de identidad en

alguna de las marcas distribuidoras que genere un valor agregado a estas. Este aspecto, genera la oportunidad de inducir a las empresas fabricantes a tomar iniciativas de investigación, que reevalúe los estereotipos de productos que se están produciendo y planee nuevas alternativas en el diseño, aplicación y producción de suelas.

4.4 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS EXTRANJEROS

Tanto en la región de Santander y el país, el caucho es uno de los materiales más utilizados en la producción de suelas que gracias a sus propiedades y características satisfacen una amplia gama de requerimientos. Así mismo, fuera del país el panorama es más amplio; en la actualidad existen algunas investigaciones y desarrollos de nuevos materiales para suelas centrados en el mejoramiento del desempeño ambiental de estos, a continuación son citadas algunas tipologías desarrolladas con este enfoque.

Estas tipologías son algunas de las muestras de desarrollo de materiales, tecnologías y nuevos productos innovadores que responden al creciente interés de las empresas por crear opciones sustentables.

Suelas fabricadas con materiales reciclados para evitar un mayor impacto en el medio ambiente.



VENTAJAS

- * Variedad en el catalogo de las suelas, industriales, deportivas, casuales.
- * Fabricadas bajo las normas de calidad Mexicanas
- * Uso de materiales reciclados.
- * Cuentan con especificas listas en la fabricación de Hule



ASPECTOS TECNICOS

- * Suelas de PVC: relativamente pesadas
- * Suela de material expandido: bajo peso, menor resistencia a la abrasión
- * Suelas de Poliuretano: alta resistencia para tacones y zapatos altos
- * Suelas de hule vulcanizado: altamente pesadas y muy resistentes a la abrasión

Fabricación de mezclas de hule a través del equipo especializado de laboratorio. Elaboración de recubrimientos en hule, sellos, empaques y membranas según los requerimientos de los clientes.

TIPOLOGÍA I.

Fuente: Recopilación Ecosuelas, Mexico 2012

COMFORT SOLUTION



Confort Solutions es una de las empresas en México que han optado por la fabricación de calzado sustentable.

Suelas y plantillas fabricadas a base de aceites naturales de la tierra; en su producción se generan menos gases efecto invernadero y su fuente es renovable.



VENTAJAS

- *Diseño biomecánico, espumas y materiales de alta densidad.
- *Material suave, térmico y que evita la fricción.
- *Acojinamiento que mejora la absorción de impactos.
- *Diseños que se adaptan a cualquier tipo de calzado amoldándose al pie.
- *Materiales que no se deforma.



ASPECTOS TECNICOS

- *Suela de alto desempeño de máximo confort gracias a su flexibilidad extrema.
- *Dureza a partir de 50 ShoreA
- *Bajo peso y resistencia a la hidrólisis
- *Acabado tipo Hule



TIPOLOGÍA 2.

Con la fabricación de suelas ecológicas, Confort Solutions redujo hasta 25% el uso de recursos fósiles como el petróleo; sus consumos de energía en 35%; y 70% la emisión de gases que arroja a la atmósfera, entre los que se encuentran el dióxido de carbono (CO₂).

Fuente: Confort Solution, Productos y soluciones para la industria del calzado. 2012

Ürshoez

Se trata de una línea de zapatos cuya suela está atada a la parte superior por medio de una serie de elásticos, permitiendo el intercambio de las dos partes para crear diferentes pares. Así, por ejemplo, se puede tener un par de suelas y cambiar la parte superior de acuerdo a la estación, los colores que se prefieran, o cuando una de ambas partes se rompe.



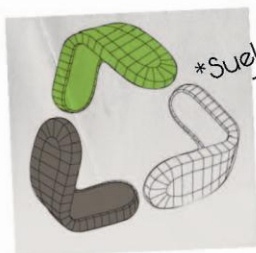
VENTAJAS

- *El consumidor puede separar y volver a adjuntar la parte superior del zapato de su suela para intercambiar.
- *Posibilidad de adaptar la conformación del zapato a la necesidad y el estilo
- *Posibilidad de ser usado por personas con diferentes estilos y gustos: Variedad de Urauarios
- *Birnda libertad al consumidor de expresarse y ser creativo.



ASPECTOS TECNICOS

- *Suela producida por moldeo por inyección de TPR (Caucho Termoplástico). 100%reciclable.
- *La suela puede ser molida e inyectada nuevamente para producir una nueva suela.
- *La suela Ürshoez puede reciclarse totalmente.



Su diseñador

Grant Delgatty se inspiró en su experiencia con el juego LEGO. Así como los niños pueden construir lo que imaginan con las formas y colores de los bloques de construcción, Grant pensó que estaría bien si la gente pudiera disfrutar de jugar con las opciones y ser creativos con sus propios zapatos,

TIPOLOGÍA 3.

Fuente: Urshoes. 2012

el Natura lista

Nuestros productos, más que ecológicos son respetuosos con la Naturaleza. Sus productos son producidos pensando en reducir al mínimo el impacto medioambiental. Uso de materiales reciclados y biodegradables; corticiones semi-vegetales o colas de base agua. Se da prioridad a procesos que reduzcan el consumo de agua.

VENTAJAS

- *Uso de materiales naturales y biodegradables en sus productos
- *productos con acabados naturales que alteran lo menos posible las propiedades del material



1.

1. 100% Yute: Sistema Hidrófugo utilizado para recubrir las suelas repele el agua. trabajado de forma artesanal, el yute es un material ligero transpirable y resistente al agua.



2.

2. Suela de caucho: Siuela de gran flexibilidad, la goma natural se dobla con facilidad, recupera su grosor después de la pisada y tiene menor desgaste que los materiales sintéticos. Material durable y biodegradable.



3.

3. Suela de caucho reciclado: Siuela hecha a partir de materiales sobrantes o reutilizados, manteniendo todas las propiedades del caucho. la actual tecnología de reciclado permite producir goma de alta calidad. material biodegradable.

Apostamos por la calidad y la durabilidad de nuestros productos, como garantía de un menor consumo energético y de la reducción de residuos sólidos.

Tipología 4.

Fuente: El Natura-lista. 2012



Korkers crea, comercializa y distribuye calzado todo terreno con tracción adaptable que permite a los entusiastas del aire libre optimizar el rendimiento de la tracción en diferentes condiciones, dentro y fuera del agua.



Sistema OmniTrax Sole V2, por el que puede intercambiar hasta 8 tipos de suelas diferentes según las características del terreno por el cual deseamos movernos.



TIPOLOGÍA 5.

VENTAJAS

- *Versatilidad en las opciones de uso
- *Versatilidad en las características del producto
- *Facil manejo y acople con el zapato
- *Materiales resistentes al agua
- *Materiales que generan fricción y antideslizantes.



1. OmniTrax Sole Sistema

intercambiable: Brinda versatilidad para hacer más (aventura) con menos (marcha). Filtros intercambiables para la pesca con mosca, suela con tachas para mayor tracción sobre hielo y nieve.

2. Materiales: En su comienzo fue hecho a mano, utilizando caucho chatarra, cable de nylon, y los picos de metal duro, Korkers "Tacos del Río" fueron creados en el sótano del fundador Korkers, Sherman Smith.

3. Los usuarios: El diseño funcional y versátil del sistema de abrazadera creció rápidamente como uno de los favoritos entre los pescadores que a menudo se encuentran a sí mismos deslizamiento y / o caídas en rocas resbaladizas del río. Este producto proporciona seguridad y tracción.

Fuente: Kokers. 2012

En Colombia la producción de suelas es grande, pero aún así la mayor influencia para nuevos desarrollos viene de otros países como Italia, México y Estados Unidos. Por ejemplo la empresa Mexicana Confort Solution es la única en América Latina que cuenta con la tecnología para producir un tipo de Poliuretano que contiene 25% de aceites naturales que permite fabricar suelas bajo las normas más estrictas¹⁰; aspectos como estos que buscan un alto desempeño tanto del producto como ambiental. Puede observarse el uso del Fique en las suelas como en la empresa El Natura-Lista, pero este continúa siendo un agregado al diseño y no totalmente un material de aporte para el desempeño de las suelas. Otra de los intereses de las empresas es crear suelas que puedan utilizarse en diferentes ambientes y según los requerimientos del usuario, la tendencia o estilo; de este modo se presentan suelas intercambiables que modifican su concepto y hacen de estas un producto más duradero.

Algunos de los aspectos a resaltar de las tipologías analizadas, son el uso de materiales reciclados y biodegradables, la fabricación de suelas bajo normas específicas, el diseño que proporciona flexibilidad a los materiales para su alto desempeño. Los materiales que más se destacan son el PVC, Poliuretano y Hule Vulcanizado, Cauchos naturales y reciclados, materiales expandidos para mejorar el peso de las suelas según el tipo de calzado al que van dirigidas.

Para el presente proyecto es importante tener conocimiento de las tecnologías, productos existentes y desarrollo de nuevos materiales como referencia para la caracterización del material que se está estudiando y el desarrollo de la suela para calzado sport masculino, que integre elementos diferenciadores en el producto y ofrezcan un valor agregado a las suelas disponibles en el mercado.

10. CNN EXPANSIÓN, “Los zapatos ‘verdes’ están de moda”. Artículo, Suelas Ecológicas. Disponible en la web <<http://www.cnnexpansion.com/manufactura/2010/04/12/suelas-ecologicas>>

5 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Los requerimientos del producto, se establecen con el fin de delimitar la fase creativa del producto y orientar el desarrollo de una solución de diseño enfocada al cumplimiento de estas especificaciones. Partiendo del análisis del problema, se enmarcan las condiciones generales (de forma cualitativa y cuantitativa) que el producto debe cumplir y del mismo modo, las restricciones relativas al usuario, regulaciones y estándares, tecnología y costos.

A continuación, se definen los requerimientos del producto, según categorías que permiten delimitar el proceso de diseño con base en el estudio del aspecto humano realizado, el estudio de los productos existentes y la definición del calzado al que va dirigido el producto. La primera categoría, agrupa los aspectos funcionales del producto, es decir los requisitos para su uso adecuado; requerimientos en el aspecto humano, que se centran en el usuario para definir las características ergonómicas del producto enfocadas en este; aspectos técnico-productivo, referentes a los materiales y condiciones físicas con las que debe cumplir el producto y la tecnología disponible para su fabricación; aspectos formal-estéticos y expresivo-formales que se centran en el desarrollo de la forma y la relación del producto con la percepción del usuario.

5.1 REQUERIMIENTOS FORMAL- ESTÉTICOS

	DESCRIPCIÓN	CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO
1. Debe tenerse en cuenta la superficie plantar de la horma para la ubicación del refuerzo y la configuración de la matriz.	El diseño de la suela está directamente relacionado con la horma a partir de la se realizara la aplicación del producto en el calzado. Requerimiento de función No. 1. (Ver aspectos sobre el calzado y la horma- C.	<ul style="list-style-type: none">• Función formal: Dimensiones antropométricas• Función practica: distribución del refuerzo

	5.4.2)	
2. Evitar el uso de rebordes largos y continuos	Los rebordes largos y continuos pueden ser percibidos como inseguros al no tener discontinuidad en la forma que permita genere fricción. Requerimiento Funcional-12	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal
3. Se recomienda el uso de biselado en la parte trasera del tacón e incorporar textura en este.	Este biselado incrementa la capacidad de rozamiento del calzado en la fase de contacto inicial. (Ver recomendaciones generales para suela de calzado sport- C. 5.4.3)	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica • Elementos de configuración formal
4. Las áreas cerradas pueden actuar como depósitos de contaminantes	En superficies contaminadas por la presencia de agua, polvo o aceites que son ocasionalmente, casi todas, se debe recurrir a la inclusión de dibujos en la suela destinados a la dispersión de dichos contaminantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de función- No. 9
5. Usar formas texturas y extrusiones que generen zonas de fricción	Una suela lisa es percibida como insegura, las extrusiones, texturas y tacos generan áreas de fricción	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal • Distribución coherente de las formas
6. Los perfiles y bordes deben tener terminaciones cuadradas y bien definidas	Estos perfiles proporcionan más estabilidad en las marcha. Requerimiento de función-15	
7. Debe tener canales que generen una textura en la zona de la suela que está en contacto con el suelo	Los canales deben ser mínimo de 2mm de ancho y de profundidad para la dispersión de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal • Elementos de diseño: simetría, radiación, repetición, gradación de forma y tamaño, proporción
8. El borde del talón	Incorporar este borde en	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal de la

debe ser redondeado y con textura	el talón de la suela se relaciona visualmente con la recepción de la suela al momento del contacto inicial con el suelo	textura
9. Debe considerarse un espesor mínimo de suela entre 8 y 10mm dependiendo de las características del material.	Este espesor mínimo recomendado tiene como objetivo proteger a los pies de agentes mecánicos lesivos. Este grosor puede conferir al calzado una buena capacidad de amortiguar impactos.	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de configuración formal
10. El grosor de la parte delantera debe preservar la flexibilidad de la suela	Requerimiento de función No. 8.	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de configuración formal
11. Las extrusiones, texturas o tacos deben ubicarse en diferentes direcciones manteniendo al mismo tiempo el equilibrio visual	La ubicación de estos elementos dan una perspectiva del grado de fricción que la suela puede generar al contacto con el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal • Elementos de diseño: Simetría, equilibrio, radiación, repetición, gradación de forma y tamaño, proporción
12. Debe haber coherencia entre la geometría de la suela y el área reforzada de la suela	Coherencia formal entre elementos funcionales	<ul style="list-style-type: none"> • Elemento de diseño: proporción,
13. El color de la suela debe ser dado por la tendencia y de acuerdo al usuario final del producto	La suela va dirigida a un contexto de uso determinado por el tipo de calzado y la tendencia en el mercado influye en su configuración	<ul style="list-style-type: none"> • Concepto visual • Color • Relación usuario- tendencia

5.2 REQUERIMIENTOS EXPRESIVO- FORMALES

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO
1. La suela debe ser parte de la identidad del usuario en su aplicación al calzado	El producto está acorde al tipo de calzado al que va dirigido y al usuario final	<ul style="list-style-type: none"> • Función simbólica: Representación formal, significado
2. Debe ser un elemento del calzado que contribuye a la percepción de calidad del producto	La suela como parte exterior del calzado es principal comunicador de las características de valor en el producto	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos formal-estéticos: Acabados superficiales
3. La forma y acabado debe generar la sensación de comodidad y seguridad	El acabado formal comunica visualmente sensaciones de comodidad y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Función simbólica Elementos de diseño y configuración formal: Textura, forma, proporción • Función práctica: funcionalidad
4. La suela es visualmente equilibrada y agradable	La suela presenta equilibrio visual mediante formas proporcionales y geometría continua de los elementos	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de diseño: proporción, simetría, equilibrio

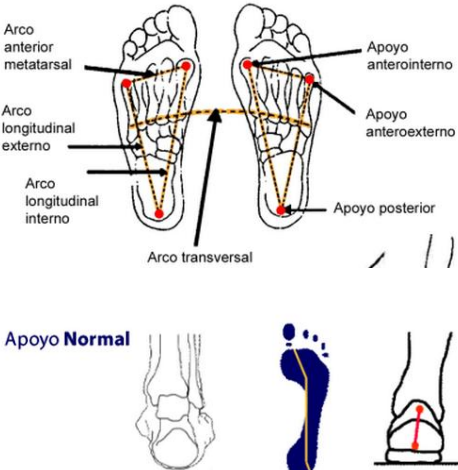

5.3 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

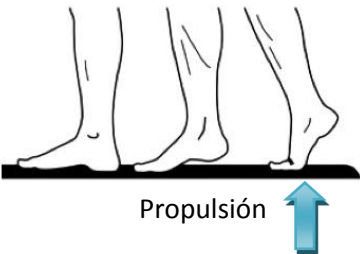
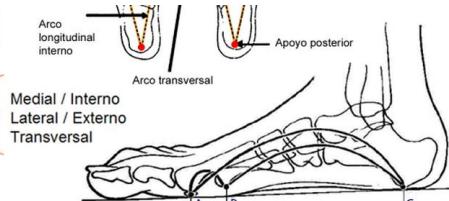
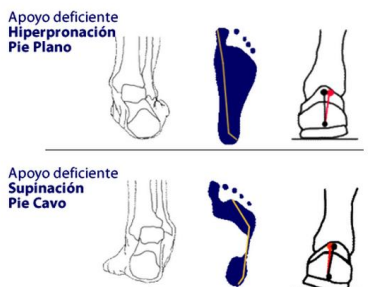
REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO
1. La suela debe adaptarse dimensionalmente a hormas de calzado casual masculino. Superficie plantar de la suela.	El diseño de la suela está directamente relacionado con la horma a partir de la se realizara la aplicación del producto en el calzado. (Ver aspectos sobre el calzado y la horma C. 5.4)	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica: Dimensiones antropométricas
2. Posee una configuración formal que brinda estabilidad al usuario en la marcha y cuando la persona permanece de pie.	Su forma es eficiente en la medida en que cumple en su desempeño, con la función mecánica para la que ha sido diseñada	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica: Relativo al uso del producto
3. El refuerzo de la suela deber	La zona del arco metatarsiana es la que	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de diseño: Coherencia formal,

corresponder principalmente a las zonas críticas de la suela	de mayor flexión durante la marcha y la zona del talón soporta el impacto inicial	proporciones
4. La zona que está en contacto con el suelo debe permitir la fricción necesaria para la correcta sujeción al caminar	El área de contacto, determinada por el diseño de la suela, es uno de los factores de mayor influencia en el comportamiento de los materiales sometidos a fricción: Mayor área de contacto= Mayor coeficiente de fricción	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de diseño: forma, simetría, textura
5. Debe permitir su uso en terrenos variados (hormigón, baldosa, madera)	La configuración formal de la suela no tiene elementos que puedan interferir en la marcha al contacto con suelos variados.	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal • Función práctica de los elementos de diseño: textura, simetría • Geometría de la ubicación de los elementos
6. Las superficies de la suela deben ser continuas	La suela proporciona apoyo a la persona brindando comodidad y procurando la menor sensibilidad de presiones incómodas en el pie	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal • Elementos de diseño: simetría, proporción, gradación de tamaño
7. La matriz y el refuerzo deben permitir el movimiento de flexión en la parte delantera de la suela	Durante la marcha, la suela se somete a flexión continua en la zona metatarsiana. (Ver biomecánica de la marcha C. 5.3)	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica
8. Se recomienda el uso de texturas, extrusiones, dibujos o ranuras, entrantes y salientes en la suela	El uso adecuado de estos elementos mejoran las propiedades de “agarre” al suelo y la dispersión de contaminantes. (Ver recomendaciones generales sobre la suela en calzado sport, C. 5.4.3))	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica • Configuración formal
9. Deben evitarse el uso de rebordes largos y continuos en el área de la suela	Los rebordes largos y continuos pueden actuar como esquíes y provocar	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica • Elementos de diseño: forma, simetría, estructura, repetición, distancias

que está en contacto con el piso	deslizamientos	
10. Los dibujos o extrusiones deben ser mínimo de 3mm de altura y máximo 20mm	Para ambientes urbanos con terrenos variables, es necesario incorporar ranuras, extrusiones y texturas que generen cierta rugosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica • Elementos de diseño: forma, estructura, repetición • Elementos formal- estéticos
11. Los perfiles y bordes deben tener terminaciones cuadradas y bien definidas	Estos perfiles proporcionan más estabilidad en las marcha	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica • Elementos de configuración formal
12. Los canales deben ser mínimo de 2mm de ancho y de profundidad	Canal de 2mm mínimo para dispersión de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Función práctica
13. El borde posterior de la suela debe ser redondeado o con bisel de 20° a 45° y con textura	Mediante el biselado se incrementa la capacidad de rozamiento del calzado en la fase de contacto inicial; este bisel tiene además un efecto reductor de las fuerzas actuantes en el tobillo con el impacto generado por el peso del cuerpo.	<ul style="list-style-type: none"> • Función practica • Elementos de diseño: textura, forma
14. El espesor mínimo de la suela debe estar entre 8 y 10mm	El objetivo de este grosor mínimo es proteger a los pies de agentes lesivos. Debe tenerse en cuenta la necesidad de flexión en la parte delantera	<ul style="list-style-type: none"> • Función practica • Elementos de configuración formal: forma, proporción, tamaño

5.4 REQUERIMIENTOS ERGONÓMICOS

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO
<p>1. Debe mantener la postura de apoyo plantar para un pie normal</p>	<p>El apoyo normal del pie esta dado en dos puntos en la zona metatarsiana del pie, apoyo anterointerno y apoyo anteroexterno; y en la zona calcáneo, apoyo posterior. (Ver Antropometría, huella plantar, C. 5.2.2)</p>	
<p>2. La suela debe permitir un apoyo inicial (posterior) del pie progresivo</p>	<p>En la marcha, el contacto inicial del pie con el suelo se da en el talón mientras el antepié se mantiene elevado para ir descendiendo progresivamente (Ver Biomecánica de la marcha C. 5.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de diseño: forma • Utilización de ángulos en la construcción formal de la suela- zona del talón
<p>3. La suela debe equilibrar el desarrollo del apoyo del pie durante la marcha</p>	<p>De acuerdo a la zona de contacto que se involucran en la marcha, la suela debe brindar estabilidad manteniendo este apoyo (Ver Biomecánica de la marcha C. 5.3)</p>	<p>Aplicación de medidas antropométricas y biomecánica de la marcha</p> 
<p>4. La suela debe adaptarse a las dimensiones antropométricas promedio para hombres con rango de edad entre 17 y 50 años – dimensiones de las hormas para calzado</p>	<p>Las dimensiones de la suela están dadas por los estándares de hormas para diseño de calzado casual masculino. (Ver descripción de la horma C. 5.4)</p>	<p>Req. Funcional 1.</p>

<p>5. La suela debe permitir el movimiento de flexión de los dedos, realizada durante el apoyo final la marcha para la propulsión</p>	<p>(Ver Biomecánica de la marcha C. 5.3)</p>	 <p>Propulsión ↑</p>
<p>6. Se deben preservar los ángulos del pie estático en posición plantar, vista (Ver Biomecánica de la marcha C. 5.3)</p>	<p>El pie estático tiene un ángulo de 90° en posición plantar, vista (Ver Biomecánica de la marcha C. 5.3)</p>	 <p>Arco longitudinal interno / Arco transversal / Apoyo posterior Medial / Interno / Lateral / Externo Transversal</p>
<p>7. La suela debe evitar el apoyo pronación o supinación</p>	<p>Los apoyos tipo pronador o supinador son presentados como apoyos deficientes para el pie plano y el pie cavo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento técnico del material 	 <p>Apoyo deficiente Hiperpronación Pie Plano Apoyo deficiente Supinación Pie Cavo</p>

