

DESARROLLO DE MONOALETAS PARA NATACIÓN CON ALETAS

JAIRO ALBERTO TABORDA ARENAS

**TESIS DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO
INDUSTRIAL**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE ARTES Y HUMANIDADES
INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2015**

JAIRO ALBERTO TABORDA ARENAS

TESIS DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO
INDUSTRIAL

ASESOR: JUAN DAVID CORREA VALLEJO
DOCENTE DE CÁTEDRA

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE ARTES Y HUMANIDADES
INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2015

Nota de Aceptación

Firma del asesor

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, viernes 13 de noviembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Quiero manifestar un profundo agradecimiento a mi familia por promover y patrocinar mi carrera deportiva y profesional.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. PROBLEMA	3
2.1 DEFINICIÓN DE PROBLEMA	2
2.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	4
2.3 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	5
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. OBJETIVOS	9
5. MARCO TEÓRICO	10
5.1 HISTORIA	10
5.2 MODALIDADES DEPORTIVAS Y LAS PRUEBAS APROBADAS POR LA CONFEDERACIÓN MUNDIAL	14
5.3 MONOALETA	15
5.4 ANÁLISIS BIOMECÁNICO	19
5.5 ESTADO DEL ARTE	25
5.6 MATERIALES Y COMPOSICIÓN	32
5.6.1 MATERIALES COMPUESTOS	33

5.6.2 CAUCHOS	38
5.7 PROCESOS DE FABRICACIÓN	39
5.7.1 MATERIALES COMPUESTOS	39
5.7.2 MÉTODOS DE VULCANIZACIÓN	45
5.8 ADHESIVOS	48
5.9 HERRAMIENTAS MAQUINARIA Y CONTROL	49
6. PROPUESTAS DE DISEÑO	56
7. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	61
8. FABRICACIÓN Y PRODUCCIÓN	62
8.1 POBLACIÓN OBJETIVO	62
8.2 FABRICACIÓN CALZANTE	63
8.3 ELABORACIÓN DE LA PALA	68
9. LOCALIZACIÓN FÍSICA	76
10. METAS Y ALCANCES	77
10.1 BENEFICIARIOS PREVISTOS	77
11. CRONOGRAMA	78
12. RECURSOS	80
12.1 RECURSOS MATERIALES	80
12.2 RECURSOS TÉCNICOS	80

13. DESARROLLO DE NOMBRE Y LOGOTIPO	82
14. PLAN DE NEGOCIOS	84
14.1 ANÁLISIS DEL MERCADO	84
14.2 DESARROLLO	85
14.3 ANÁLISIS FINANCIERO	88
15. RESULTADOS	93
16. CONCLUSIONES	96
17. REFERENCIAS	97
18. BIBLIOGRAFÍA	98

LISTA DE TABLAS	Pág.
Tabla 1. Requerimientos de diseño.	5
Tabla 2. Especificaciones de diseño.	7
Tabla 3. Principales características mecánicas de las resinas.	37
Tabla 4. Propuesta 1.	57
Tabla 5. Propuesta 2.	59
Tabla 6. Propuesta 3.	60
Tabla 7. Evaluación de alternativas.	61
Tabla 8. Medidas antropométricas.	64
Tabla 9. Cronograma.	78
Tabla 10. Recursos materiales.	80
Tabla 11. Calendario puesto en marcha	86
Tabla 12. Estado de resultados comparativos	89
Tabla 13. Análisis financiero.	92

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Mapa conceptual	14
Gráfica 2. Tiempo de desarrollo de proyecto	79
Gráfica 3. Distribución de cargos	87
Gráfica 4. Estimado de producción	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Codex Atlanticus	12
Figura 2. Aletas Poseidón	13
Figura 3. Monoaleta	16
Figura 4. Monoaleta infantil	17
Figura 5. Monoaleta básica	18
Figura 6. Monoaleta profesional	19
Figura 7. Natación con monoaletas	20
Figura 8. Locomoción humana en el medio acuático	21
Figura 9. Resistencia de forma o presión	22
Figura 10. Alineación del cuerpo	23
Figura 11. Efecto Riblet en la piel de tiburón	24
Figura 12 Monoaleta Finis	26
Figura 13. Monoaleta Ciamillo	27
Figura 14. Monoaleta Waterway	28