5.5 REQUERIMIENTOS TÉCNICO- PRODUCTIVOS

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO
<p>1. La fibra de refuerzo y el Caucho termoplástico de la matriz deben conformar la suela mediante el proceso de vulcanización</p>	<p>Los materiales deben tener la sinergia adecuada para su unión; el proceso de fabricación determina las características finales del producto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal: tamaño, posición, simetría • Aspectos técnicos de la matriz TR y de los tejidos de las fibras de refuerzo.
<p>2. El espesor de la suela debe ser mínimo de 3cm</p>	<p>La suela requiere este grosor para permitir que la sinergia entre el refuerzo y la matriz sea la adecuada</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de diseño: forma, simetría, radiación, repetición, gradación de tamaño
<p>3. El tejido de refuerzo de Mimbres y Fique debe procurar no tener partes externas en el borde lateral de</p>	<p>Se debe procurar que el tejido sea interno para evitar filtraciones de humedad en la suela y en el refuerzo.</p>	

la suela		
4. El tejido debe poder ubicarse en las zonas críticas donde la suela presenta más esfuerzos de presión y flexión.	Se deben considerar las zonas críticas de las suelas, zonas donde el esfuerzo del material es mayor durante su uso	
5. El espesor del material de refuerzo esta dado por el tipo de fibra y su tejido	Diseño del material de refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal • Firmeza del tejido
6. La suela debe estar conformada en mayor proporción por el material polimérico de la matriz	El material matriz TR es el principal componente estructural de la suela.	
15. El material matriz debe tener la dureza adecuada para mantener la forma	La suela es un elemento independiente que debe beneficiar el armado del calzado.	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de dureza Shore en caucho: NTC467:2006
7. La suela no debe llevar materiales duros en la zona posterior- talón	El talón de la suela es la primera zona que está en contacto con el suelo durante la marcha y es la que amortigua el impacto del cuerpo con el suelo. (Ver Biomecánica de la marcha C. 5.3)	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento ergonómico.
8. La configuración plantar de la suela debe complementar el coeficiente de fricción del material de la matriz para su uso en espacios urbanos	El material de la matriz debe configurarse formalmente en el diseño de la suela para aportar a la fricción requerida en espacios urbanos	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño controlado de la suela • Aspectos de configuración formal y aplicación de las propiedades del material, caucho termoplastico
9. El material de la matriz debe ser resistente al desgaste provocado por los pavimentos urbanos	El material de la matriz debe ser resistente al desgaste provocado por los pavimentos urbanos	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedad dadas por el material Caucho termoplastico
10. El material de la matriz esta dado por el peso requerido por	En la fabricación de suelas vulcanizadas cada referencia posee	<ul style="list-style-type: none"> • Dado por el diseño de la suela y su configuración formal

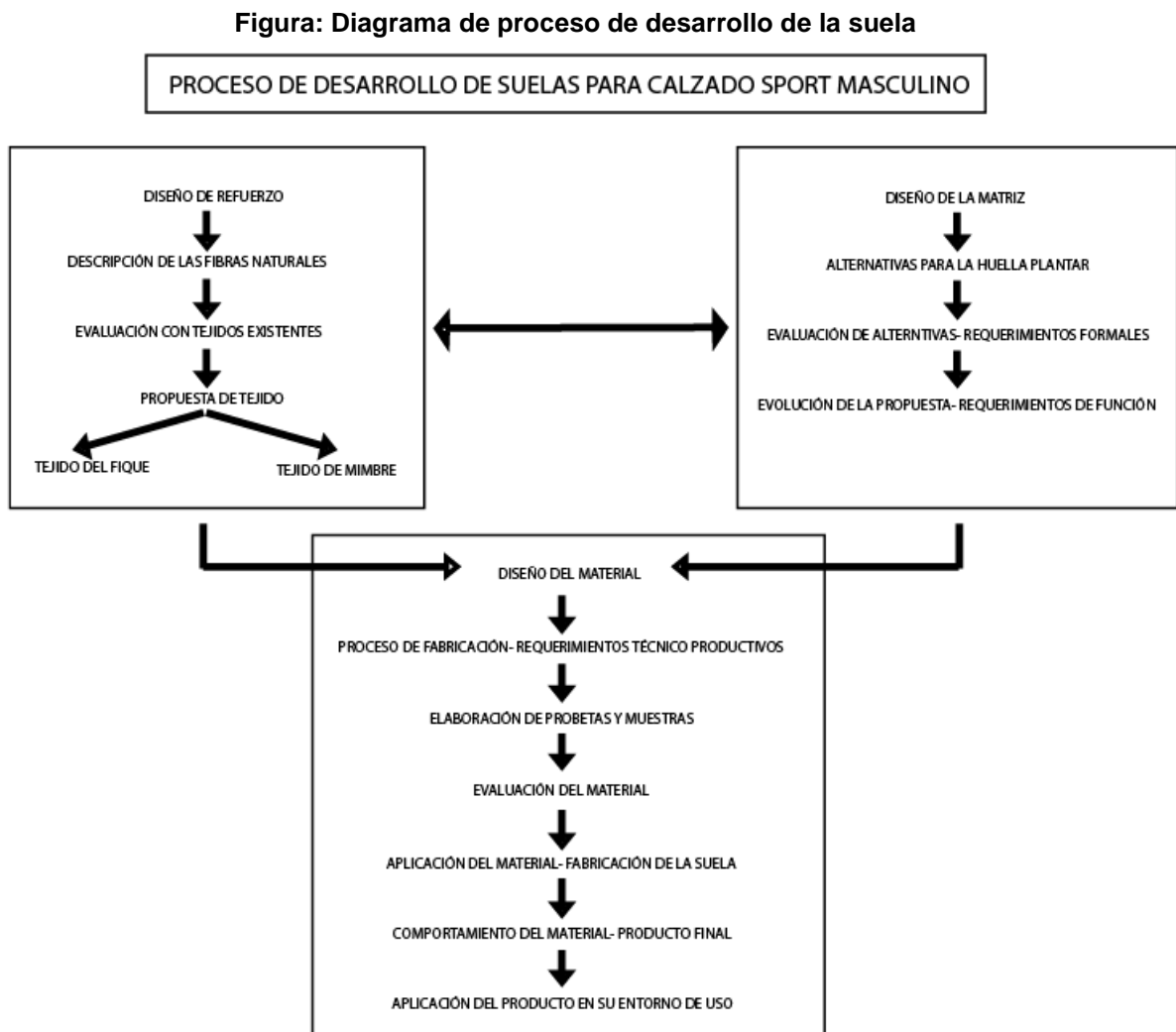
el diseño de la suela	un rango de peso que debe cumplir.	
11. La suela debe soportar esfuerzos de flexión repetida	Requerimiento de función.	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba según la Norma NTC <u>632: 1996, para la medición del deterioro del caucho y crecimiento del corte por medio del aparato de flexión de Ross.</u>
12. El refuerzo debe proporcionar a la matriz resistencia a la tensión y a la flexión de la suela	Durante la flexión en la marcha se producen esfuerzos de tensión en la suela y el refuerzo debe soportar estos esfuerzos continuos	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de resistencia de esfuerzos a la tensión del material compuesto. • Norma ASTM D412- 98^a para ensayos de tensión con caucho vulcanizado y la norma
13. La suela debe manejar texturas o extrusiones con ángulos que no interfieran en el proceso de desmoldado de la suela	Los ángulos cerrados interfieren en el proceso de desmoldado de piezas	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración formal
14. La suela debe en su configuración debe disponer de ahorradores de material	Los ahorradores de material son extrusiones que al mismo tiempo disminuyen el peso de la suela	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento técnico productivo
15. Debe fabricarse un modelo de la suela para la reproducción en un molde para vulcanización	La fabricación de un molde para vulcanización requiere de un modelo exacto de la suela en material resistente a la temperatura de fusión del aluminio 660°C	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales cerámicos: yeso • ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)
16. El molde de la suela debe estar fabricada en aluminio	Material utilizado en la industria	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de fabricación, fundición
17. El molde de aluminio debe tener un acabado continuo sin imperfecciones	El acabado del molde debe ser continuo ya que el material polimérico de la suela copia cada detalle de este durante la vulcanización	

5.6 RESTRICCIONES

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO
1. Tecnológica	Debe tenerse en cuenta la tecnología disponible para la fabricación de suelas en la industria local y para las respectivas comprobaciones de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de fabricación: Vulcanizado • Materiales y herramientas para la fabricación: Prensa para vulcanización, Matriz (molde de aluminio), Caucho TR, Refuerzos de Fique y Mimbre • Laboratorios de resistencia de materiales: prueba de tensión, análisis de dureza Shore A y ensayo de flexión.
2. Regulaciones y estándares	Requisitos para la evaluación del material y el desarrollo de la suela	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba de resistencia a la tracción en cauchos vulcanizados: ASTM D412-98^a • Determinación de Dureza Shore en Caucho: NTC467:2006 • <u>Medición del deterioro del caucho y crecimiento del corte por medio del aparato de flexión de Ross: NTC 632: 1996</u>
3. Relativo al usuario	Condiciones antropométricas promedio en la zona de Bucaramanga	

6 PROPUESTAS DE DISEÑO

Para el proceso de diseño de la suela para calzado casual masculino, se cumple con varias etapas que guían el desarrollo del producto. Estas etapas no están restringidas al orden específico del diagrama, son aspectos que se trabajan paralelamente ya que es un proceso creativo de interacción continua entre etapas de trabajo.



Fuente: Autora del proyecto

La primera etapa del desarrollo de las suelas consiste en la evaluación del material compuesto según las normas establecidas para pruebas de tracción, para el análisis de la resistencia de las fibras a fuerzas externas de tensión y, la determinación de dureza del mismo para su caracterización, este valor de dureza influye en la configuración formal y funcional de la suela al proporcionar información sobre las propiedades del material. La segunda etapa amplía el planteamiento del refuerzo y se evalúa el material en una aplicación concreta de la suela diseñada en paralelo al proceso evaluativo.

6.1 DISEÑO DEL REFUERZO

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, el diseño del refuerzo parte de la utilización de las fibras de mimbre y de fique, de forma que se aprovechen las propiedades de flexibilidad de la fibra y la resistencia mecánica que genera el tejido.

6.1.1 Tejido de Mimbre

La versatilidad del mimbre, permite que esta fibra de origen natural sea empleada en diversas aplicaciones y en diversas configuraciones de grosor y tamaño.

Figura 32: Fibra de Mimbre natural



FIBRAS DE MIMBRE

Longitud: 100 a 400cm

Grosor: 0,12cm

Fuente: Autora del proyecto

La técnica del tejido de mimbres se asocia a la tradicional manufactura de objetos de pequeño formato. El uso de tejidos de esta fibra en la suela, plantea otra alternativa de uso para estas y se centra en el desarrollo de un material compuesto y el aporte que el tejido puede brindar a las propiedades mecánicas del material matriz de la suela. El costo de la fibra tejida oscila entre \$40000 y \$45000 con dimensiones de 50x 100cm, presentación comercial; el costo de las fibras sin tejer es de \$60000 la libra con las dimensiones que se presentan en la Figura 32.

Figura 33: Técnica tradicional de tejido, tejido manual



TÉCNICA

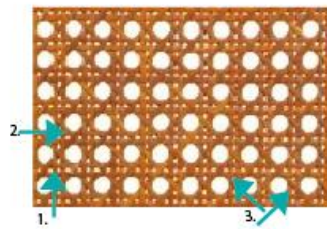
La realización del tejido tradicional para la fabricación de objetos de pequeña escala y mobiliario, se realiza manualmente.

Fuente: Autora del proyecto

6.1.1.1 Tipos de tejido

Con las fibras de Mimbres pueden construirse formas con varios grados de complejidad y resistentes a partir de la flexibilidad de la fibra y la rigidez que proporciona el tejido. La primera muestra para la evaluación del material compuesto se basa en los tejidos existentes; el objetivo es evaluar el comportamiento del material matriz, caucho termoplástico con el refuerzo.

Figura 34: Tipos de tejido de Mimbre



Octogonal

Este tejido forma octógonos al entretejer filas dobles horizontales y verticales de la fibra (1. y 2.); posteriormente, se tejen fibras en diagonal equidistantes (3.) que se intercalan por encima y por debajo de las fibras dispuestas perpendicularmente.



Tejido por niveles

Tejido formado a partir del tejido de las fibras en forma perpendicular; el proceso de construcción de la forma comienza con las fibras atadas a dos de los lados del marco (en forma de el); a partir de estas se tejen una sobre otra de dos en dos, cambiando de orden en cada nivel.



Diagonales

Tejido formado tejiendo las fibras en diagonales; se intercalan una sobre otra, de dos en dos.



Diagonales

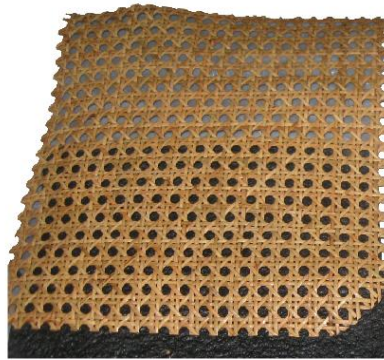
Tejido formado tejiendo las fibras en diagonales; se intercalan una sobre otra, de dos en dos.

Fuente: Recopilación del autor

6.1.1.2 Primera muestra de mimbre

Las primeras muestras para evaluación del material compuesto se realizan con el tejido octogonal, este tejido se caracteriza por el uso de las fibras entrecruzadas perpendicularmente y al mismo tiempo, fibras sencillas se tejen en diagonales. De acuerdo con los requerimientos de las suelas, el refuerzo debe permitir la integración de la fibra y la matriz, en el tejido octogonal, el caucho termoplástico puede penetrar el tejido y de esta forma mantener la sinergia entre los materiales.

Figura 35: Tejido de mimbre, primera muestra



Tejido Octagonal

Tapete para primeras muestras del material compuesto.

Dimensiones: 20 x 20cm

Peso: 20g

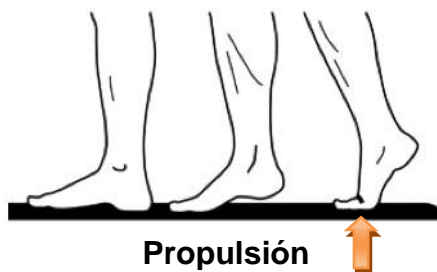
Fuente: Autora del proyecto

La elaboración de las muestras para la evaluación del refuerzo junto con la matriz de caucho, se define en el capítulo siguiente; en este capítulo se describen las especificaciones de los materiales y la configuración de estos, que convergen posteriormente en su aplicación en el diseño de la suela.

6.1.1.3 Planteamiento del tejido- Segunda muestra de mimbre

La base para el planteamiento del tejido radica en la atención a los requerimientos de función y formales de la suela principalmente, que esta debe permitir el movimiento de flexión en la zonta metatarsiana del pie, realizada en la fase de propulsión de la marcha como se muestra en la imagen y como se indico en los aspectos humanos relacionados con el diseño de la suela.

Figura 36: Etapa de propulsión de la marcha



Fuente: Fuente: Pie y postura. Diagnostic Support

En la suela la zona de flexión se involucra toda la zona metatarsiana; en este punto debe centrarse el tejido ya que en la zona de los arcos, externo e interno, la suela no es sometida a esfuerzos como los que se mencionan.

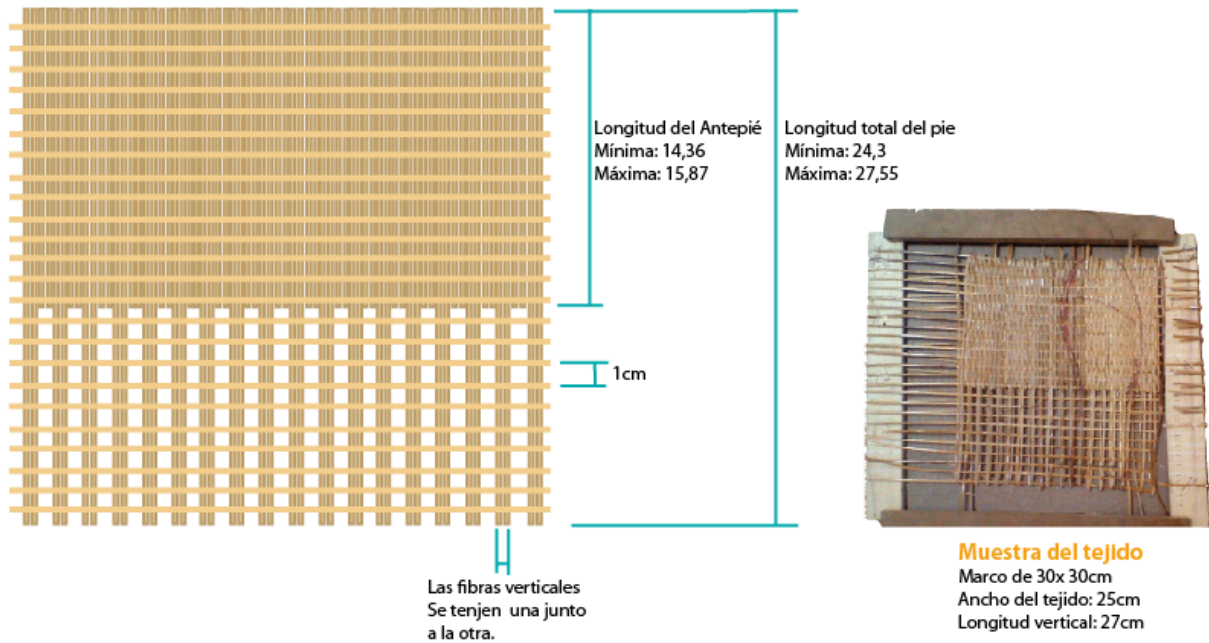
Figura 37: División del pie en zonas de trabajo



Fuente: Autora del proyecto

La construcción del tejido se realiza en un marco de madera de 30x30cm sobre el cual se sujetan las fibras de mimbre. Este tejido está formado por filas horizontales de mimbre, ubicadas a 1cm de distancia cada una; posteriormente, se entrecruzan las fibras verticales intercalando una fila horizontal por encima y la siguiente por debajo. Cada dos filas verticales, se tejen las dos siguientes hasta el fin de la zona metatarsiana; dicha distancia está dada por las tallas para el calzado, definidas en la medida de la horma (Tabla6). Esta disposición hace que el tejido sea más denso en la zona de mayor esfuerzo a flexión y en la zona del talón y la parte media de la suela, el tejido tiene más espacios entre fibras.

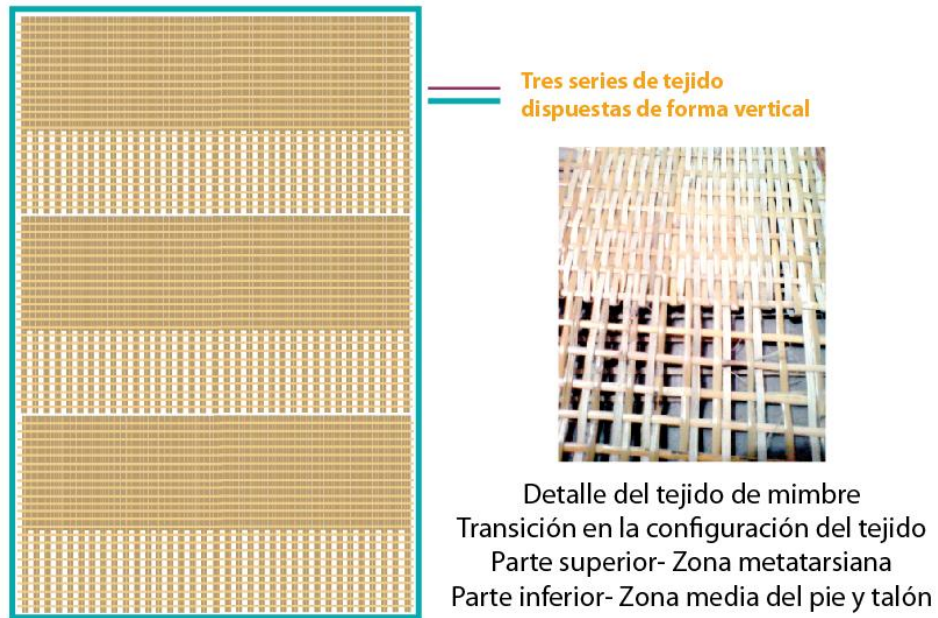
Figura 38: Propuesta de tejido de Mimbre



Fuente: Autora del proyecto

Las dimensiones de la muestra que se presenta en la imagen del tejido fabricado en el marco de 30x 30cm permite extraer un par de plantillas para la suela. Para la fabricación del tejido en mayores dimensiones, se deben mantener las longitudes mínimas del antepié y la longitud total del pie, para la extracción de mas plantillas debe aumentarse la longitud horizontal del tejido o repetir la sección que se muestra en la imagen de forma vertical.

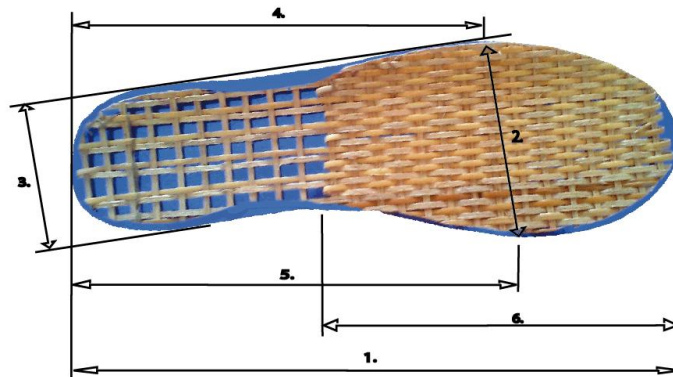
Figura 39: Planteamiento de tejido para la extracción de varias plantillas



Fuente: Autora del proyecto

La forma parte de la plantilla para una horma talla 38; se debe tener en cuenta un margen de corrección entre las medidas definidas en los datos antropométricos y las medidas de la horma que se escogió para el calzado sport masculino. En la zona de los arcos externo e interno, la plantilla posee una curvatura a ambos lados que genera un cuello entre la zona metatarsiana y el talón.

Figura 40: Corte de la plantilla – Refuerzo de tejido de Mimbre



Fuente: Autora del proyecto

Tabla 7: Longitudes para la plantilla de refuerzo

LONGITUDES ZONA PLANTAR DE HORMA TALLA 38		
Medida	Según datos antropométricos (Pág. 71)	Corrección según Horma
1. Longitud calzable	24,3	24,7
Ancho de las articulaciones	9,19	9,5
Ancho del talón	6,28	7
Longitud del talón al flanco exterior	15,92	15,5
Longitud del talón al flanco interior	18,3	18
Longitud antepié	14,36	14,3

Fuente: FLÓREZ, Claudia; ESPINEL, Francisco. 2012

El corte de la plantilla se realiza de manera manual con una holgura de 1cm por debajo de las medidas de corrección de la horma. Este es un aspecto importante en la caracterización del tejido, ya que de acuerdo con el requerimiento de función del refuerzo, este debe evitar que las terminaciones de las fibras queden hacia el exterior de la suela para evitar la filtración de humedad.

6.1.2 Tejido de Fique

Al igual que el mimbre, el fique es una fibra con diferentes aplicaciones, son fibras finas que se fortalecen al ser tejidas aportando propiedades de resistencia mecánica y versatilidad formal a productos de diferentes configuraciones de tamaño. El costo del fique es de aproximadamente \$1300 a \$1700 el kilo¹¹.

11. CRUZ H., Daniel. Ingeniero STN CADEFIQUE. Colombia. 2008

Los tejidos de fique son elaborados por diferentes métodos según su aplicación. El telar, semicircular o rectilíneo, es una herramienta de madera utilizada tradicionalmente para el tejido de tapetes y costales de fique, para productos de marroquinería y de pequeña escala, se utiliza la técnica de tejido con aguja de crochet o ganchillo que van enumeradas de 0 a 12 según el calibre de la fibra; y la técnica de dos agujas que varían su grosor según el tipo de tejido y también del calibre de la fibra¹². Para la configuración del material compuesto planteado en este proyecto, se toma como punto de partida el tejido fabricado con la técnica del telar, tradicional y al mismo tiempo disponible en el mercado.

6.1.2.1 Primera muestra de fique

Las muestras para la evaluación del material compuesto se realizan con el tejido de fique en forma de malla, estas son elaboradas a partir de la tela de fique que se muestra a continuación.

Figura 41: Tejido de Fique- Primera muestra



Fuente: Autora del proyecto

12. ARTESANIAS DE COLOMBIA S.A. Diagnostico de calidad Oficio artesanal, Tejeduría en fique.

El tejido de fique debe permitir la sinergia requerida entre las fibras y la matriz de caucho termoplástico; la ventaja de este tejido es que las fibras son delgadas y la maya generada por el tejido permite el paso del material matriz a través de las fibras tejidas. Al igual que con el tejido de mimbre, las especificaciones sobre la elaboración de las muestras de material compuesto y su evaluación se describen en el capítulo siguiente; antes de esto se realiza una descripción de la propuesta de tejido que converge posteriormente en su aplicación en el diseño de la suela.

6.1.2.2 Planteamiento del tejido- Segunda muestra de fique

El principio para la generación del tejido parte de los requerimientos de función y formales de la suela principalmente, el movimiento de flexión que debe permitirse en la zonta metatarsiana del pie, realizada en la fase de propulsión de la marcha como se indico en el planteamiento del tejido de mimbre.

Figura 42: Alternativa de prueba- tejido de Fique



Primer planteamiento del tejido de fique

Sobre la silueta de la huella plantar del pie se trabajan opciones de tejido con el fique. Se teje la fibra sobre un marco de cartón; la realización de estos modelos a escala real permiten observar la ubicación de las fibras sobre la zona del pie en la que se enfoca el tejido.

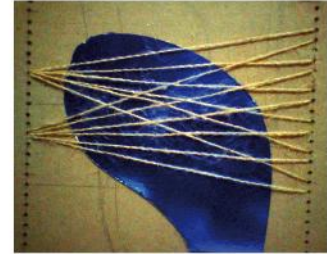
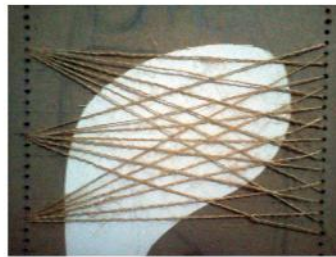
Fuente: Autora del proyecto

La zona de mayor flexión durante la marcha es el área metatarsiana del pie (Figura 37), la construcción del tejido de fique se centra en este aspecto a partir del cual se construyen modelos para definir la configuración del tejido y la forma de fabricación de este.

Figura 43: Alternativa de prueba- tejido de fique

Estructura radial

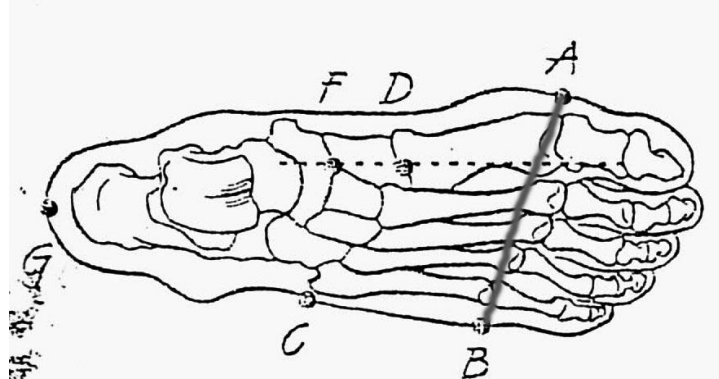
La dirección de las fibras se define con la radiación de cada fibra dentro de un cuadro imaginario ubicado en la zona matatarsiana del pie. A partir de tres puntos se tejen las fibras cubriendo la zona.



Fuente: Autora del proyecto

Con la realización de los modelos de prueba, se observa que uno de los conceptos que se requiere en el diseño del tejido, es la simetría respecto a un eje vertical central en la huella plantar, se habla entonces de un requerimiento de función para el tejido, ya que la zona donde se ubica el tejido, abarca más del 50% de la suela, longitud del antepié, y la flexión se realiza en un eje horizontal, sobre la línea de los metatarsos lo que requiere que toda la zona sea uniforme.

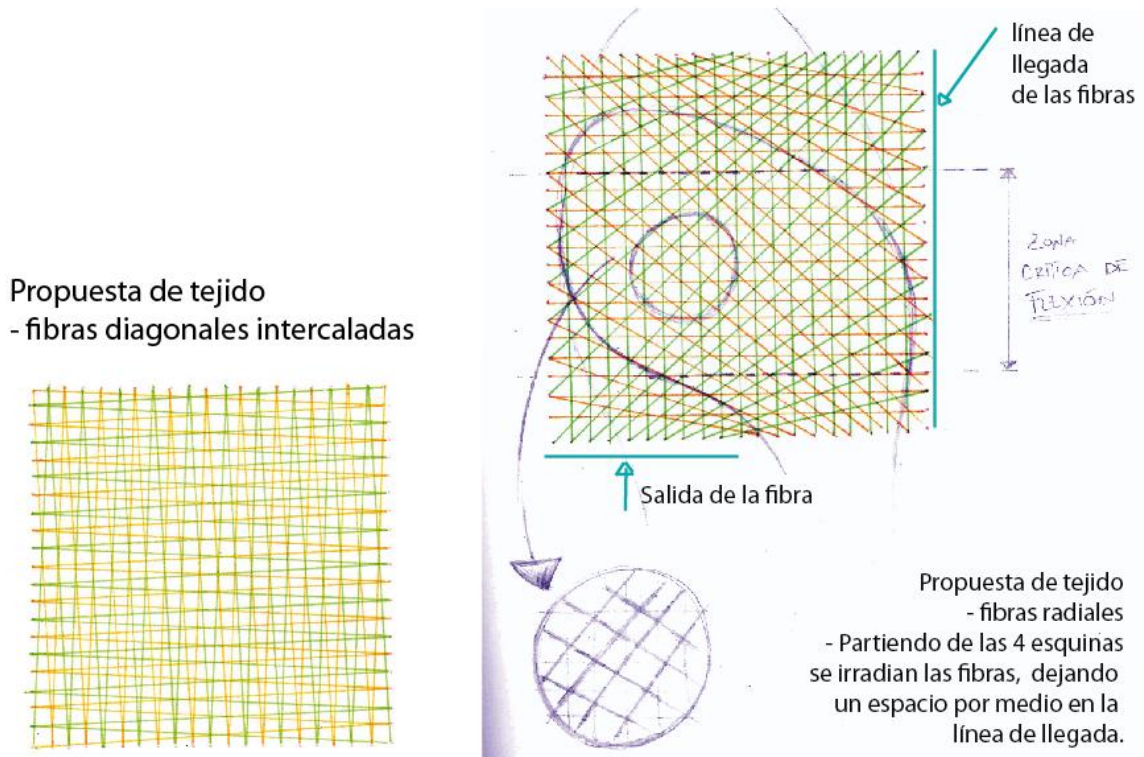
Figura 44: Eje de flexión metatarsiana - Ancho de las articulaciones



Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995

Con base en las observaciones hechas en el desarrollo del tejido se generan alternativas bidimensionales para el tejido. La idea parte de la utilización de las fibras de fique para crear una malla simétrica.

Figura 45: Propuesta bidimensional de tejido

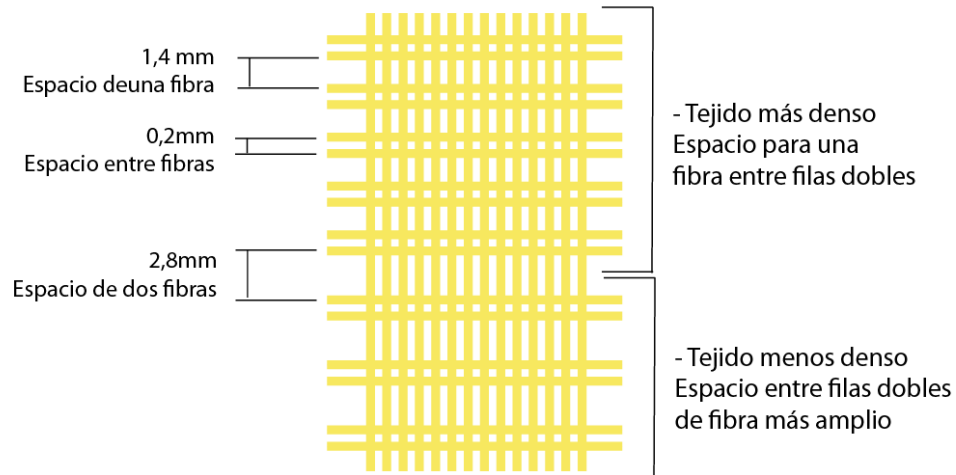


Fuente: Autora del proyecto

Para la estructuración formal, se aplican las ideas a la zona de trabajo de la huella plantar que se ha establecido. Posteriormente, con la construcción de este tipo de tejido se generan inconvenientes al no permitir una construcción controlada de la malla, las fibras al estar dispuestas de forma diagonal no pueden superponerse e intercalarse de manera regular, lo que genera zonas de desequilibrio formal del tejido y áreas donde las fibras no mantienen una dirección definida por el entrecruzamiento. La evolución en el tejido que se plantea, genera un acercamiento a los conceptos que guían el desarrollo de la forma, el objetivo es que el tejido mantenga una simetría y

que en su disposición sobre la huella plantar puedan diferenciarse las zonas de trabajo del pie. Los conceptos de diseño que predominan en la propuesta son superposición, intersección lineal, distanciamiento, simetría y gradación aplicada a la variación en la continuidad de las fibras.

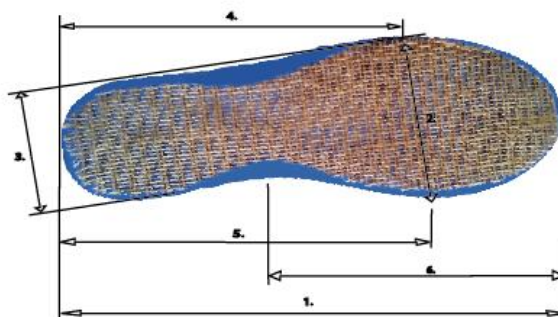
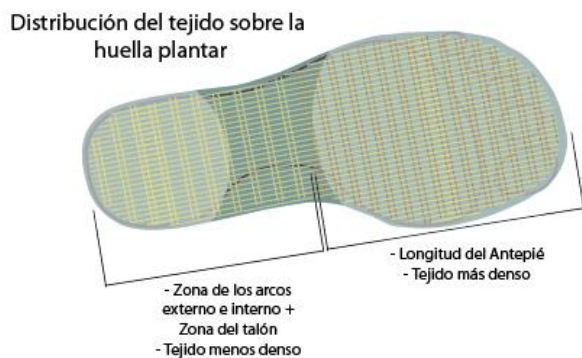
Figura 46: Propuesta de tejido de Figue- Ubicación de las fibras



Fuente: Autora del proyecto

Se elabora el tejido a partir de la tela de mimbre con la que se realizaron las primeras muestras; de esta se eliminan fibras para generar los espacios descritos en la propuesta y se cortan las plantillas de acuerdo a las medidas plantares para la horma talla 38.

Figura 47: Distribución del refuerzo sobre la huella plantar



Dimensiones para la plantilla de fique

Fuente: Autora del proyecto

Tabla 8: Longitudes para la plantilla de refuerzo

LONGITUDES ZONA PLANTAR DE HORMA TALLA 38

Medida	Según datos antropométricos (Pág. 71)	Corrección según Horma
1. Longitud calzable	24,3	24,7
Ancho de las articulaciones	9,19	9,5
Ancho del talón	6,28	7
Longitud del talón al flanco exterior	15,92	15,5
Longitud del talón al flanco interior	18,3	18
Longitud antepié	14,36	14,3

Fuente: FLÓREZ, Claudia; ESPINEL, Francisco. 2012

6.2 DISEÑO DE LA MATRIZ

El diseño de la matriz parte de la conceptualización de los requerimientos formales y de función definidos para la suela de calzado sport masculino. Se ha determinado que el punto de partida para el diseño de la suela es el área plantar de la horma; con esta se desarrollan los aspectos que por medio de la construcción formal dan origen a las propuestas de diseño. En el diseño del refuerzo, se muestran las medidas del área plantar de la horma escogida para la suela que se va a desarrollar y se mantienen en la generación de la matriz.

Figura 48: Puntera para la propuesta de diseño



Fuente: IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. 1995- Autora del proyecto

Las propuestas de diseño para la huella de la suela se basan en el análisis de elementos formales de las formaciones rocosas del Parque “Área Natural Única Los Estoraques” ubicada en el departamento de Norte de Santander cerca del municipio de la Playa de Belén y de la Ciudad de Ocaña. En esta Reserva Natural Nacional, se observan características de desierto producidas por la erosión acelerada y formaciones rocosas milenarias que han sido formadas por el viento y el agua. Se destacan cuevas, altas columnas rocosas y una vegetación de bosque seco y varias especies de aves y reptiles. Se plantean a partir de este análisis, tres conceptos formales para la suela de calzado sport masculino.

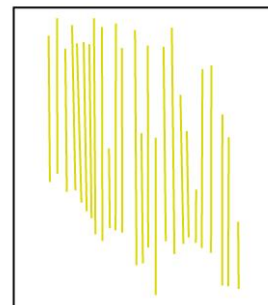
6.2.1 Propuesta 1.

El concepto de esta propuesta se basa en el crecimiento aleatorio de las formaciones rocosas, pueden definirse líneas totalmente rectas que forman columnas.

Figura 49: Concepto- Propuesta 1



Geometrización de la imagen
Líneas de crecimiento- Columnas de roca

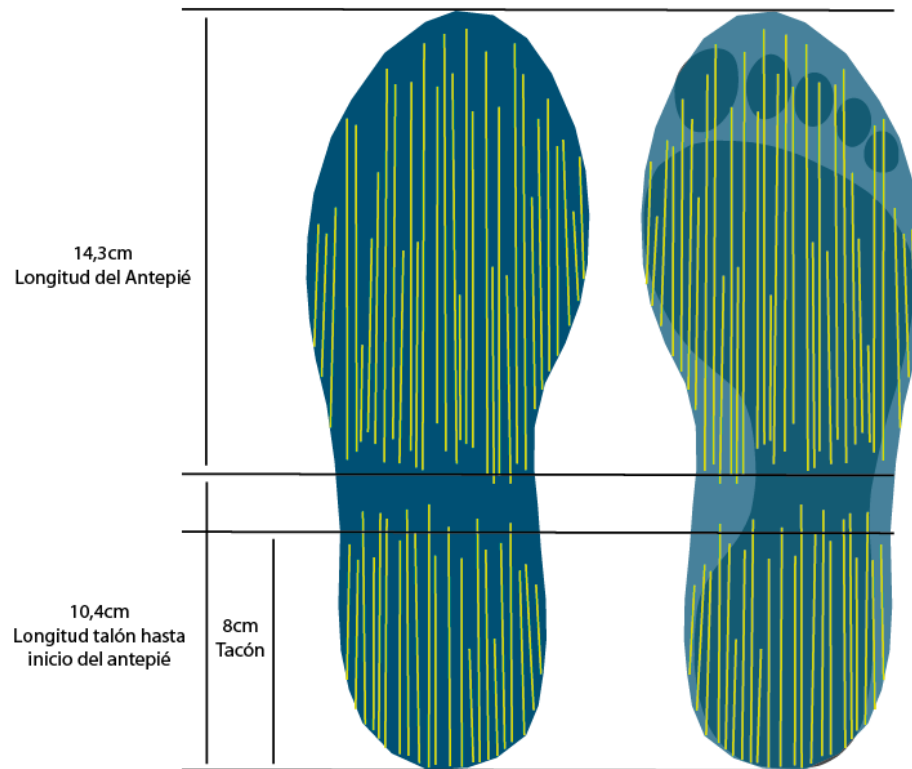


Líneas de abstracción
Crecimiento aleatorio

Fuente: Autora del proyecto

En esta propuesta, se distribuyen las líneas de abstracción sobre la zona plantar del pie manteniendo el concepto aleatorio en su ubicación. Se repite el modulo dividiendo la suela en dos secciones, antepié y el área del talón hasta el inicio del antepié.

Figura 50: Propuesta bidimensional 1.



Fuente: Autora del proyecto

El cierre en varios grupos de líneas de construcción genera volúmenes que se extraen de la base de la suela para conformar los relieves para la textura que está en contacto con el suelo.

Figura 51: Aspectos de la configuración formal



Fuente: Autora del proyecto

El modelo del concepto anterior se plantea con el uso de las fibras en la parte interna de la matriz; se ubican dos capas de caucho termoplástico ubicando el tejido en medio de estas.

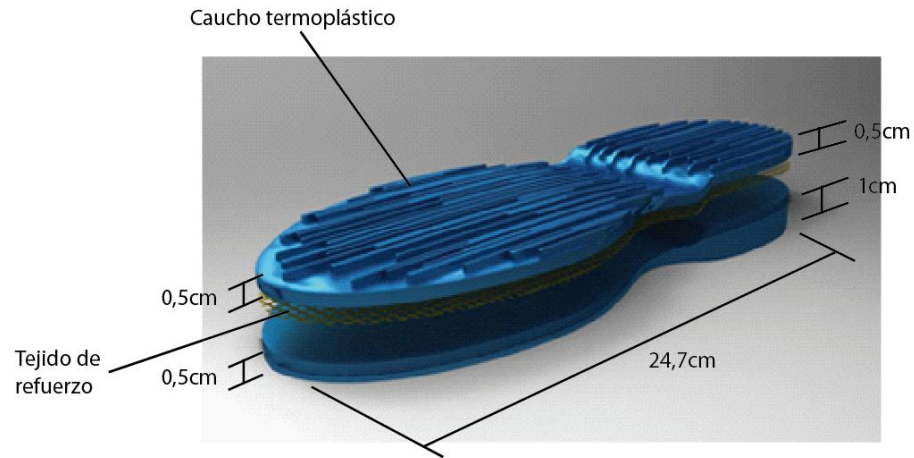
Figura 52: Concepto 1- Líneas Estoraques



Fuente: Autora del Proyecto

- Estructura formal: una vez definida la forma bidimensional se establecen según la función las zonas que corresponden a altos y bajos relieves, el objetivo de este concepto es el crecimiento lineal de la forma. Los conceptos básicos que predominan en la propuesta final son superposición, distanciamiento y gradación que hacen que la composición sea equilibrada.

Figura 53: Dimensiones y organización de los materiales de la propuesta 1.

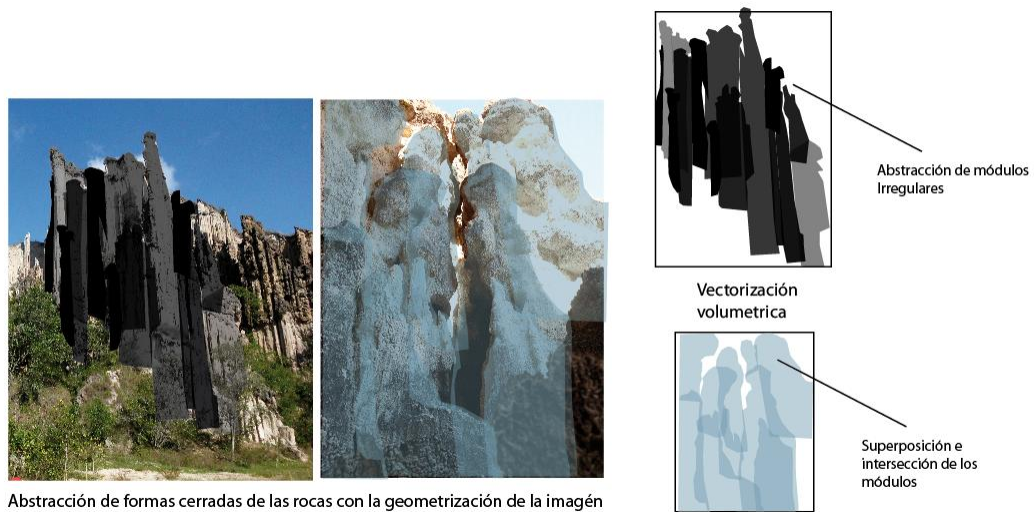


Fuente: Autora del proyecto

6.2.2 Propuesta 2.

El concepto de esta propuesta está dado por las formas que se superponen en las rocas erosionadas de los Estoraques, se observan volúmenes que se superponen organizándose de forma creciente.

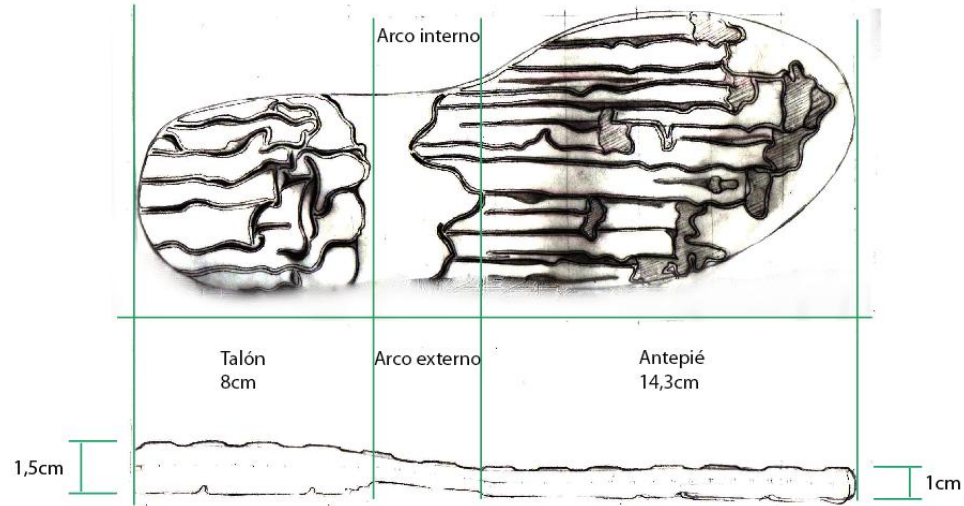
Figura 54: Concepto- Propuesta 2.