Figura 15. Monoaleta Leaderfins	29
Figura 16. Monoaleta Rocketfin	30
Figura 17. Monoaleta Matmas	31
Figura 18. Monoaleta Binfins	32
Figura 19. Fibra dispersa	34
Figura 20. Tejido plano	34
Figura 21. Aramida	35
Figura 22. Fibra de carbono	36
Figura 23. Método contacto manual	40
Figura 24. Método de proyección	41
Figura 25. Autoclave	41
Figura 26. Enrollado de filamentos	42
Figura 27. Molde compresión caliente	43
Figura 28. Moldeo por inyección	43
Figura 29. Poltrución	44

Figura 30. Infusión de resina	45
Figura 31. Moldeo por compresión	46
Figura 32. Moldeo por transferencia	47
Figura 33. Moldeo continuo	4
Figura 34. Autoclave	50
Figura 35. Prensa hidráulica	51
Figura 36. Molino de caucho	52
Figura 37. Bomba de vacío	53
Figura 38. Manómetro	53
Figura 39. Control de temperatura	54
Figura 40. Temporizador	54
Figura 41. Propuesta 1	56
Figura 42. Propuesta 1 lateral	57
Figura 43. Propuesta 2	58
Figura 44. Propuesta 2 lateral	58

Figura 45. Propuesta 3	59
Figura 46. Propuesta 3 lateral	60
Figura 47. Partes monoaleta	62
Figura 48. Flexión común	65
Figura 49. Flexión forzada	66
Figura 50. Ángulo flexión forzada	66
Figura 51. Molde calzante	67
Figura 52. Patrón de corte	69
Figura 53. Base molde	70
Figura 54. Corte de material	70
Figura 55. Capas de conformación	71
Figura 56. Laminación manual asistida por vacío	72
Figura 57. Conjunto en vacío	73
Figura 58. Desmolde	74
Figura 59. Nombre	82

Figura 60. Logo	82
Figura 61. Dispersión del color	83
Figura 62. Monoaleta producto final	95

RESUMEN

La monoaleta es un elemento externo, que le permite al deportista desplazarse en el medio acuático más efectivamente logrando importantes velocidades. Está compuesta por un calzante y una pala. El calzante se compone principalmente de caucho o materiales elásticos similares, la pala está elaborada en materiales compuestos como fibras de vidrio, fibras de carbono, aramida y resinas epóxicas principalmente.

Este proyecto se centra en el desarrollo de monoaletas profesionales, donde la fabricación se desarrolla de manera manual valiéndose de variados procesos industriales.

PALABRAS CLAVE: CMAS, monoaleta, natación con aletas, vulcanización, laminación, materiales compuestos.

ABSTRACT

Monofin is an external element, which allows the athlete to move more effectively in the water achieving significant speed. It's composed by a foot pocket and a shovel, the first is basically composed of rubber or similar elastic material, the blade is made of materials compounds as glass fibers, carbon fibers, aramid and epoxy resins mainly.

This project focuses on the development of professional monofins, where manufacturing takes place manually making use of industrial processes.

KEY WORDS: CMAS, monofin, finswimming, vulcanitation, laminated, composite materials.

1. INTRODUCCIÓN.

La natación con aletas requiere una industria propia para fabricar sus implementos deportivos considerablemente alejados de otros productos de carácter masivo y comercial, convirtiendo muchas veces a estos en piezas únicas fabricadas de forma manual utilizando procesos y materiales industriales. Este tipo de industria está centralizada por tradición en países europeos y asiáticos donde encontramos una cantidad importante de fabricantes, que contrasta con una pobre o casi nula presencia de fabricantes americanos que suplan la demanda de material deportivo de alto rendimiento como las monoaletas.

Lo que restringe el desarrollo deportivo nacional y regional debido a los elevados costos derivados de la importación y legalización de estos artículos así como el difícil acceso a un implemento pertinente para las necesidades específicas de cada deportista y garantías sobre el producto.