Fuente: Autora del proyecto

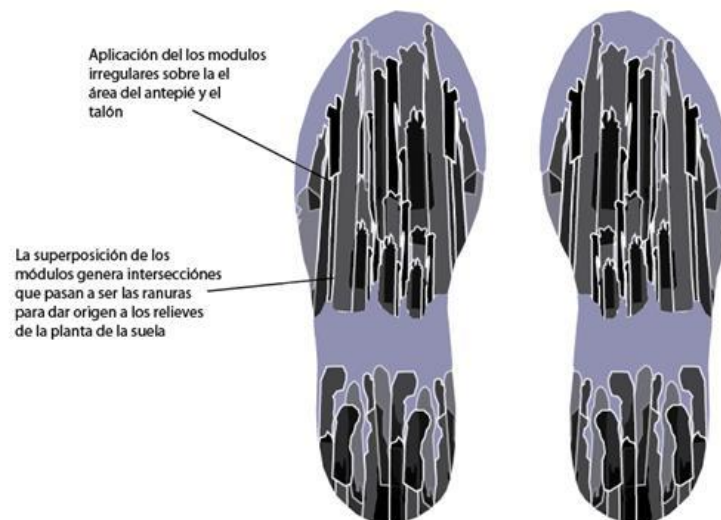
- Estructura formal: una vez definidos los módulos irregulares, a partir de la abstracción de la geometría, se crea sobre la superficie plantar una silueta con base en conceptos básicos de continuidad de forma, intersección y superposición para generar la huella plantar.

Figura 55: Distribución de forma en la suela



Fuente: Autora del proyecto

Figura 56: Propuesta bidimensional 2.



Fuente: Autora del proyecto

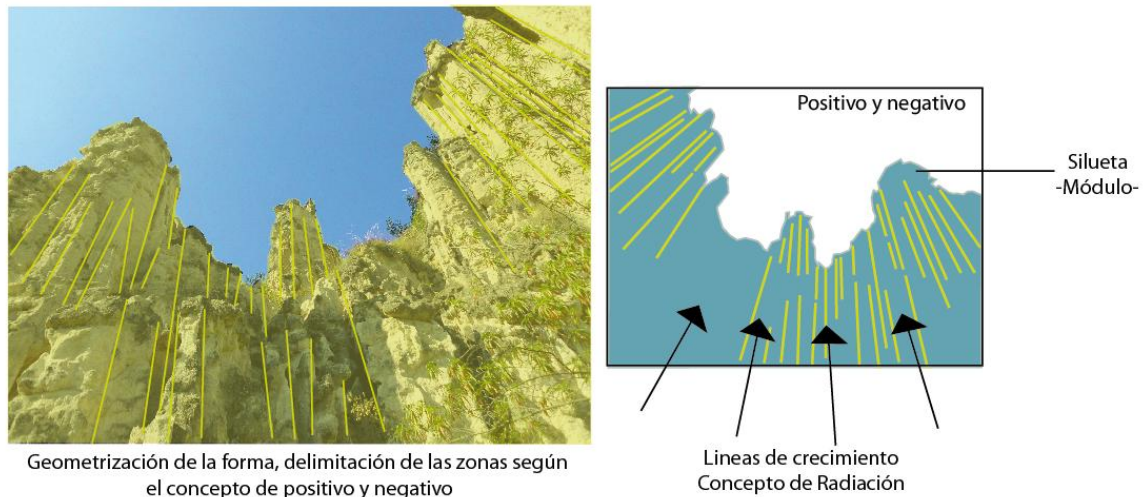
El concepto de diseño que predomina en la composición es la irregularidad de forma pero que presentan una continuidad al ser ubicadas por superposición. El tamaño y la ubicación de los módulos obedece a razones funcionales, estos están dispuestos de tal manera que se delimiten las zonas del antepié y el talón.

La elaboración de la suela con esta propuesta, mantiene el principio de doble capa de material termoplástico y la ubicación del tejido de refuerzo en medio de estas.

6.2.3 Propuesta 3.

La propuesta 3 se basa en el concepto de silueta y perspectiva creado a partir de una fotografía de las formaciones rocosas de los Estoraques; el ángulo de esta permite definir la silueta de las rocas y pueden observarse también las líneas que direccionan la perspectiva generando un foco radial en la imagen.

Figura 57: Concepto – Propuesta 3.

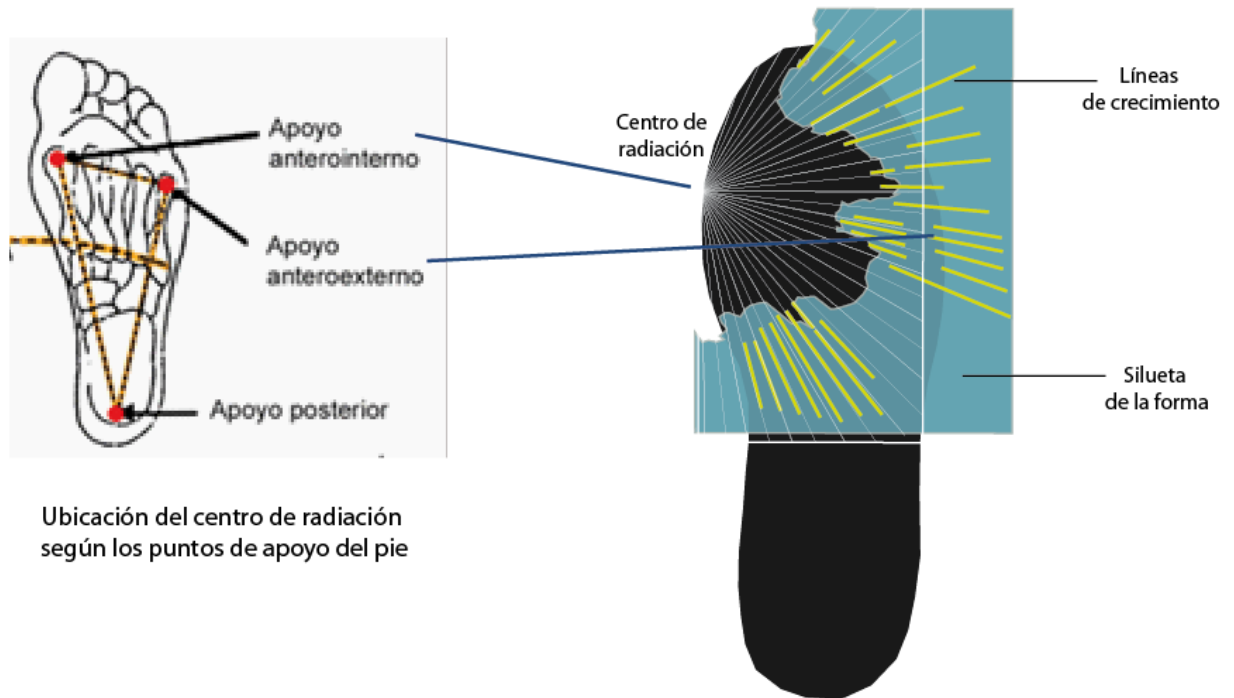


Fuente: Autora del proyecto

El pie como estructura de soporte, posee tres puntos de apoyo que se han explicado anteriormente; para la conceptualización de la forma se aplica entonces, el principio de

radiación del módulo generado por la forma de la silueta, esta ubicación sigue una razón funcional ya que se construye la forma de manera controlada con la ubicación de estos puntos.

Figura 58: Distribución de la forma según puntos de apoyo del pie



Fuente: Autora del proyecto

A partir de esta ubicación sobre el área plantar, se genera la forma en positivo y negativo, la cual pasa a ser base para la elaboración de la propuesta.

Figura 59: Módulos de construcción formal



Con la ubicación del módulo sobre el área del antepié se genera la forma en positivo y negativo

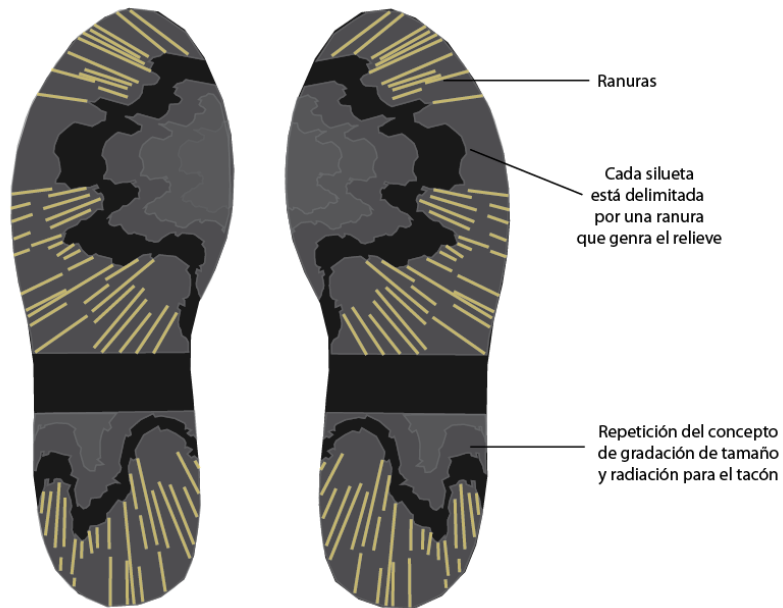


Con la gradación de tamaño del modulo en positivo, se puede obtener un modulo de menor proporción que se ubica en el punto de apoyo del flanco interior y punto de radiación de la forma

Fuente: Autora del proyecto

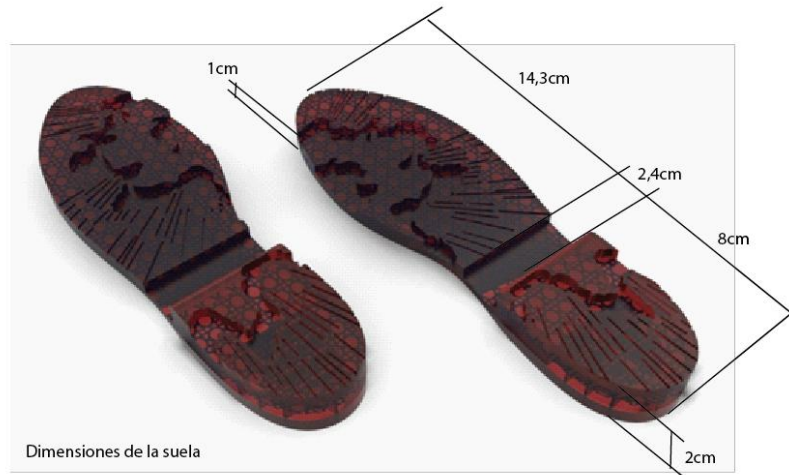
Con la aplicación del mismo concepto de positivo y negativo, y la generación de líneas de radiación, se completa la configuración de la suela, se aplican estas formas en la zona del talón de la suela.

Figura 60: Detalle de la propuesta



Fuente: Autora del proyecto

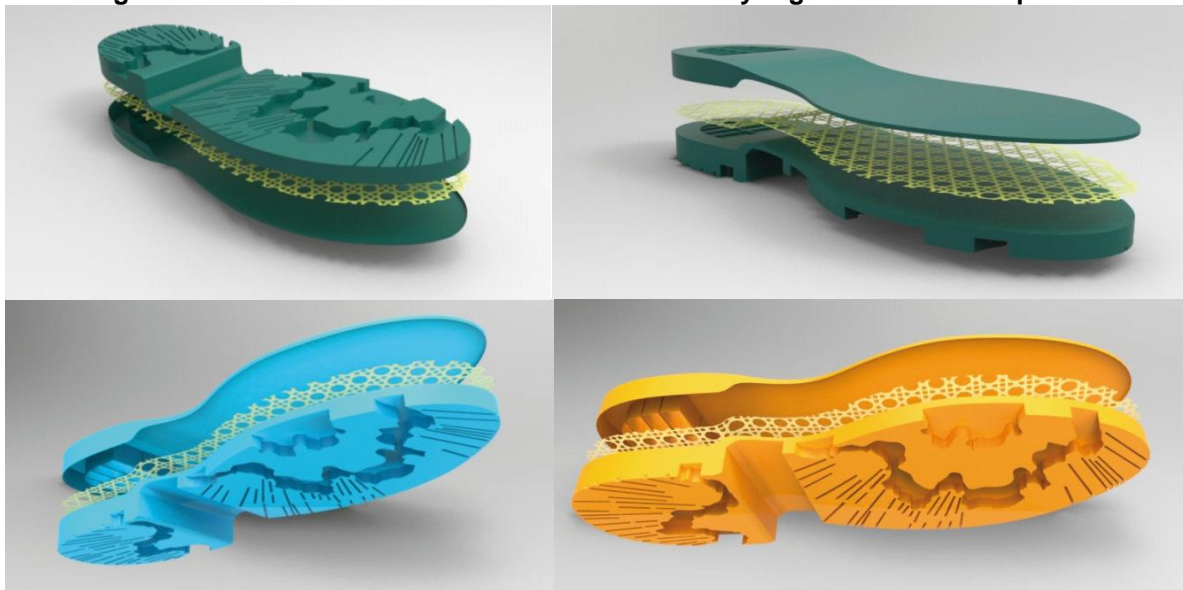
Figura 61: Concepto 3- Silueta Estoraques



Fuente: Autora del proyecto

El refuerzo de la matriz es ubicado según lo propuesto en las alternativas anteriores y las dimensiones del material termoplástico se mantienen.

Figura 62: Suela3 Reforzada. Alternativas de color y organización de las partes



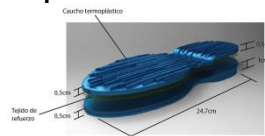

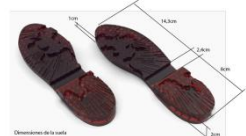
Fuente: Autora del proyecto

7 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En todo proceso de diseño es importante realizar una evaluación de las propuestas ya que a partir de los resultados obtenidos, se realiza el desarrollo de la propuesta de diseño.

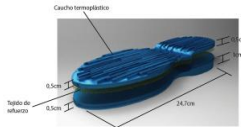


En esta etapa se realiza una evaluación respecto a los requerimientos formal estéticos y funcionales planteados, ya que las propuestas planteadas son conceptos de la forma y la constitución de huella plantar de la suela. Los conceptos son evaluados bajo una puntuación que establece el nivel de cumplimiento que cada alternativa tiene respecto a los requerimientos; esta puntuación es de 1 a 3, siendo 1 el menor nivel de cumplimiento y 3 el máximo valor; NA significa que el requerimiento No aplica, no puede ser evaluado formalmente; posteriormente el valor acumulado de cada propuesta define cual de los conceptos formales tiene una configuración más adecuada para la función de la suela. A continuación se presentan las tablas de evaluación y una grafica del acumulado para cada alternativa.

Tabla 9: Evaluación según requerimientos de función

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS			
REQUERIMIENTO DE FUNCIÓN	Propuesta 1. 	Propuesta 2. 	Propuesta 3. 
1. La suela debe adaptarse dimensionalmente a hormas de calzado casual masculino. Superficie plantar de la suela.	3	3	3
2. Posee una configuración formal que brinda estabilidad al usuario en la marcha y cuando la persona permanece de pie.	2	2	2
3. El refuerzo de la suela deber corresponder principalmente a las zonas críticas de la suela	NA	NA	NA

4. La zona que está en contacto con el suelo debe permitir la fricción necesaria para la correcta sujeción al caminar	1	2	3
5. Debe permitir su uso en terrenos variados (hormigón, baldosa, madera)	1	2	2
7. La matriz y el refuerzo deben permitir el movimiento de flexión en la parte delantera de la suela	NA	NA	NA
8. La suela debe poseer texturas, extrusiones, dibujos o ranuras, entrantes y salientes en la suela	3	3	3
9. Deben evitarse el uso de rebordes largos y continuos en el área de la suela que está en contacto con el piso	1	2	3
11. Los perfiles y bordes deben tener terminaciones cuadradas y bien definidas	3	2	3
12. Los canales deben ser mínimo de 2mm de ancho y de profundidad	3	3	3
13. El borde posterior de la suela debe ser redondeado o con bisel de 20° a 45° y con textura	2	2	2
14. El espesor mínimo de la suela debe estar entre 8 y 10mm	3	3	3
TOTAL:	22	24	27

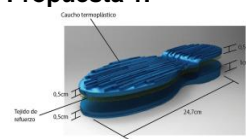


Tabla 10: Evaluación según requerimientos expresivo-formales

REQUERIMIENTOS EXPRESIVO- FORMALS	Propuesta 1. 	Propuesta 2. 	Propuesta 3. 
1. La suela debe ser parte de la identidad del usuario en su aplicación al calzado	3	3	3
2. Debe ser un elemento del calzado que contribuye a la percepción de calidad del producto	3	3	3
3. La forma y acabado debe generar la sensación de comodidad y seguridad	1	2	2

4. La suela es visualmente equilibrada y agradable	2	3	3
TOTAL:	9	11	11

Fuente: Autora del proyecto

Tabla 11: Evaluación según requerimientos formal- estéticos

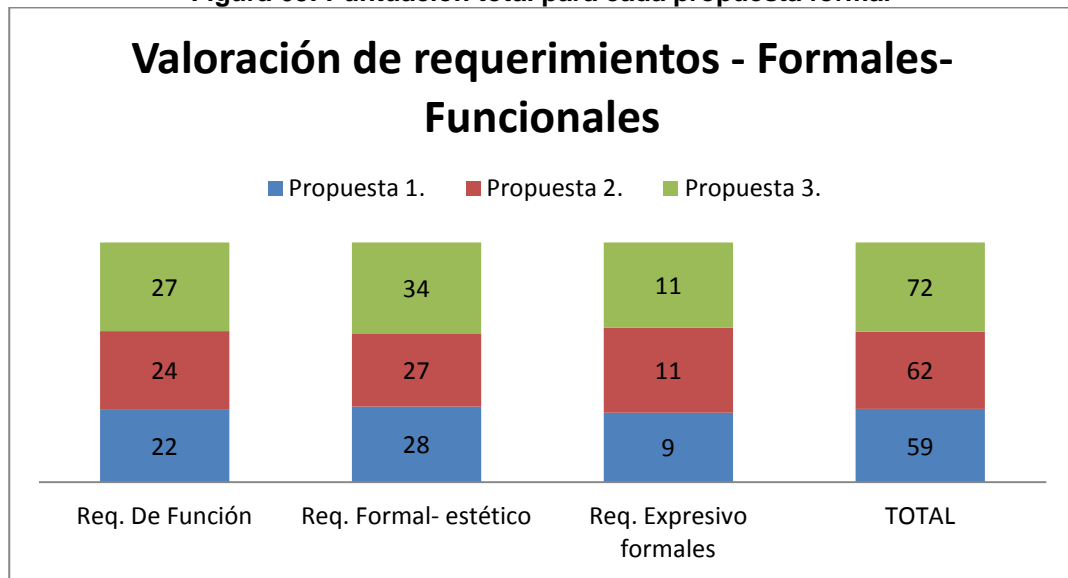
REQUERIMIENTO FORMAL- ESTÉTICOS	Propuesta 1. 	Propuesta 2. 	Propuesta 3. 
1. Debe tenerse en cuenta la superficie plantar de la horma para la ubicación del refuerzo y la configuración de la matriz.	3	3	3
2. Evitar el uso de rebordes largos y continuos	1	2	3
3. Se recomienda el uso de biselado en la parte trasera del tacón e incorporar textura en este.	2	2	2
4. Las áreas cerradas pueden actuar como depósitos de contaminantes	2	1	3
5. Usar formas texturas y extrusiones que generen zonas de fricción	2	2	2
6. Los perfiles y bordes deben tener terminaciones cuadradas y bien definidas	3	2	3
7. Debe tener canales que generen una textura en la zona de la suela que está en contacto con el suelo	1	1	2
8. El borde del talón debe ser redondeado y con textura	2	2	

9. Debe considerarse un espesor mínimo de suela entre 8 y 10mm dependiendo de las características del material.	3	3	3
10. El grosor de la parte delantera debe preservar la flexibilidad de la suela	3	3	3
11. Las extrusiones, texturas o tacos deben ubicarse en diferentes direcciones manteniendo al mismo tiempo el equilibrio visual	1	1	3
12. Debe haber coherencia entre la geometría de la suela y el área reforzada de la suela	2	2	2
13. El color de la suela debe ser dado por la tendencia y de acuerdo al usuario final del producto	3	3	3
TOTAL:	28	27	34

Fuente: Autora del proyecto

El cumplimiento de los requerimientos formales está directamente relacionados con la funcionalidad de la propuesta ya que, cada configuración determina el nivel de confort que brindará la suela; se define el confort como el nivel de satisfacción que experimenta la persona en el desarrollo de una actividad o el uso de un producto, respecto a esto, en los conceptos formales, la capacidad comunicativa del objeto con respecto a su finalidad se asocia con el nivel de satisfacción de las propuestas.

Figura 63: Puntuación total para cada propuesta formal



Fuente: Autora del proyecto

De acuerdo a la valoración realizada, las propuestas mantienen un nivel de cumplimiento de los requerimientos constante en las tres categorías evaluadas, siendo la propuesta 3, la de mayor puntuación. Las alternativas 1 y 2 presentan deficiencia en requerimientos formales determinantes para la función de la suela, como el uso de formas en una sola dirección, las áreas de contacto con el suelo no son bien definidas y no comunican la capacidad de generar seguridad durante su uso, entre otras funciones que la forma de la primera propuesta logra satisfacer en mayor proporción.

Esta evaluación de concepto, se retoma en el desarrollo y evolución del concepto para el diseño de la suela, luego de hacer evaluaciones del material con las muestras planteadas para el desarrollo del material compuesto.

8 EVALUACIÓN DE MUESTRAS

8.1 PRIMERA COMPROBACIÓN

En esta etapa del proyecto, se realizan las primeras evaluaciones del material compuesto propuesto, el objetivo es realizar las pruebas de tracción y la determinación de dureza de este, que tiene como componentes una matriz de caucho termoplástico y el refuerzo de tejido de fibra de mimbre y de fique que se han definido en los capítulos anteriores (Cap. 5).

8.1.1 Fabricación de primeras muestras de con mimbre y fique

En los materiales compuestos, muchas de las propiedades dependen principalmente de parámetros dimensionales como el diámetro, longitud, distribución de longitudes, fracción en peso de las fibras, la orientación y ordenación de conjunto de las mismas; los primeros ensayos de evaluación se elaboran partiendo de la conformación del material mediante la vulcanización de los componentes, caucho termoplástico con el refuerzo (tejido para primera muestra- Cap. 5) al ser vulcanizados para su conformación.

8.1.2 Contenido de constituyentes

El Caucho Termoplástico que se utiliza para la elaboración de las primeras muestras del material compuesto, es seleccionado del material de producción de la empresa Suelas e Insumos Gallego, utilizado para la elaboración de varias referencias de suelas. Este material se encuentra en forma de lámina y se corta según el peso requerido por cada tipo de suela. En este caso todavía no se elabora una muestra con

la configuración de suela planteada para el calzado sport masculino, esta se realizará posteriormente para su respectiva evaluación.

Figura 64: Pasta negra de Caucho para vulcanizado



Fuente: Autora del Proyecto

Las dimensiones de la pasta y el tejido de refuerzo que se utiliza para la elaboración de las muestras con Fique y Mimbre se describen en la siguiente tabla:

Tabla 12: Materiales para muestras con refuerzo de Mimbre

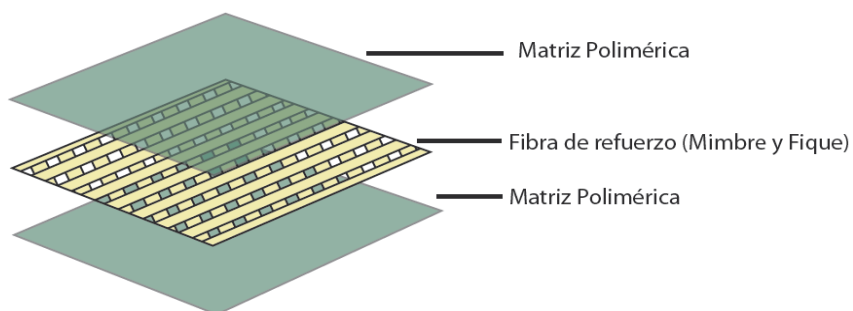
Nombre del material	Dimensiones de la muestra (cm)	Peso de la muestra (g)
Pasta Negra de Caucho	20*20*0,3	160
Esterilla de Mimbre	20*20	20
Fuente: Autora del proyecto		

Tabla 13: Materiales para muestras con refuerzo de Fique

Nombre del material	Dimensiones de la muestra (cm)	Peso de la muestra (g)
Pasta Negra de Caucho	20*20*0,3	160
Esterilla de Fique	20*20	15
Fuente: Autora del proyecto		

La Figura 65 muestra los constituyentes del material y el sistema de laminado

Figura 65: Diseño del laminado



Fuente: Autora del proyecto

En el laminado, se realizan 4 tipos de muestras; estas se diferencian en su constitución por la cantidad de capas del material de la matriz, se denominan muestras Tipo I, a las elaboradas con dobla capa de caucho termoplástico (Ver Figura 65); y muestras Tipo II a las elaboradas solo con una capa de caucho y el material de refuerzo al descubierto.

8.2 ESPECIFICACIONES PARA LA VALIDACIÓN DE LAS PRUEBAS

La fabricación de las muestras del material, es posteriormente complementada con la elaboración de las probetas para el desarrollo de los ensayos mecánicos, estas deben realizarse bajo normas específicas que se describen a continuación junto a su proceso de conformación.

8.2.1 Vulcanización de los materiales constituyentes

En primer lugar se precalienta la prensa de vulcanizado a una tempera de 150°C por aproximadamente 30 minutos. Las piezas del caucho y el refuerzo se organizan sobre una de las tapas de aluminio (tapas de los moldes de suelas) y se ubica la segunda

sobre estas manteniendo el material en la mitad. Posteriormente se lleva el molde a la maquina donde permanece durante aproximadamente 10 minutos y es retirado para la extracción del material vulcanizado. En la Tabla 14 se especifican las condiciones del proceso y en la Figura 66 se hace una descripción de éste.

Tabla 14: Datos de fabricación de las muestras

Especificaciones del proceso	
Tipo de proceso	Vulcanización
Temperatura de vulcanización	133 a 150°C – Maquina precalentada 45min.
Presión de la maquina	3000 Lb
Tiempo de vulcanizado	7 a 10 min
Fuente: Autora del proyecto	

Figura 66: Proceso de fabricación del material compuesto



Fuente: Autora del proyecto

Con este proceso, se obtienen las muestras del material compuesto vulcanizado que continua con la elaboración de las probetas para los respectivos ensayos mecánicos. En la Figura 67 se observan las muestras Tipo I, de caucho reforzado con Mimbre y fique respectivamente.

Figura 67: Muestras Finales



Fuente: Autora del proyecto

8.3 FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

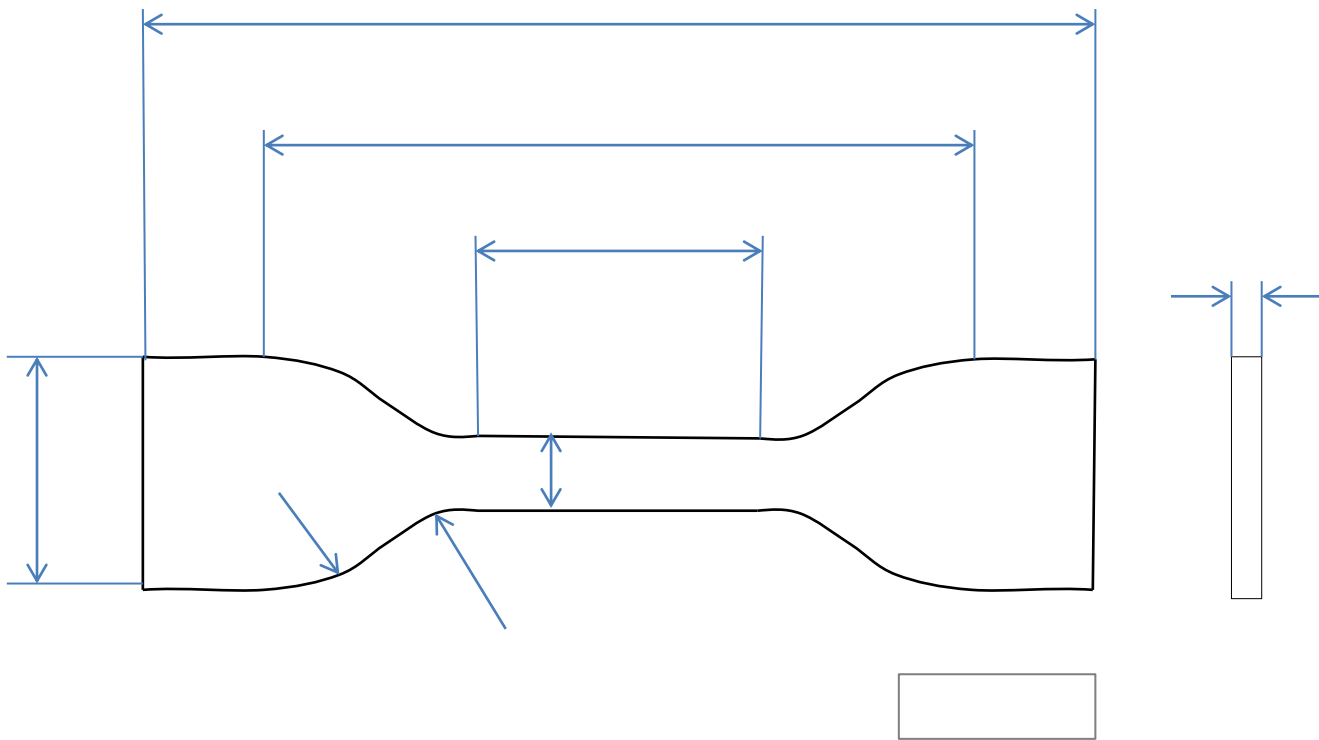
Los factores básicos del material compuesto que son evaluados con la prueba de tracción, consisten en el análisis de la resistencia a tracción de las fibras junto a la matriz, del que se obtiene un modulo de tracción determinando tanto la resistencia máxima como el módulo de elasticidad del material. Estos aspectos son base para la aplicación del material al desarrollo de la suela, la elaboración de un nuevo materia implica el conocimiento de su comportamiento en diferentes condiciones para así dar respuesta a los requerimientos de diseño planteados durante el proceso creativo de las suelas. La determinación de Dureza Shore A por su parte, se realiza para obtener este valor que permite clasificar el material para su uso y para la caracterización de este.

Para el corte de las probetas de tracción, se utiliza una prensa manual la cual, junto al respectivo troquel, fueron facilitados por el Laboratorio de Química de la UIS; las probetas para la toma de Dureza Shore A se cortan manualmente y el mismo laboratorio facilitó el durómetro. El troquelado de las probetas se realiza de acuerdo a la respectiva norma ASTM D412- 98^a [24] para ensayos de tensión con caucho vulcanizado y la norma NTC467:2006 [25] para la determinación de Dureza Shore en Caucho.

8.3.1 Probetas de tracción

Según la norma ASTM D412-98^a, este método se aplica a los procedimientos usados para evaluar la propiedad de tensión de cauchos termoestables vulcanizados y elastómeros termoplásticos. Para el presente ensayo se aplica la Metodología de ensayo A: mancuernas y sección recta de la muestra, que se muestran en la Figura 68. Se fabrican tres muestras de cada material para la prueba de tracción.

Figura 68: Dimensiones de la probeta



Fuente: Autora del proyecto

Figura 69: Probetas de tracción- Refuerzo de fique



Fuente: Autora del proyecto

Figura 70: Probetas de tracción- Refuerzo de mimbre



Fuente: Autora del proyecto

Figura 71: Probetas de tracción- Sin Refuerzo



Fuente: Autora del proyecto

8.3.1.1 Equipos e instrumentos utilizados

Los equipos para realizar pruebas de tracción son comunes en los laboratorios de resistencia de materiales, estos permiten obtener las curvas de esfuerzo – deformación de los materiales. El equipo utilizado en este ensayo es un Microcomputer controlled Electronic - Universal Testing Machine, modelo WDW- 20E (Figura 19), que se encuentra en el Laboratorio de resistencia de Materiales.

Figura 72: Equipos e instrumentos- prueba de tracción



Fuente: Autora del proyecto

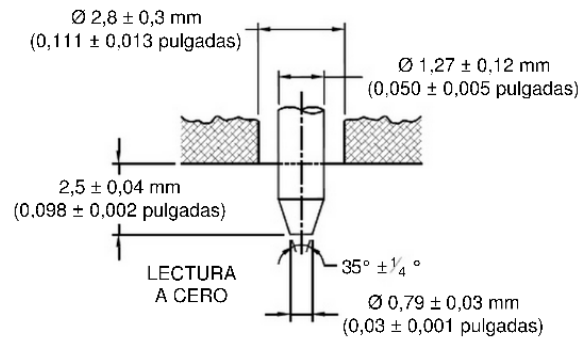
La maquina fue calibrada a una velocidad de 25mm/min y con una carga de 1KN para todas las muestras. Se utiliza un calibrador para tomar las medidas de área de la sección transversal en el cuello de la probeta y longitud del cuello, antes y después del ensayo.

8.3.2 Probetas para ensayo de Dureza Shore

Como se mencionó en el Capítulo 3.5 –Pruebas y ensayos para suelas-, el ensayo de dureza se basa en la penetración de un tipo específico de indentador que se ubica con una determinada fuerza sobre el material, bajo condiciones específicas. La geometría del penetrador y la fuerza aplicada influyen en las mediciones lo que la hace dependiente del respectivo tipo de durómetro según el material.

El tipo de ensayo aplicado en este proyecto es Shore A que mide la dureza en materiales desde 20 a 90 Shore al cual pertenecen los elastómeros. De acuerdo a la guía de selección de Durómetro de la norma NTC 467-2006, el tipo de durómetro que corresponde a ensayos de Dureza Shore para caucho vulcanizado es el durómetro Tipo A el cual se muestra en detalle en la siguiente imagen

Figura 73: Penetrador Tipo A y C

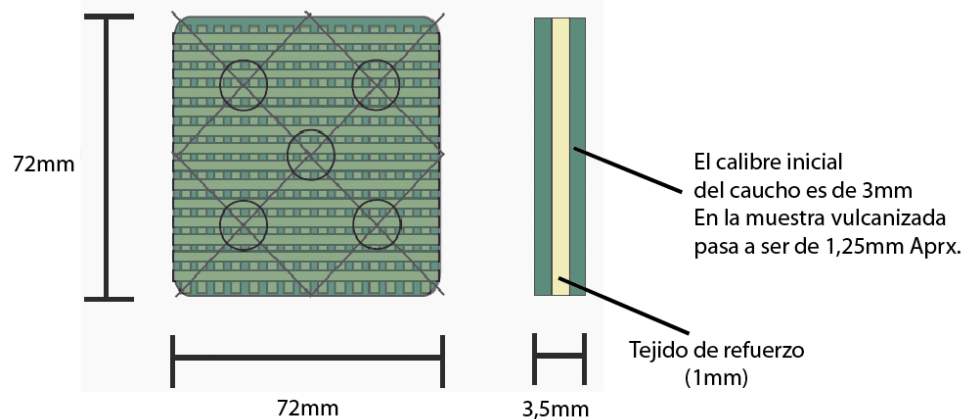


Fuente: NTC 467-2006

Para la elaboración de la muestra se tomaron los siguientes datos de acuerdo a la norma NTC 467-2006:

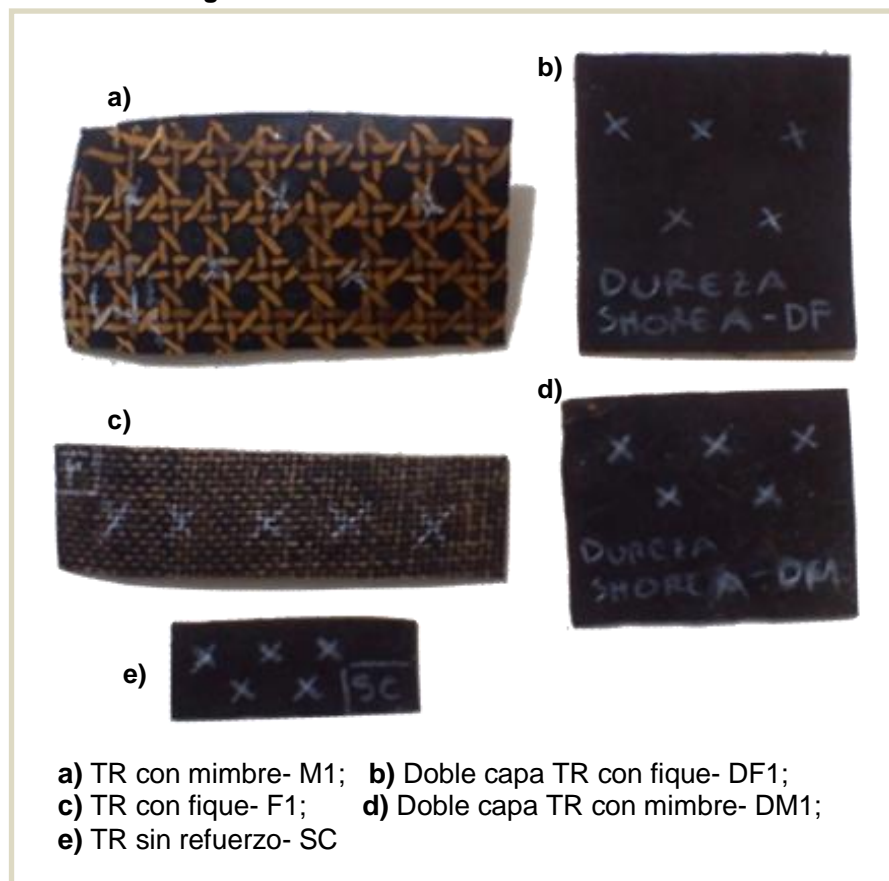
- Espesor mínimo: 6mm (o menos, si en una probeta más delgada los resultados son equivalentes).
- Las dimensiones laterales de la probeta deben ser suficientes para permitir mediciones al menos a una distancia de 12,0 mm
- Las superficies de la probeta deben ser planas y paralelas, sobre un área suficiente para permitir que el pie de presión haga contacto con la probeta.
- Se realizan cinco mediciones de dureza en diferentes posiciones, sobre la probeta separadas al menos 6 mm.

Figura 74: Dimensiones de la muestra para cinco mediciones



Fuente: Autora del proyecto

Figura 75: Probetas de dureza terminada



Fuente: Autora del proyecto

8.3.2.1 Equipos e instrumentos utilizados

Según la guía de selección del durómetro de la norma NTC se recomienda que, siempre que sea posible, se emplee un soporte de operación al realizar ensayos de dureza con durómetro y el tipo de durómetro se selecciona de acuerdo con la escala mostrada en la Tabla 15. Para el presente ensayo se seleccionó el Tipo A de acuerdo a las propiedades del material propuesto.

Tabla 15: Selección de durómetro: usos típicos.

Tipo (Escala)	Ejemplos de materiales ensayados	Dureza medida con durómetro (Usos típicos)
A	Caucho vulcanizado blando, caucho natural, nitrilos, elastómeros termoplásticos, poliacrílicos flexibles y termoestables, cera fieltro y cueros	20- 90 A
B	Caucho moderadamente duro, elastómeros termoplásticos, productos de papel y materiales fibrosos	Por encima de 90 A Por debajo de 20 D
C	Caucho medio-duro, elastómeros termoplásticos, plásticos medio-duros y termoplásticos	Por encima de 90 B Por debajo de 20 D
D	Caucho duro, elastómeros termoplásticos, plásticos más duros y termoplásticos rígidos	Por encima de 90 A
DO	Caucho moderadamente duro, elastómeros termoplásticos y muestras plásticas	Por encima de 90 C Por debajo de 20 D
M	caucho delgado de forma irregular, elastómero termoplástico y muestras plásticas	20- 80 A
O	Caucho blando, elastómeros termoplásticos, plásticos y termoplásticos muy blandos, devanados textiles de densidad media	Por debajo de 20 DO
OO	Caucho extremadamente blando, elastómeros termoplásticos, esponja, plásticos y termoplásticos extremadamente blandos, espumas, devanados textiles de baja densidad, tejido humano y animal	Por debajo de 20 O
CE	Materiales de espuma compuestos tales como cojines de seguridad para cabalgar, asientos para vehículos, tableros de instrumentos, descansa-cabeza, descansa- brazos y paneles de puestas	Véase el método de ensayo ASTM F 1957

Fuente: ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 467-2006

La imagen siguiente, muestra el durómetro utilizado para las mediciones del presente proyecto realizadas en el Laboratorio de Procesos de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. Con la realización de las 5 mediciones requeridas por la norma, se obtiene un porcentaje de Dureza shore A.

Figura 76: Durómetro Shore Tipo A



Fuente: Autora del proyecto

9 ENSAYOS Y RESULTADOS

9.1 Ensayos de Tracción

Para la caracterización del material se hicieron mediciones del esfuerzo y deformación máximos de cada probeta. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos y un promedio para cada tipo de muestra.

Tabla 16: Resultados y promedios de las pruebas de tracción

Probeta	Área (mm ²)	Longitud (mm)	Límite elástico Sy (Mpa)	Resistencia máxima (Mpa)	Deformación máxima (%)	Promedio Límite Elástico (Mpa)	Promedio Resistencia máxima (Mpa)	Promedio Deformación máxima (%)
F1	17,50	40	4,80	4,000	390,184	5,403	3,849	367,018
F2	17,50	40	5,44	3,931	383,152			
F3	19,80	40	5,97	3,616	327,719			
DF1	16,25	40	0,05	4,677	342,456	0,031	4,557	323,811
DF2	17,28	40	0,00	4,213	301,463			
DF3	17,90	40	0,04	4,782	327,516			
M1	16,50	40	7,13	3,539	341,574	6,294	3,374	310,040
M2	16,75	40	5,46	3,210	278,506			
DM1	18,09	40	0,22	2,344	191,308	0,074	2,339	168,624
DM2	11,52	40	0,00	1,597	93,328			
DM3	19,50	40	0,00	3,077	221,236			
SC1	10,56	40	0,00	4,318	359,441	0,333	3,912	329,158
SC2	17,16	40	0,00	4,429	403,472			
SC3	19,80	40	1,00	2,990	224,561			

Valores máx.

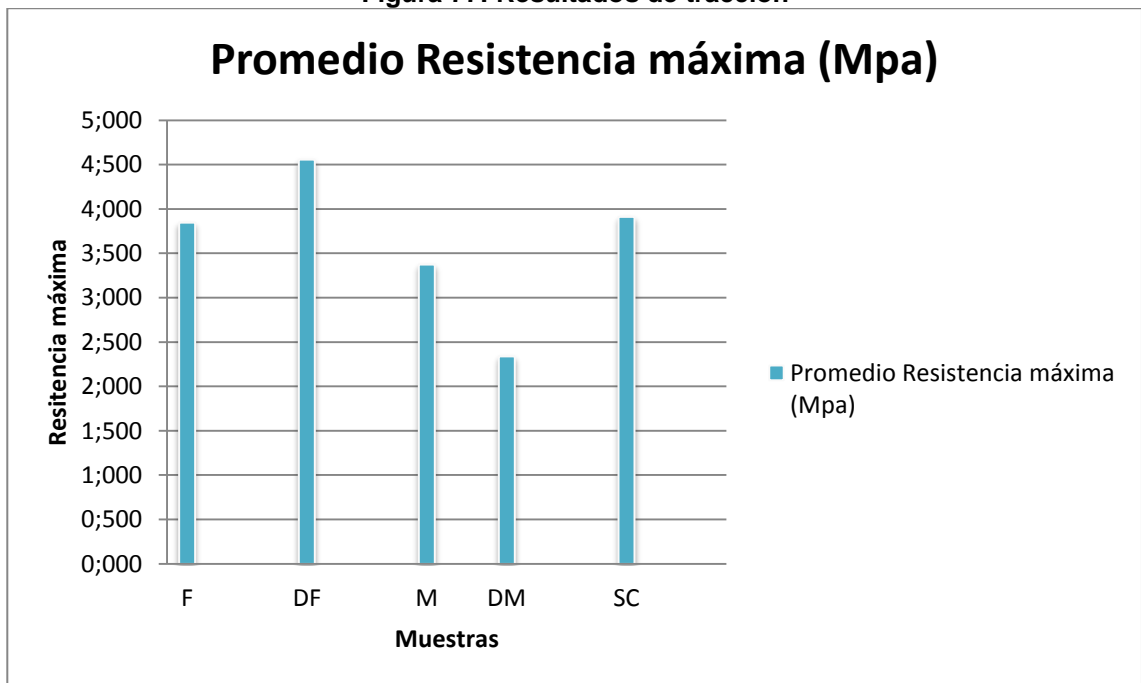
Valores min.