Es por estas razones que este proyecto único a nivel nacional busca ofrecer un producto idóneo de mayor acceso, desarrollado con base a las características y necesidades propias de Latinoamérica donde la población, la economía y los factores ambientales difieren considerablemente que mantiene los estándares de competitividad internacionales.

Para lograr el objetivo, se realiza una investigación de materiales, fuentes y mercados nacionales e internacionales así como una búsqueda de información recopilada en internet, libros y revistas actuales, con el fin de lograr un producto eficiente y a bajo costo, que llene el vacío comercial que actualmente tiene el país con las monoaletas.

El presente trabajo esta dividido en cuatro grandes bloques. El primero consta de antecedentes, segundo investigación de materiales, proceso de fabricación y por último análisis financiero.

El llamado es a las más de 10 ligas afiliadas a Federación Colombiana de Actividades Subacuáticas (FEDECAS), a la Liga Antioqueña de Actividades Subacuáticas (LASA) y a países de la región como son Argentina, México, Cuba, Venezuela, Perú y Estados Unidos. Países que incursionan en la práctica de la natación con aletas y que tienen como referente a nuestro país ya que ha logrado registro de records absolutos en algunas pruebas y por esto pertenecer a los primeros lugares del Rankin mundial, a que tengan en cuenta este prototipo de monoaleta con la seguridad de contar con un excelente producto.

2. PROBLEMA.

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema radica principalmente en la dificultad para conseguir este tipo de elementos, sea como producto terminado, piezas de repuesto o recambio, así como, el acceso a garantías y opciones de personalización en un mercado que incrementa sus demandas cada año debido al auge del deporte a nivel nacional y regional.

En términos de la monoaleta y sus configuraciones actuales se identifican algunas falencias que constituyen precisamente el punto central en el desarrollo de este proyecto, donde el diseño industrial ofrece una gran cantidad de opciones de mejoramiento, abarcando los siguientes ítems:

- *Referente formal:* La naturaleza ofrece un sin número de adaptaciones que depuradas y adaptadas a un producto como la monoaleta pueden favorecer su rendimiento.
- *Análisis biomecánico:* Un análisis sobre la dinámica del movimiento ondulatorio que produce la propulsión con la monoaleta puede aportar grandes ideas para su fabricación.
- *Desarrollo de herramientas:* La adaptación de algunas herramientas y la fabricación de otras constituyen un factor primordial para la producción de una monoaleta.
- *Desarrollo estético:* La monoaleta como elemento deportivo de alto rendimiento requiere un adecuado equilibrio entre función, forma y apariencia.
- *Materiales industriales:* Un producto de este tipo requiere materiales muy específicos y la selección de los mismos con criterios técnicos.
- *Ergonomía:* La correcta adaptación de la monoaleta a los pies del usuario, como resultado de un análisis antropométrico, favorece la transferencia de fuerzas, así mismo una experiencia de uso favorable que pueda evitar lesiones y sobre esfuerzos en articulaciones, tendones y músculos.

2.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

El producto a desarrollar deberá estar enmarcado en una serie de requerimientos expresados a continuación:

Requerimientos de uso	
Seguridad	Materiales que eviten cortes, recubrimiento de piezas contundentes.
Reparación	Posibilidad de remplazo parcial.
Manipulación	Posibilitar rangos de movimiento del usuario.
Antropometría	Percentiles de población objetivo.
Ergonomía	Diseño basado en medidas específicas, peso ligero para evitar lesiones.
Transporte	Facilidad para el transporte individual y comercial (mensajería).

Requerimientos de función	
Confiability	Fiabilidad del producto en pruebas deportivas.
Resistencia	Esfuerzos de flexión y compresión durante el desplazamiento.
Acabado	Superficies lisas, reducción de resistencia por fricción.

Requerimientos estructurales	
Componentes	Mínimos componentes facilidad de ensamble.
Unión	Sustratos que acepten adhesivos líquidos.