Fuente: Autora del proyecto

En los materiales compuestos evaluados, el límite elástico aumenta con respecto al material sin refuerzo, siendo este más alto en las muestras reforzadas con Mimbre y con una sola capa de caucho, seguido por el caucho de una sola capa reforzado con Fique. La resistencia última es mayor en el material de doble capa de caucho reforzado con fique, seguido de la muestra reforzada con el mismo material y una

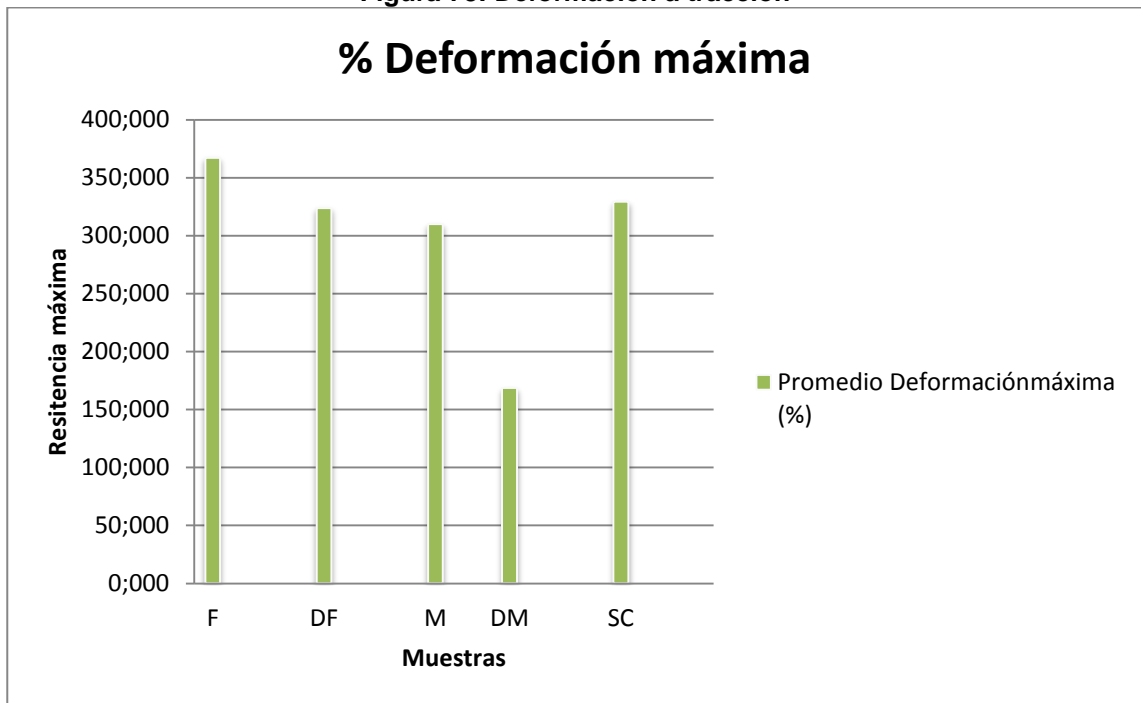
capa de caucho; la muestra reforzada con mimbre muestra el valor de resistencia más bajo comparada con todas las muestras y está por debajo de la resistencia máxima de las muestras de solo caucho. La deformación se encuentra en un rango de 310 al 367% para las matrices excepto la muestra con mimbre y doble capa de caucho que solo presenta una deformación máxima de 168% fuera del rango de deformación de todas las muestras.

Figura 77: Resultados de tracción



Fuente: Autora del proyecto

Figura 78: Deformación a tracción



Fuente: Autora del proyecto

Según los estudios la adición de fibra en la matriz aumenta el esfuerzo y disminuye la deformación; en los resultados obtenidos, para los refuerzos con mimbre se cumple que el esfuerzo de tracción aumentó para la muestra con DM y se mantuvo en la muestra M, en comparación a la muestra de solo caucho, pero la deformación no disminuye sino que aumenta en la muestra F y se mantiene en la muestra DF. Para las muestras de mimbre, el esfuerzo y la deformación disminuyen siendo más alta esta variación para la muestra DM; este resultado puede atribuirse a que las fibras de mimbre presentes en el cuello de la probeta, donde se produce la ruptura, son más gruesas y la adhesión en la interfaz fibra matriz es menor.

En la siguiente tabla se muestran resultados de investigaciones en las que se refuerza un material con porcentajes de fibras naturales. Al comparar los resultados obtenidos en este proyecto, se observa que están dentro de la tendencia de comportamiento de los materiales compuestos con fibras naturales, en el aumento de esfuerzo solo cumplen las muestras reforzadas con fique, pero en la deformación las muestras de

mimbre se comportan de la manera común. En los resultados para las muestras con mimbre y fique no se comparan varios porcentajes de fibra en la matriz.

Tabla 17: Comparación de resultados con otros materiales similares

No.	Material	Fibra (%)	Esfuerzo (Mpa)	Elongación (%)	Ref.
1	Almidón de maíz +microfibras de algodón	10	8,6	30	[29]
		15	11,5	22	
		20	15,16	18	
2	Almidón de trigo + fibras de Lino	10	19,87	-	[29]
		15	26,23	-	
		20	36,42	-	
3	Almidón de maíz + fibras de pino	7	6,8	47	[29]
		15	4,5	22	
4	Almidón de yuca + fibra de fique	10	12,01	2,01	[29]
		15	10,11	1,17	
		20	8,86	1,22	
5	Solo caucho TR	0	3,7	3,2	Este estudio
6	Caucho Termoplástico + fibras de fique	CT+ F	3,8	3,6	Este estudio
		DobleCT+F	4,5	3,2	
7	Caucho Termoplástico+ fibras de mimbre	CT+ M	3,9	3,1	Este estudio
		DobleCT+M	2,9	1,7	

Fuente: Autora del proyecto

9.2 Ensayo de Dureza Shore A

La siguiente tabla muestra los porcentajes de dureza obtenidos para cada muestra en cinco tomas del dato. La muestra de solo Caucho con la que se hace la comparación muestra uno de los valores más bajos de dureza; el refuerzo de mimbre – M1 y DM1 - presentan los valores más elevados de dureza y el fique, F1 aumenta la dureza cuando solo tiene una capa de caucho como matriz.

Tabla 18: Nomenclatura para la identificación de probetas

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
M	Probeta con una capa de caucho reforzada con mimbre
DM	Probeta con doble capa de caucho (exteriores) reforzada con mimbre
F	Probeta con una capa de caucho reforzada con fique
DF	Probeta con doble capa de caucho (exteriores) reforzada con fique
SC	Probeta de solo caucho

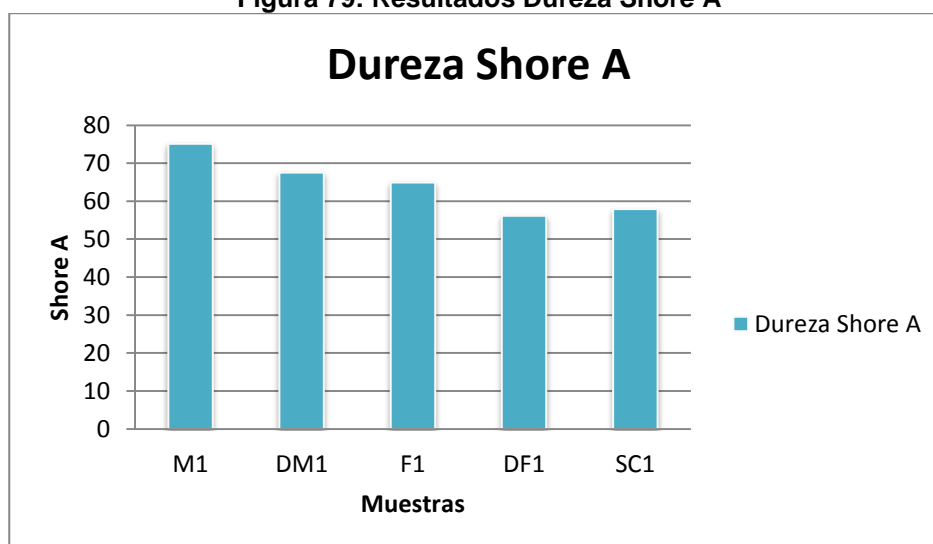
Fuente: Autora del proyecto

Tabla 19: Valores de Dureza Shore A para las muestras

Muestra	Dureza Shore A					Valor Medio
M	76	75	75	75	75	75,2
DM	67	67	68	67	69	67,6
F	65	65	65	65	65	65
DF	56	55	56	59	55	56,2
SC	60	59	56	56	59	58

Fuente: Autora del proyecto

Figura 79: Resultados Dureza Shore A



Fuente: Autora del proyecto

Comparando con los resultados de tensión (M1-F1), puede afirmarse que de acuerdo a la teoría, en los materiales más blandos, el límite elástico es menor. Lo que hace que el material tenga una deformación elástica más pequeña que en los materiales con mayor valor de Dureza Shore. Para la posterior elaboración de la suela, este valor de dureza permite conocer la resistencia que esta tendrá a la penetración localizada, este valor al mismo tiempo, es característico en las especificaciones de los materiales elastómeros. El valor de dureza pasa a justificarse con la elaboración de un prototipo de la suela y su evaluación de desempeño en la prueba de flexión repetida, ya que esta condición del material es determinante y se relaciona con los requerimientos ergonómicos, técnico productivos y de función de la suela.

10 EVOLUCIÓN Y FABRICACIÓN DE LA SUELA

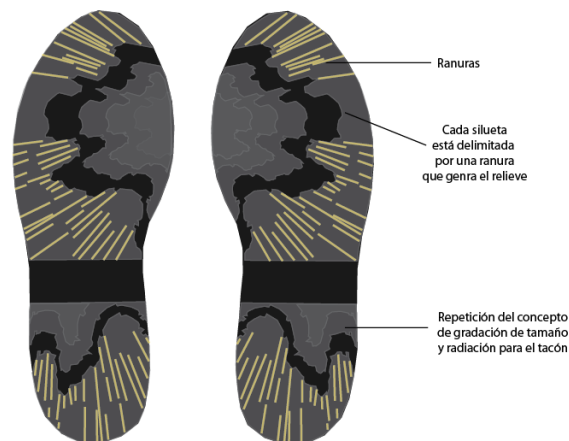
Hasta este punto del proyecto, el desarrollo de las suelas para calzado sport masculino ha pasado por una serie de etapas paralelas de investigación, propuestas de diseño y pruebas de evaluación que convergen en el desarrollo del producto.

Teniendo definidas las especificaciones del material compuesto con el que se desarrolla la suela, y la propuesta de diseño formal de esta, el paso a seguir es la aplicación de los aspectos descritos durante el proyecto para la fabricación de un prototipo y su posterior evaluación como producto final. Este capítulo se centra en la aplicación de los requerimientos técnico- productivo y funcional de diseño; se desarrolla un proceso de fabricación de los elementos requeridos para la producción del prototipo.

10.1 Evolución de la propuesta seleccionada

La propuesta seleccionada para la elaboración del prototipo, debe evolucionarse para el cumplimiento de los requerimientos de función, ergonómicos, formales y técnico-productivos planteados.

Figura 80: Alternativa seleccionada según evaluación formal



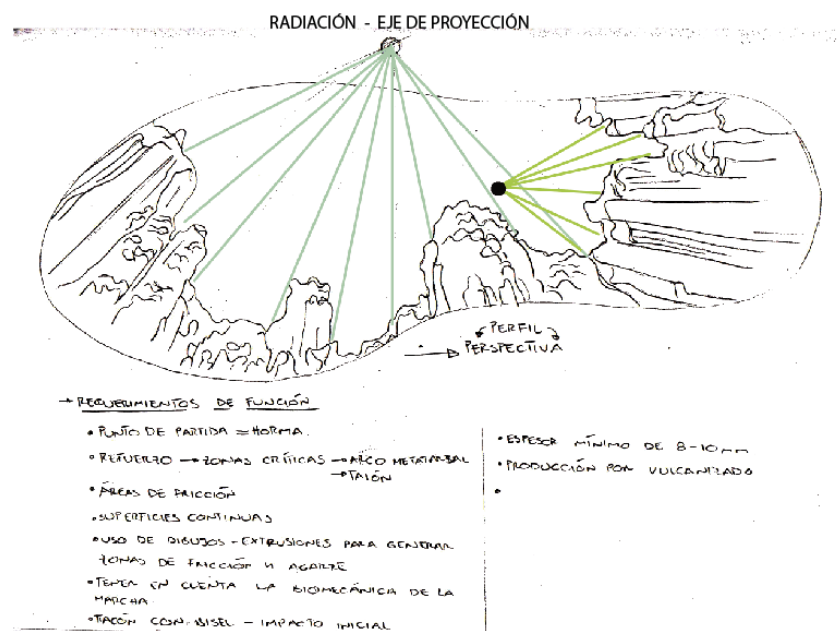
Fuente: Autora del proyecto

- De acuerdo a la horma que se utiliza para el presente proyecto, la forma delantera de la suela es de puntera circular. Este aspecto se centra en el requerimiento ergonómico y de función que se refiere al ajuste de los dedos dado en la puntera del calzado, es importante las características de esta ya que el calzado no debe someter los dedos a compresiones ni alteraciones de su forma y posición.
- El espesor del material aporta al manejo de la amortiguación de cargas del calzado; las características de amortiguación de la suela dependen fundamentalmente del espesor y del material con que este fabricada. Según requerimiento formal y de función, el grosor mínimo de la suela debe ser de 8 a 10mm
- Con relación al tacón, en cuanto mayor sea la capacidad de deformación elástica del material de este, mayor será la capacidad para amortiguar cargas de impacto. En la sección 9.1 se describe el aumento de la deformación elástica en los materiales evaluados, lo que permite definir que la altura del tacón propuesta de 1,5cm es suficiente para el calzado sport masculino, ya que este no se ve sometido a altas cargas de impacto.
- En la marcha, el cierre sobre el empeine transmite la fuerza de la pierna al zapato dando lugar a la flexión de la suela que deberá acompañar la flexión de los dedos en la etapa de propulsión. A mayor esfuerzo necesario para obtener esa flexión de la suela, mayor fatiga se produce al andar; la dureza que se determinó para el material compuesto será evaluada posteriormente sometiendo el prototipo del producto a pruebas de flexión.

En el diseño de la huella plantar, el aspecto de rozamiento está relacionado con su configuración formal ya que está, define la superficie de apoyo que entra en contacto con el suelo. A continuación, se retoman aspectos fundamentales para el diseño de la forma, basados en los requerimientos formales y de función de la suela destinada al uso en calzado sport masculino, utilizada en terrenos variados.

- El diseño de la huella plantar y el tamaño del área de contacto deben ser amplias y definidas para favorecer el coeficiente de fricción de la suela con la superficie de apoyo.
- Se recomienda (según la IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia) un corte en cuña (30° a 45°) del tacón para mejorar la fricción en el momento de contacto inicial para el calzado sport de uso diario.
- En ambientes urbanos en los que son frecuentes la presencia de contaminantes, es necesario darle a la suela cierta rugosidad o diseñar huellas con ranuras y dibujos destinados a la dispersión de dichos contaminantes.
- Para evitar roturas por el uso de dibujos o ranuras en la zona del antepié, estas no deben ser completamente perpendiculares al eje longitudinal del zapato pues de este modo, se aumenta el riesgo de fallo prematuro de la suela en la zona de flexión.
- Se debe considerar el uso de relieves definidos, granulados, dibujos circulares, barras de flexión, entre otros, ubicados de manera controlada en a huella plantar de la suela.

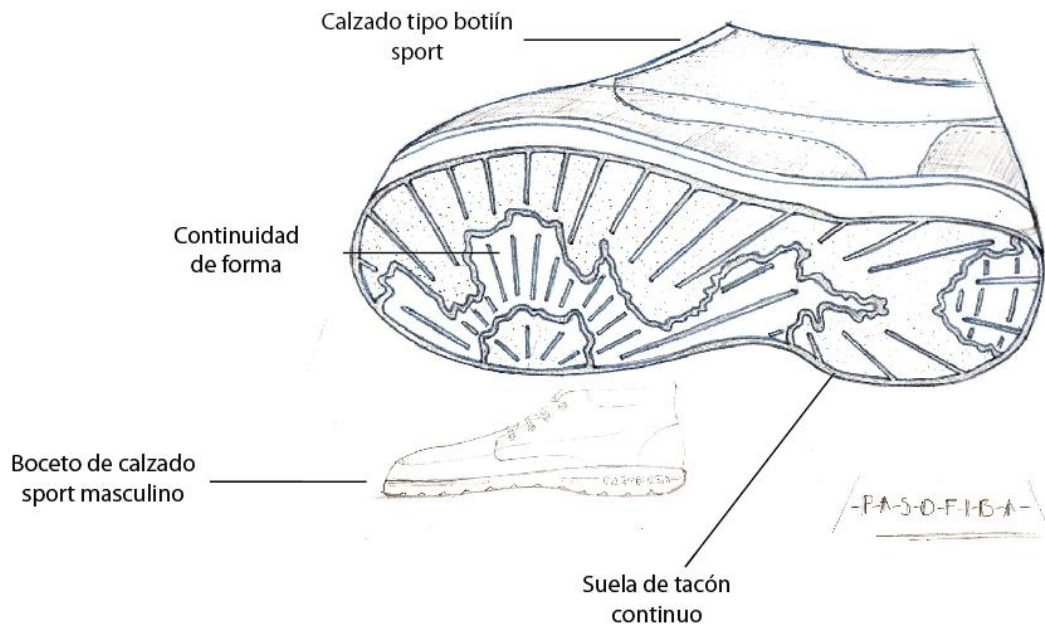
Figura 81: Propuesta de evolución- concepto de radiación



Fuente: Autora del proyecto

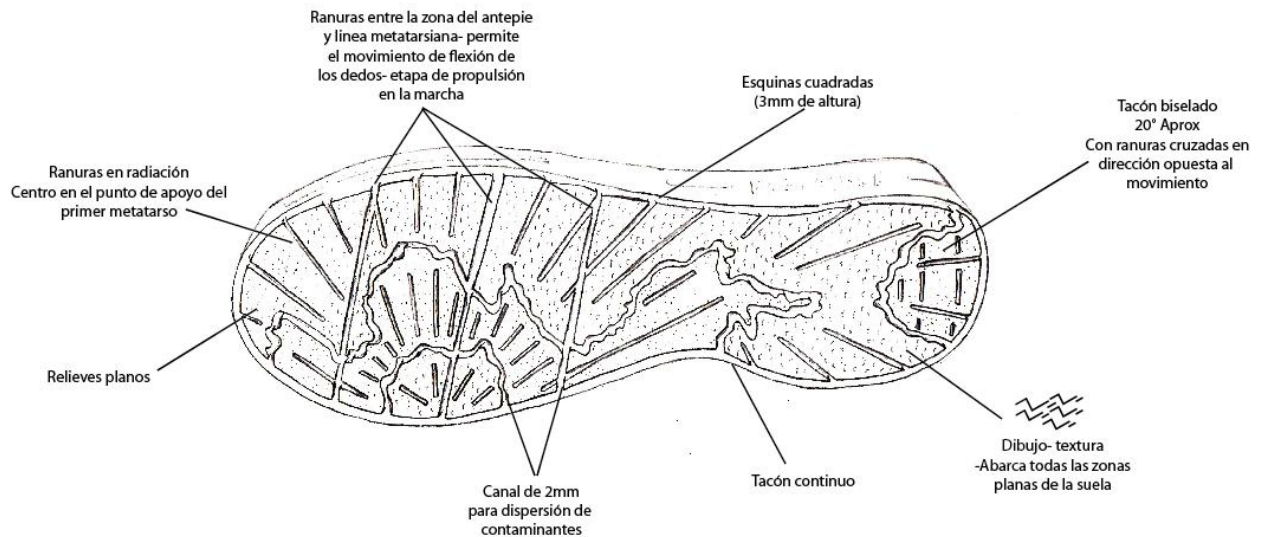
La idea para la evolución del diseño formal, es principalmente la unificación del dibujo y las ranuras, en un diseño de suela con tacón continuo; la aplicación en el calzado sport masculino, no requiere una separación entre el tacón y la zona delantera de la suela ya que en su uso ésta no se somete a esfuerzos de impacto elevados y el entorno de uso se define en una marcha suave sobre terrenos variados. Se aplican conceptos de continuidad de forma, gradación de tamaño y radiación para la configuración de la suela.

Figura 82: Detalles de la construcción formal de la suela



Fuente: Autora del proyecto

Figura 83: Elementos de diseño de la suela- Especificaciones técnicas



Fuente: Autora del proyecto

10.2 Producción del molde

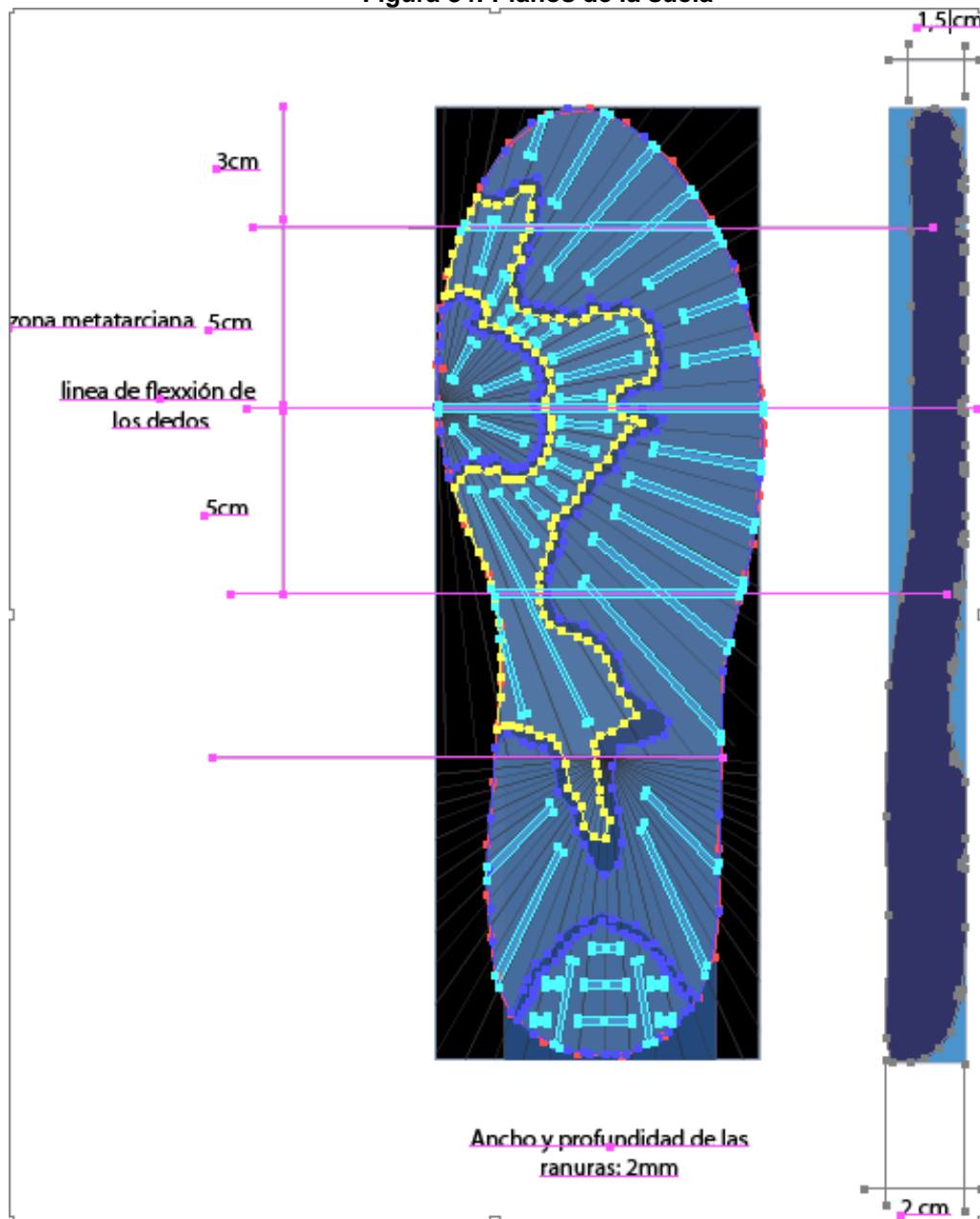
Para la elaboración de un prototipo de suela, existen diferentes métodos de fabricación de la matriz en aluminio: proceso de micro fundición del molde en aluminio o Zamac; fabricación del molde por mecanizado en CNC ó, fundición tradicional del aluminio. En el presente proyecto se utiliza el último método mencionado ya que solo se va a producir una cantidad limitada de las suelas. El proceso se describe con mas detalle más adelante.

A partir de esta muestra fabricada con el método tradicional de fundición, puede elaborarse posteriormente el molde adecuado para la producción a gran escala.

Como primera medida, para la elaboración del modelo a escala real de la suela; se elabora un bloque de parafina alemana (parafina blanda) con las medidas que se han especificado con anterioridad en el planteamiento del tejido y en la propuesta de diseño; la muestra que se va a fabricar es para un calzado talla 38 de hombre. El

proceso de tallado debe hacerse con finura ya que los detalles de la huella tienen dimensiones reducidas.

Figura 84: Planos de la suela



Fuente: Autora del proyecto

Figura 85: Modelo en parafina



Fuente: Autora del proyecto

Teniendo el modelo de las suelas en escala real, se le aplica polvo de grafito para dar a la superficie un acabado liso y eliminar la textura pegajosa de la parafina evitando, que el yeso con el que se elabora el primer molde, se adhiera al modelo.

Figura 86: Sellado del modelo- Fabricación de molde en yeso

Dispersión de grafito sobre los modelos de parafina como desmoldante



Fuente: Autora del proyecto

Como se ilustra en la Figura 86, se realiza el vertido del yeso en un marco de madera, sobre una superficie lisa que contiene los modelos en parafina; luego de este proceso, los moldes macho y hembra deben dejarse secar por un día para un mejor manejo con la arena de moldeo.

Figura 87: Molde en yeso

Molde "Macho"
Dimensiones: 30 x 30cm
Grosor del molde: 3cm

Molde "Hembra"
Dimensiones: 30 x 30cm
Grosor del molde: 3cm



Se sella el molde con pintura para la posterior fabricación del molde en arena

Fuente: Autora del proyecto

La fabricación del molde de arena es una tarea que debe hacerse cuidadosamente; en este proceso se combina arena sílica (sintética) mezclada con un 10% de silicato de sodio; esta arena al ser más fina, permite que la forma del molde de yeso sea copiada fácilmente.

Figura 88: Copiado del molde en arena sílica



Se ubica el molde de yeso a presión sobre la arena sílica para copiar la forma



Modelo del molde "hembra" en la arena luego de la extracción cuidadosa del molde de yeso



Aplicación de calor con soplete para secar la arena y para la eliminación de residuos

Fuente: Autora del proyecto

Seguidamente, la fundición del aluminio se realiza con aluminio virgen, lo que significa que luego de la elaboración del producto no ha sido fundido nuevamente; este aluminio permite que la matriz que se va a fabricar no tenga un acabado poroso. El costo del aluminio es de \$2700 el kilo y para las dos piezas de la matriz se utilizan

16kl. Este proceso se realiza en un horno que funde el aluminio a una temperatura de 200°C a 800°C, durante un tiempo de 30 a 50 minutos.

Figura 89: Proceso de fundición del Aluminio



Proceso de fundición del aluminio:
Cantidad: 16 Kl de aluminio virgen
(Que pasa del producto inicial a ser fundido por primera vez)

Fuente: Autora del proyecto
Figura 90: Matriz de aluminio



Se deposita el aluminio sobre el molde de arena; este proceso se realiza inmediatamente es fundido el aluminio y requiere entre 30 minutos para enfriarse



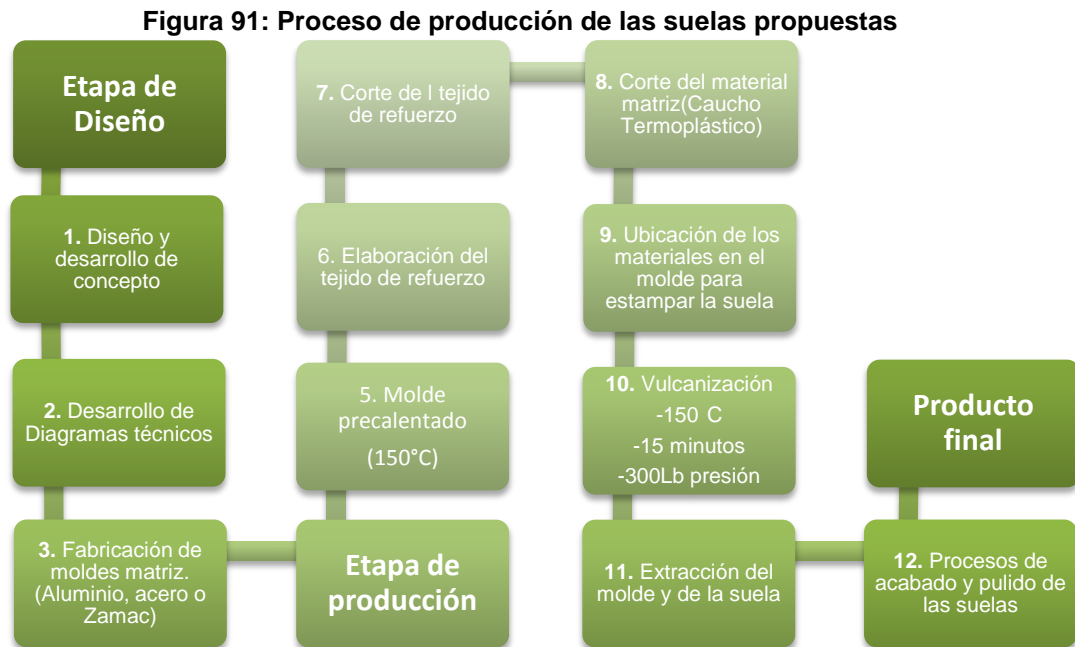
Molde Macho (dibujo de la huella) y hembra (ahorradores de material)
Dimensiones de cada bloque:
Ancho y largo: 30x 30cm
Grosor: 3cm

Fuente: Autora del proyecto

El aluminio fundido se vierte en los marcos de madera con el modelo en arena de los moldes macho y hembra, este proceso es de corta duración. Finalmente se procede a pulir las superficies del molde que conforman la suela, este proceso se realiza de forma manual en el proyecto. Para el proceso de vulcanización, se requiere que el molde posea pines que centren y aseguren el cierre de las partes; se ubican uno en cada extremo del molde por el eje central de manera que el cierre de las tapas sea preciso.

10.3 Producción de la suela

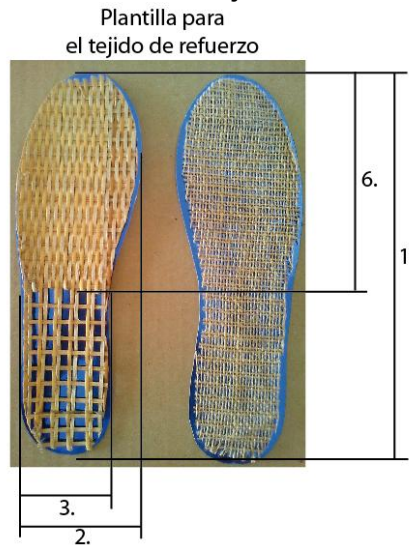
La fabricación de la suela del material compuesto, consiste en la vulcanización de las capas del material en una prensa hidráulica a una temperatura específica. Teniendo en este punto la matriz de aluminio, la elaboración de la suela consiste en seguir el proceso productivo establecido que se describe en la Figura 91.



Fuente: Autora del Proyecto

Para la continuación del proceso de producción, se realiza el corte del tejido de refuerzo a partir de los parámetros que se determinaron en la sección 5.1 del proyecto; a partir de una plantilla de corte para los tejidos; se fabrica un modelo de la suela con cada tejido, uno de mimbre y uno de fique.

Figura 92: Plantillas del refuerzo- tejido de Mimbre y tejido de Fique



Fuente: Autora del proyecto

Tabla 20: Longitudes para las plantillas del refuerzo

LONGITUDES ZONA PLANTAR DE HORMA TALLA 38		
Medida	Según datos antropométricos (Pág. 71)	Corrección según Horma
1. Longitud calzable	24,3	24,7
Ancho de las articulaciones	9,19	9,5
Ancho del talón	6,28	7
Longitud del talón al flanco exterior	15,92	15,5
Longitud del talón al flanco interior	18,3	18
Longitud antepié	14,36	14,3

Fuente: FLÓREZ, Claudia; ESPINEL, Francisco. 2012

El corte del material termoplástico se realiza a partir de láminas de caucho de 4cm de ancho aproximadamente, 35 a 40cm de longitud y un grosor de 3mm; estas se cortan en secciones de acuerdo al peso requerido por la suela. Para este determinar el valor del peso de la matriz, debe elaborarse una muestra de la suela y determinar la cantidad de material termoplástico que requiere.

El color del caucho termoplástico puede variar según la propuesta de calzado ya que hay una gran variedad de estos; para la aplicación del proyecto, se utiliza un caucho color gris. Las propiedades del caucho no varían según el color, la composición se mantiene al variar los colores.

Tabla 21: Corte del material matriz- Según peso requerido



Fuente: Autora del proyecto

Para la vulcanización, el molde es precalentado a una temperatura de 130° C durante 45 minutos. Luego de este pre proceso, se ubican los materiales de la suela en el molde colocando primero una capa de caucho termoplástico, posteriormente se ubica el tejido de refuerzo en la zona central de cada huella y se coloca la otra capa de caucho (Figura 93). Para este proceso el caucho que ha sido cortado, se ubican cubriendo toda el área de la suela, en la zona del talón debe ubicarse en mayor proporción debido a que el grosor es mayor.

Tabla 22: Cantidad de material matriz para cada tipo de refuerzo

Suela	Cantidad de material termoplástico C/u
Con refuerzo de Mimbre	160g
Con refuerzo de Fique	165g

Fuente: Autora del proyecto

Fuente: Autora del proyecto

Figura 93: Ubicación de los componentes del material en el molde



Ubicación de los materiales en el molde

1. Capa de caucho
2. Refuerzo de fibra
3. Segunda capa de caucho

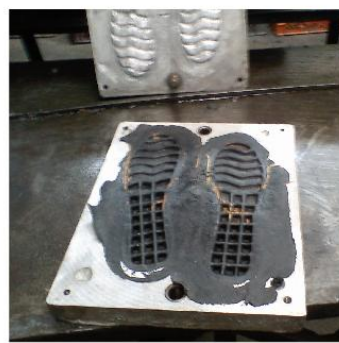


Moldes cargados

Fuente: Autora del proyecto

La vulcanización se realiza a una temperatura de 150°C y con una presión de 300lb de presión que se aplica mediante la prensa neumática para vulcanización; el molde macho con los materiales se tapa con el molde hembra y se ajusta mediante pernos, y permanece en la prensa durante 15 minutos; posteriormente al ser retirado, puede extraerse la suela para pasar a un proceso de acabado final.

Figura 94: Extracción de la suela



Extracción del molde de la prensa y apertura del molde para la extracción de las suelas

Fuente: Autora del proyecto

Las dos primeras muestras de la suela con refuerzo de mimbre, y con refuerzo de fique, fabricadas con el molde desarrollado para del diseño de la suela que se plantea, se elaboran con el objetivo de continuar evaluando el material ahora, con una prueba específica para suelas que evalúe su desempeño al ser sometida a esfuerzos de flexión.

11 PRUEBA DE DESEMPEÑO DEL PRODUCTO

Como parte del análisis del desempeño del producto, se ha planteado que la prueba de flexión repetida es un ensayo que permite evaluar el comportamiento del material compuesto y del diseño de la suela cuando es sometida a esfuerzos que simulan la realidad de uso del producto final.

La realización de una prueba de flexión repetida específicamente para suelas, requiere del equipo especializado y las condiciones de laboratorio indicadas en la norma NTC 20344 “Equipos de protección personal. Métodos de ensayo para calzado”, donde establecen los parámetros para la prueba de resistencia a la flexión, de los métodos y ensayos para suelas. Para este proyecto, las suelas se envían al Laboratorio de pruebas y ensayos CEINNOVA – Centro tecnológico para las industrias del calzado, cuero y afines - en la ciudad de Bogotá; siendo uno de los pocos laboratorios especializados en ensayos para calzado del país.

En la siguiente tabla se presentan los datos de verificación para el ensayo:

Tabla 23: Verificación, control y emisión

1.	Descripción de la muestra:	Una muestra (1) conformada por dos unidades de suelas en caucho negras con fique y con mimbre.
2.	Propósito:	Efectuar la verificación de propiedades físicas, concretamente Prueba de flexión de suela completa.
3.	Condiciones ambientales:	Condiciones generales ambientales controladas (registro y copia de seguridad Termo higrómetro – EXTECH) en el Laboratorio de pruebas y ensayos, durante el tiempo que tomo la evaluación de las muestras: -Humedad relativa:50 % ± 5 % -Temperatura: 23°C ± 2°C

Fuente: CEINNOVA- Autora del proyecto

Figura 95: Prototipo de suela- Muestra para evaluación



Muestra para prueba de flexión
Huella plantar y vista de los ahorradores de material

En cada imagen:

Izq. Suela con refuerzo de mimbre

Der. Suela con refuerzo de fique

Fuente: Autora del proyecto

11.1 Equipo empleado: SATRA STM 465- NTC ISSO 20344: 2007-11-16

Figura 96: Maquina SATRA STM 465 para prueba de flexión en suelas



Fuente: SATRA Technology

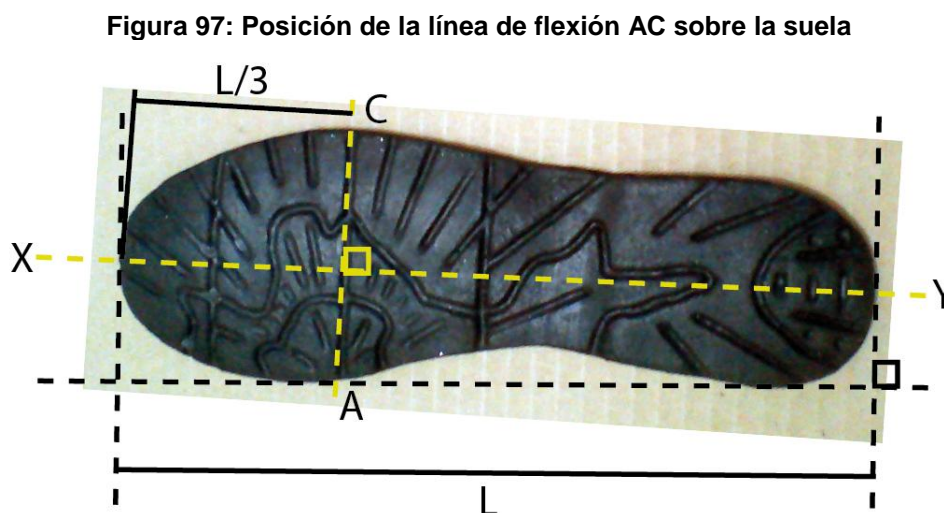
Este equipo es utilizado para determinar la resistencia de materiales al crecimiento de corte durante sesiones repetidas de flexión aplicado a suelas de calzado. La maquina tiene tres estaciones de trabajo ubicadas horizontalmente para una operación fácil.

Carga, descarga y mediciones son también mucho más fáciles de llevar a cabo con las estaciones de trabajo que se presentan de esta manera. La prueba del laboratorio se realiza con la versión de la máquina para prueba a baja temperatura.

11.2 Principio de la prueba

La suela es colocada en posición horizontal (sin flexión) en el porta-suela del equipo; una vez alcanzada la posición requerida, se efectúa la perforación (Incisión inicial), con el accesorio para tal fin. (Se programa el equipo a intervalos periódicos de flexión se efectúa verificación / inspección si ha ocurrido incremento de la incisión inicial) las muestras son llevadas hasta 30.000 ciclos de flexión. Se reportan las observaciones encontradas junto con el No. de ciclos en los cuales aplica el resultado.

- Para la incisión inicial, se marca un eje longitudinal en la suela, que se extiende desde el punto medio de la puntera, hasta el punto medio del talón; el eje de flexión se define como la línea a 90° con el eje longitudinal que pasa a través, a un tercio de la distancia XY desde la punta x, la línea de flexión es AC.



Fuente: Autora del proyecto

Tabla 24: Resultados en la prueba de flexión de suela completa

SUELA REFORZADA CON FIQUE					
Espesor promedio de la suela (Muestra No.1 = 8,5 mm)					
Resultados: Incremento del corte inicial (incisión inicial de 2,1 mm) a los ciclos indicados a continuación:					
Muestra	2.000 ciclos	5.000 ciclos	10.000 ciclos	20.000 ciclos	30.000 ciclos:
REFORZADA CON FIQUE	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm
SUELA REFORZADA CON MIMBRE					
Espesor promedio de la suela (Muestra No.2 = 5,5 mm)					
Resultados: Incremento del corte inicial (incisión inicial de 2,1 mm) a los ciclos indicados a continuación:					
Muestra	2.000 ciclos	5.000 ciclos	10.000 ciclos	20.000 ciclos	30.000 ciclos:
SUELA REFORZADA CON MIMBRE	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm
OBSERVACIÓN			La muestra presenta un leve desprendimiento y ruptura del material de refuerzo en algunas zonas.		

Fuente: CEINNOVA, 2013

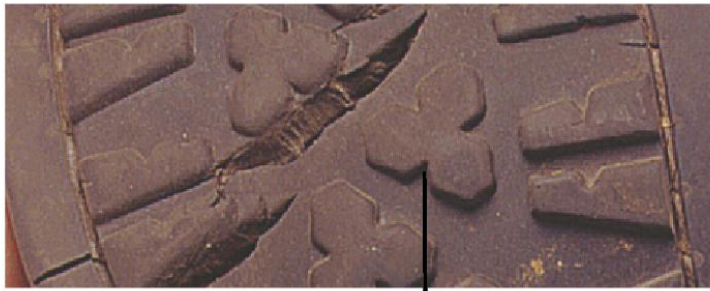
Los datos indican que en la prueba de flexión realizada a cada una de las suelas, el incremento del corte es nulo durante el aumento de los ciclos de flexión, esto indica que el comportamiento a flexión del material y de la suela durante la marcha, va a estar bajo las condiciones de uso adecuadas, permitiendo la flexión normal del pie y resistiendo a esta condición de uso de las suelas que es la flexión repetida.

En la imagen se hace una comparación de las suelas que fueron enviadas al Laboratorio Ceinnova, con una suela a la que se le realizó la misma prueba y presenta crecimiento de la incisión, puede observarse en detalle que la suela propuesta es resistente a la flexión repetida; estos resultados también están determinados por la dureza del material y la resistencia que las fibras proporcionan al material evitando la deformación de la matriz termoplástica.

Figura 98: Comportamiento de las suelas- prueba de flexión



Prueba realizada con
Equipo SATRA STM 465



Muestra de laboratorio- Suela con aumento de incisión de corte
en prueba de flexión repetida
- Incisión inicial: 2mm
- Aumento distribuido en el ancho de la línea metatarsiana

Muestra de suelas con refuerzo de fibras
Prueba realizada con Equipo SATRA STM 465



Detalle de la incisión para prueba de flexión
SUELA CON REFUERZO DE MIMBRE
- Incisión inicial: 2mm
- La imagen muestra que la incisión se mantiene
luego de la prueba de flexión



Detalle de la incisión para prueba de flexión
SUELA CON REFUERZO DE FIQUE
- Incisión inicial: 2mm
- La imagen muestra que la incisión se mantiene
luego de la prueba de flexión

Fuente: SATRA Tecnología - Autora del proyecto

Figura 99: Muestras evaluadas a flexión en el Laboratorio CEINNOVA



Fuente: Autora del proyecto

En las observaciones se indica que la suela con refuerzo de mimbre presenta una zona con un leve desprendimiento del refuerzo, lo que se debe a que durante la fabricación la fibra de mimbre quedo expuesta y libre de caucho termoplástico que mantenga la sinergia de los materiales en la zona. Para la correcciones de este aspecto, debe tenerse en cuenta el uso de doble capa de caucho y la ubicación del para mantener la sinergia adecuada entre componentes. Se anexa al proyecto copia del informe enviado en físico por el Laboratorio de pruebas y ensayos CEINNOVA.

12 PRODUCTO FINAL

Como etapa final del desarrollo del material y las suelas para su aplicación en calzado sport masculino, se fabrica un prototipo de la suela diseñada con cada tipo de refuerzo para la posterior elaboración de una muestra del calzado al que va dirigido el producto. Se muestran a continuación dos prototipos de suelas de la misma referencia con el uso del material, uno conformado por el Caucho Termoplástico y el refuerzo de mimbre y otro con la misma matriz y el refuerzo de fique.

Figura 100: Fabricación de prototipos



Fabricación del prototipo final
Caucho color gris
Refuerzo de tejido de Mimbre y de Fique
Ver Cap. 9.3

Fuente: Autora del Proyecto

El proceso de producción para cada una de las suelas se realizó con la vulcanización del caucho termoplástico de color gris y la ubicación del refuerzo en el interior de la suela como se ha indicado en el proceso productivo. La etapa final del proceso de producción tiene una duración de 16 minutos, distribuidos en la ubicación de los materiales en el molde y el tiempo de vulcanización y conformación de la suela.

Figura 101: Prototipo- Suela con refuerzo de Figue



SUELA CON REFUERZO DE FIQUE
Color: Negro
Peso: 165g C/u
Talla: 38

Fuente: Autora del proyecto

Figura 102: Prototipo- Suela con refuerzo de Mimbre



SUELA CON REFUERZO DE FIQUE
Color: Gris
Peso: 163g C/u
Talla: 38

Fuente: Autora del proyecto

En las siguientes tablas se definen los costos para cada tipo de suela. En el costo de un par de suelas influye el valor de la materia prima y el costo de producción del producto; el costo de la fabricación del molde matriz es solo inicial, ya que este solo debe ser fabricado una vez.

Tabla 25: Costos para suela con refuerzo de Fique

Descripción		Cantidad	Costo Unitario	Cantidad (par de suelas)	Costo total
Producción Molde matriz	Fabricación de molde de yeso y arena	6kl yeso	\$2000	\$6.000	\$ 200.000
	Fundición de aluminio	16kl	\$270	\$43.200	
	Mano de obra	----	----	\$150.000	
Materia prima	TR- Caucho termoplástico	1000g	\$ 6.430	330g	\$ 2.121
	Fique	60*100cm	\$ 20.000	30*23cm	\$ 4.000
Montaje de la suela	Corte de las piezas y peso de las piezas	2 suelas	\$ 125	2suelas	\$ 125
	Vulcanización				
	Sección de refilado				
Total					\$ 6.246
Fuente: Autora del proyecto					

Tabla 26: Costos para suelas con refuerzo de Mimbre

Descripción		Cantidad	Costo Unitario	Cantidad (par de suelas)	Costo total
Producción Molde matriz	Fabricación de molde de yeso y arena	6kl yeso	\$2000	\$6.000	\$ 200.000
	Fundición de aluminio	16kl	\$270	\$43.200	
	Mano de obra	----	----	\$150.000	
Materia prima	TR- Caucho termoplástico	1000g	6430	320g	\$ 2.051
	Mimbre	50*100cm	\$ 45.000	30*23cm	\$ 5.000
Montaje de la suela	Corte de las piezas y peso de las piezas	2 suelas	\$ 125	2suelas	\$ 125
	Vulcanización				
	Sección de refilado				
Total					\$ 7.176
Fuente: Autora del proyecto					

En comparación con el análisis de mercado realizado al inicio del proyecto, las suelas diseñadas se encuentran dentro del promedio de costo de las suelas que se encuentran en el mercado. La importancia de este aspecto radica en la posibilidad tangible de producción de las suelas en la empresa productora ya que el producto puede hacer parte de su portafolio con un costo accesible para sus clientes.

El rango de costos de la suela en las tiendas distribuidoras es de \$1200 a \$8000 para todos los materiales; y de \$2000 a \$5000 para las suelas de caucho. El costo de \$7083 y \$7984 de las suelas con refuerzo de fique y de mimbre, es mayor que el de las suelas de caucho existentes, pero debe tenerse en cuenta que tienen una ventaja de diseño, mecánica y existe un valor agregado diferenciador en el producto, que puede posicionarlo dentro del mercado.

12.1 Aplicación del producto

Como etapa final del desarrollo del producto, su aplicación final va dirigida a la fabricación de una muestra de calzado para el que fue diseñada la suela con el material con refuerzo de fibras naturales.

El calzado para la muestra fue fabricado en cuero color verde; modelo es talla 38 de calzado sport de corte alto, con cordones.

Figura 103: Aplicación de uso para el producto



Fuente: Autora del proyecto

En este proyecto se fabricó la muestra, con el fin de comprobar la funcionalidad y usabilidad del producto, puede de esta manera concluirse el proceso de desarrollo de las suelas.

13 CONCLUSIONES

El uso de materiales reforzados con fibras, en la industria del calzado, no es tan extenso. En el área de suelas, el desarrollo de materiales es la principal línea para la innovación y los materiales compuestos con fibras naturales son una alternativa para aportar una ventaja mecánica en el diseño de estas. Los refuerzos de fique y de mimbre utilizados en este proyecto, contribuyen a mejorar las propiedades de resistencia mecánica y estructural de las suelas que pueden ser aprovechadas según los requerimientos de dureza, resistencia elástica, resistencia a la flexión y de acuerdo a los requerimientos de uso de la suela que se va a diseñar.

El estudio de los materiales compuestos en el diseño de suelas aporta al desarrollo de nuevos materiales que sean diseñados de acuerdo a las propiedades que requiera el producto y sea completado el proceso de diseño con su aplicación. El aumento de la resistencia mecánica a la tracción, es una de las ventajas que ofrecen el material compuesto frente a los tradicionales y la versatilidad de las fibras naturales para su aplicación como refuerzo, es también un aporte al desarrollo de estos.

En la fabricación de suelas, ya se usan fibras naturales pero principalmente como elementos secundarios, se entienden estos como elementos no estructurales, los cuales no tienen una función en el comportamiento mecánico del material y por lo tanto tampoco en la suela. Según el estudio realizado, la ventaja generada por las propiedades del material compuesto desarrollado y la viabilidad del uso de este, genera una alternativa de diseño y desarrollo de suelas a partir de la aplicación de fibras naturales utilizadas tradicionalmente en otros campos.

El caucho termoplástico permite la utilización de refuerzos de fibras naturales ya que al ser vulcanizado junto con estas, la matriz se adhiere de forma correcta con el material logrando la sinergia necesaria para que estos funcionen como un material compuesto.

La fibra de mimbre aumenta entre el 14 y 23% la dureza de la matriz de TR, elevando el límite elástico con respecto a la matriz sin refuerzo. Para el refuerzo de fique la dureza aumenta solo en un 11% y, para la muestra con doble capa de TR la dureza disminuye con respecto a la muestra sin refuerzo. Este reconocimiento de la dureza del material, permite identificar las condiciones adecuadas para el uso de este en el diseño de la suela de acuerdo a los requerimientos.

El comportamiento a flexión repetida, o ensayo de fatiga ante esfuerzos de flexión, de las dos muestras del material, aplicado en un prototipo de suela, es adecuado para su uso ya que presenta un desempeño alto en este ensayo. La resistencia a la flexión repetida, siendo uno de los principales requerimientos del diseño de la suela, permite que se apruebe el uso del material en la fabricación de calzado sport masculino.

Los ensayos de dureza y tracción convergen también, en el comportamiento de la suela cuando es sometida a esfuerzos de flexión repetida ya que la eficiencia del material que se prueba, depende de sus propiedades mecánicas y físicas. En este proyecto, el refuerzo de fibras favorece a la eliminación en la propagación de la incisión de corte realizado en la suela para la prueba de flexión; el conjunto de material matriz y fibra de refuerzo se comporta de manera eficiente respecto a los requerimientos de diseño de suelas.

En el presente proyecto, el uso del método tradicional de fundición para la fabricación del molde y el proceso manual de pulido, genera detalles indeseados en el acabado de la suela; estos pueden ser corregidos con la fabricación de un molde por microfundición el cual tienen un costo entre \$600.000 a \$1.000.000¹³, este valor actúa en los costos iniciales de la producción de una nueva suela y puede ser considerado para la producción en serie de la suela diseñada.

13. SUELAS E INSUMOS GALLEGOS, Área de producción de moldes. Bucaramanga, 2013

14 RECOMENDACIONES

Al diseñar las suelas, debe tenerse en cuenta el grosor de las fibras para procurar que se mantenga la sinergia entre los materiales, los diseños deben mantener un grosor mínimo de 8mm para el material de la matriz.

El tiempo requerido para la vulcanización de las suelas puede mantenerse ya que la fibra no se ve afectada directamente; el refuerzo puede ser trabajado a temperaturas desde 130°C a 190°C.

La fabricación del molde puede realizarse por medio de micro fundición y el uso de en yeso para tallar para la fabricación de modelos y moldes si se va a realizar una producción mayor de las suelas; esto, para mantener una acabado limpio en la vulcanización de la suela.

Como alternativa para un nuevo estudio, puede aprovecharse una de las exigencias actuales principales para un material compuesto, esta consiste en el uso de fibras de refuerzo que trabaje en las tres direcciones (normalmente lo hace en dos). En las suelas, la consideración de esta alternativa, puede ampliar la utilización de refuerzos con fibras naturales que según su disposición dentro del material pueden desplazarse dentro del material al ser sometido a esfuerzos de manera que proporcionen ventaja mecánica al material.

15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ROJAS H., Álvaro. CEINNOVA, Boletín técnico No.7: Mapeo tecnológico en el sector de proveeduría– suelas. Bogotá. Pdf.
- [2] STUPENENGO, Franco. “Materiales y materias primas- Materiales compuestos”. Argentina. 2011.
- [3] HULL, Derek. “An Introduction to composite materials”. España, 1987.
- [4] ASHBY, Michael F.; JONES, David R. “Materiales Para Ingeniería 2”. España. 2009.
- [5] ASKELAND, Donald R. “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”. 3ªed. Cap. 16.
- [6] FERRER, Carlos; AMIGÓ, Vicente; SALVADOR, M^a Dolores; CÁRCEL, Alfonso; SEGOVIA, Emilio. “Fundamentos de Ciencia de Materiales- Tomo II”. Valencia, 2007.
- [7] MIRAVETE, Antonio. Materiales compuestos, tomo I. Barcelona, España. 2007. Cap. 1,
- [8] LESKO, Jim. Diseño Industrial, Guía de materiales y procesos de manufactura: Plásticos. México, 2010, Cap. 13,
- [9] MONCADA B., Diana Carolina; NIÑO PÉREZ, Erika Marcela. “Vulcanización de caucho e inyección de PVC y TR para la fabricación de suelas”. Universidad Industrial de Santander. 2012.
- [10] KALIA, S.; KAITH, B. S.; KAUR, I. “Cellulose fibers: Bio- and Nano- polimer composites”. Berlín Heidelberg. 2011. Cap. 1.
- [11] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. “2009 Año Internacional de las fibras naturales – Fique opción de progreso. 2009. <http://www.fao.org/co/boletin_%20fique.pdf> [Consultado en Agosto de 2012]

- [12] FUNDACIÓN CODESARROLLO. “Fomento del cultivo del fique como alternativa de diversificación en los municipios de Támesis, Jericó y Montebello del departamento de Antioquia. 2007. Cap. 4,
- [13] Artesanías de Cundinamarca. Disponible en la web: <http://www.guiaturisticadebogota.com/?page_id=417> Consultado en Agosto, 2012.
- [14] INTI, Centro de Investigación y Desarrollo en Diseño Industrial. “Oportunidades de agregar valor a la cadena del mimbre y otros materiales del Delta”. Argentina.
- [15] ASHBY, Michael F.; JONES, David R. “Materiales Para Ingeniería 1”. España. 2009.
- [16] REVOLUCIONES INDUSTRIALES, Blog: Procesos para el caucho. Disponible en la web: <<http://www.revolucionesindustriales.com/industrias-caseras/caucho.html>> Consultado en agosto de 2012.
- [17] ROJAS H., Álvaro. Ceinnova. Ejercicio de vigilancia tecnológica para el sector del calzado. Bogotá, 2009. Pdf
- [18] NYCE Laboratorio. Laboratorio Nacional de prueba de materiales y productos. “Calzado de seguridad”. México. 2012
- [19] CONFECAT SA. Laboratorio de control de procesos. Disponible en la web: <<http://www.confecat.com.ar/normas.php>>
- [20] NTC-ISO 20344. Equipos de protección personal. Métodos de ensayo para calzado. 2007
- [21] FLORES P., Claudia Yaneth; ESPINEL, Francisco. “Programa para la innovación, desarrollo e investigación (i+d+i) aplicada a los procesos de realización y comerciales mediante la implementación e inserción de tic en la cadena productiva de calzado marroquinería del departamento de Santander”. Proyecto conjunto: UIS Escuela de diseño industrial, Grupo de investigación en ergonomía producto y significado GEPS.- Centro de productividad del oriente CPc y Colciencias. Bucaramanga. 2012

- [22] PATIÑO N., Jimena. "Diseño y construcción de un modelo funcional de plantillas ortopédicas para diabéticos". Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2005

- [23] IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia. "Guía de recomendaciones para el diseño de calzado". Grupo de Biomecánica deportiva. 1995

- [24] ASTM International; D412-98^a. "Standard test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers Tension. 2002.

- [25] NTC 467. Propiedades del Caucho Determinación de Dureza con Durómetro. 2006

16 ANEXOS

16.1 Fotografías en detalle – ruptura a tensión

1. PROBETAS DE FIQUE- F1 (Una capa de caucho)



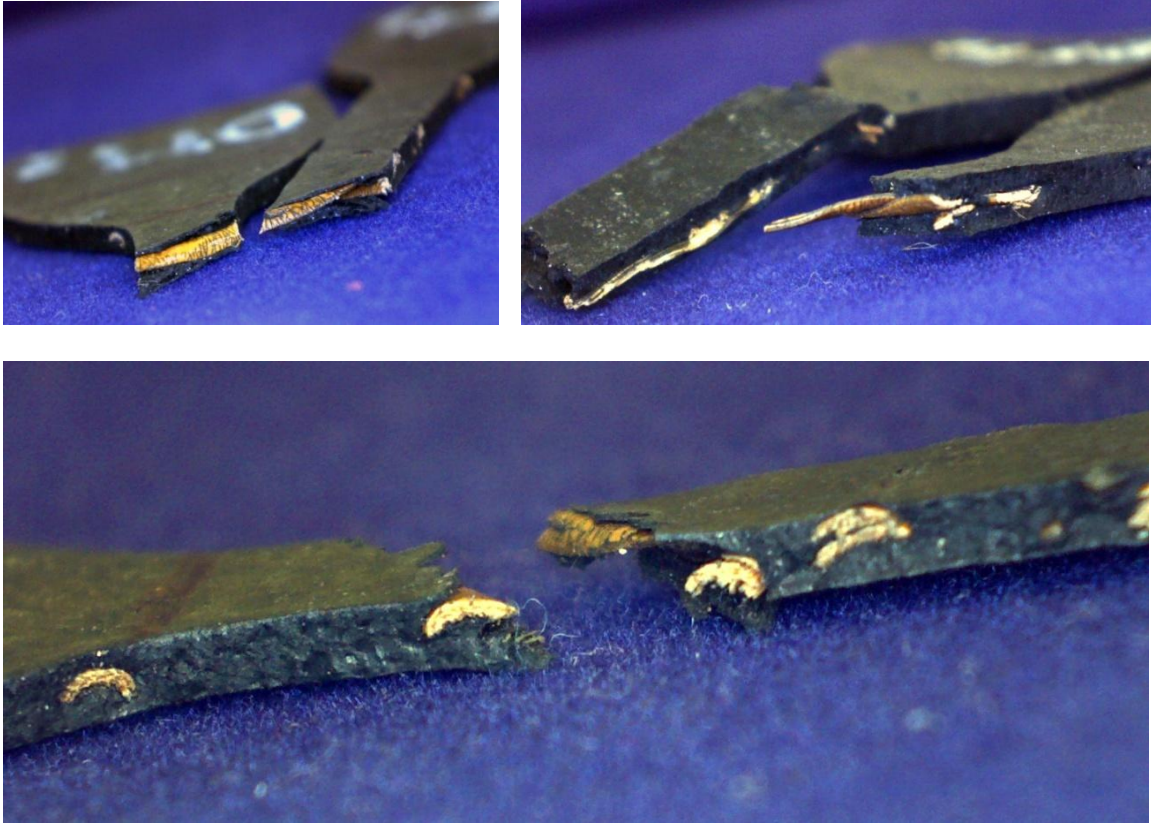
2. PROBETAS DE FIQUE- DF1 (Doble capa de caucho)



3. PROBETAS DE MIMBRE- M2 (Una capa de caucho)



4. PROBETAS DE MIMBRE- DM1 (DOBLE CAPA DE CAUCHO)



5. PROBETAS DE SOLO CAUCHO



16.2 Informe Pueba de Flexión para suelas- Laboratorio CEINNOVA

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS
LAB 5529
CEINNOVA registro de marca según resolución No. 36388 - 81C

Ciudad y fecha de emisión: Bogotá D. C. **Abril 20 de 2013**

Formato FTO - LAB - 002 - Versión 23 de 2013-02-25	Pagina 1 de 3
--	---------------

El presente informe sobre resultados obtenidos al analizar producto terminado, accesorios o elementos para la industria del calzado, cuero o afines, no implica juicio sobre partes o productos diferentes a los evaluados y es válido solamente para las muestras descritas en el numeral 5 e identificadas como se establece en el numeral 8. **Así mismo, el informe no implica ningún fallo sobre productos diferentes a los analizados y que suministre y/o evalúe la empresa identificada como KEYLA ALEJANDRA CORDOBÉS MOLINA**

Los resultados se consideran como propiedad del solicitante y sin autorización previa CEINNOVA se abstendrá de comunicarlos a un tercero. El control, manejo o posible uso inadecuado del presente documento será responsabilidad de la empresa identificada como **KEYLA ALEJANDRA CORDOBÉS MOLINA**; se deja explícito que únicamente bajo autorización escrita de CEINNOVA el presente informe de resultados puede ser reproducido.

Se sugiere que el solicitante verifique el contenido del informe, previo a los tramites que realizará con el presente documento; en caso de oposición o duda con respecto a los resultados reportados, CEINNOVA dispone de un procedimiento para atender las quejas o reclamos que el solicitante estime conveniente aclarar; para tal caso CEINNOVA conserva muestra testigo por espacio de 45 días hábiles a partir de la fecha de emisión del informe de resultados.

VALIDEZ DEL DOCUMENTO: Completo, total páginas TRES (cada una lleva "sello seco") y firmado en estado original.							
Fecha de recepción	AÑO	MES	DÍA	Fecha análisis	AÑO	MES	DÍA
	2013	04	15		2013	04	17
Lugar de expedición:	Bogotá D. C.						
Muestra suministrada por:	KEYLA ALEJANDRA CORDOBÉS MOLINA Estudiante Diseño industrial UIS						
Toma de muestras:	La muestra ha sido libremente elegida y enviada por el solicitante bajo sus propias normas y criterios.						

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS
LAB 5529
CEINNOVA registro de marca según resolución No. 36988 - SIC

1	Solicitado por:	KEYLA ALEJANDRA CORDOBÉS MOLINA Estudiante Diseño Industrial UIS
2	Fabricante :	Información no indicada por el solicitante.
3	Análisis efectuado por:	Centro Tecnológico para las Industrias del Cazado, Cuero y Afines – CEINNOVA - http://www.ceinnova.org.co/ .
4	Información con destino a:	KEYLA ALEJANDRA CORDOBÉS MOLINA Estudiante Diseño industrial UIS Calle 116 No. 31-69 Santa Catalina torre 12 APT-536 Tel: 3168587922 Bucaramanga - Santander
5	Descripción de la muestra:	Una muestra (1) conformada por dos unidades de suelas en caucho negras con fiqye y con mimbre.
6	Propósito:	Efectuar la verificación de propiedades físicas, concretamente los ensayos bilateralmente acordados en el FTO-LAB-003 de 2013-04-16.
7	Resultados:	En la página No. 3 del presente documento se informa el resultado obtenido por CEINNOVA y los requisitos establecidos en los documentos relacionados en el numeral 6.
8	Identificación:	La muestra evaluada fue parcialmente destruida a causa de la ejecución de los análisis; CEINNOVA dispone de un procedimiento para atender las quejas o reclamos que el solicitante estime conveniente aclarar; para tal caso CEINNOVA conserva muestra testigo por espacio de 45 días hábiles a partir de la fecha de emisión del informe de resultados.
9	Condiciones ambientales:	Condiciones generales ambientales controladas (registro y copia de seguridad Termo higrómetro – EXTECH) en el Laboratorio de pruebas y ensayos, durante el tiempo que tomo la evaluación de las muestras: <ul style="list-style-type: none"> • Humedad relativa: 50 % ± 5 % • Temperatura: 23°C ± 2°C

Verificación, control y emisión:

Wilmar Herrera Gil
Director de Laboratorio
E - mail: laboratorio@ceinnova.org.co

Importante: previo a los trámites que realizará con el presente informe es imprescindible que el solicitante verifique el contenido del mismo (incluye la comparación contra la respectiva Norma o documento de referencia).

Documento LAB 5529 destino: "KEYLA ALEJANDRA CORDOBÉS MOLINA"

"Validez en original + Firma + Sello seco"

Página 2 de 3

2013-04-20

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS
LAB 5529
CEINNOVA registro de marca según resolución No. 36388 - SIC

RESULTADOS

Documento de referencia para acondicionamiento de muestras y probetas para ensayo:	Norma NTC 6019/2001: Calzado. Atmosferas normales para acondicionamiento y pruebas de calzado y sus componentes
--	---

TABLA No. 01 - RESULTADOS EN LA PRUEBA DE FLEXIÓN DE SUELA COMPLETA El Equipo empleado SATRA STM 465 - NTC ISO 20344: 2007-11-16
Principio de la prueba: La suela es colocada en posición horizontal (sin flexión) en el porta-suela del equipo; una vez alcanzada la posición requerida, se efectúa la perforación (Inciisión Inicial) con el accesorio para tal fin. (Se programa el equipo a intervalos periódicos de flexión se efectúa verificación / Inspección si ha ocurrido incremento de la Incisión Inicial) las muestras son llevadas hasta 30.000 ciclos de flexión. Se reportan las observaciones encontradas junto con el No. de ciclos en los cuales aplica el resultado.

SUELA REFORZADA CON FIQUE					
Espesor promedio de la suela (Muestra No.1 = 8,5 mm)					
Resultados: Incremento del corte Inicial (Inciisión Inicial de 2,1 mm) a los ciclos indicados a continuación:					
Muestra	2.000 ciclos	5.000 ciclos	10.000 ciclos	20.000 ciclos	30.000 ciclos:
REFORZADA CON FIQUE	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm

SUELA REFORZADA CON MIMBRE					
Espesor promedio de la suela (Muestra No.2 = 8,5 mm)					
Resultados: Incremento del corte Inicial (Inciisión Inicial de 2,1 mm) a los ciclos indicados a continuación:					
Muestra	2.000 ciclos	5.000 ciclos	10.000 ciclos	20.000 ciclos	30.000 ciclos:
SUELA REFORZADA CON MIMBRE	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm
OBSERVACIÓN	La muestra presenta un leve desprendimiento y ruptura del material de refuerzo en algunas zonas.				

WILMAR HERRERA GIL
Director de Laboratorio