Requerimientos técnico productivos	
Mano de obra	Personal con habilidades técnicas y manuales.
Normalización	Distribución de material basado en medidas comerciales de área y peso.
Línea de producción	Registro de procesos y secuencias de ensamble.
Materias primas	Resistencias mecánicas y químicas elevadas, bajo peso. Disponibilidad comercial.
Control de calidad	Inspección visual, análisis manual, prueba acuática.
Embalaje	Recubrimiento y protección rígida para transporte de materiales frágiles.

Requerimientos de mercado	
Demanda	Elevada necesidad de material de alto rendimiento deportivo nacional.
Oferta	Elevada oferta de productos similares importados.
Precio	Menor o igual a sus similares.
Ganancia	No inferior al 30%
Distribución	Directa o distribución por medio de terceros en otras ciudades.
Ciclo de vida	Superior a 2 años bajo condiciones ambientales colombianas.

Requerimientos Legales	
Normatividad	Cumplimiento de reglamentación internacional

Tabla 1. Requerimientos de diseño.

2.3 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Con base a los anteriores requerimientos se elabora una tabla de especificaciones con los valores cuantitativos a tener en cuenta:

Clasificación	Necesidad	Requerimiento	Medida	Unidad	Valor	D/d
Seguridad	Que proporcione protección a cortes	Espesores de recubrimiento en bordes	3	distancia	mm	D
	Que no genere lesiones	Rangos de movimiento para el tobillo	<70	Angulo	Grados	D
Materiales	Que esté disponible comercialmente	Acceso constante a la materia prima	1	Area	m2	D
	Que sean resistentes mecánicamente y livianos	Prestaciones destacadas y bajo peso	< 3,5	Peso	kg	D

	Que no se degraden fácilmente	Resistencias a radiación y químicos	>2	Tiempo	Años	d
Mantenimiento	Que tengan piezas reemplazables	Elementos de ensamble	<15	Cantidad	Unidades	d
	Que sus superficies acepten reparaciones	Adherencia entre capas con pegamentos líquidos	20	Presión	kg /cm ²	d
Ergonomía	Que sea acople al usuario	percentiles propios de la población objetivo	< 50	Percentil	P	D
Transporte	Que se almacenen fácilmente	Forma y peso bajo para su transporte a mano.	<3,5	Peso	Kg	d
Normas y especificaciones	Que se construyan en base a las normas del deporte	medidas reglamentarias	$\leq 76 \times 76 \times 15$	Dimensiones	Cm	D
Facilidad en Manufactura	Que se pueda fabricar secuencialmente	Tiempos de fabricación	<40	tiempo	Horas	d
Usuario	Que sea suave	Superficies de contacto suaves y pulidas	>50	Rugosidad	micrómetro	d
Costo del producto	Que su valor sea competitivo	Precios iguales o más bajos a los de sus similares	<2000000	Pesos	COP	d

Vida en servicio	Que tenga desempeño constante en su vida útil	Durabilidad y desempeño a través del tiempo	4	Tiempo	Años	D
Estética	Que su diseño sea atractivo	Formas y colores agradables al usuario	Colores básicos	gama	colorimetría	d

Tabla 2. Especificaciones de diseño.

3. JUSTIFICACIÓN.

Este proyecto pretende suplir en parte la demanda local y regional de monoaletas profesionales para la práctica y popularización de la natación con aletas.

Actualmente este tipo de implementación deportiva proviene exclusivamente de países europeos y asiáticos donde el deporte ha tenido un mayor desarrollo, esto limita el acceso por parte de los deportistas e instituciones como las ligas departamentales. Nuestro país cuenta con recursos propios implicando una reducción de costos de importación.

Ser pionero y tener las competencias necesarias para satisfacer los estándares internacionales, con la reglamentación vigente expedida por la CMAS y para el tipo de deportista, se está supliendo una necesidad, solucionando un problema regional como lo es el acceso, al igual que se hace un reconocimiento a la manufactura nacional, al artesano productor de calidad.

4. OBJETIVOS

- Desarrollar un producto pertinente, basado en las competencias de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial que integre diferentes procesos y materiales industriales tomando en cuenta las necesidades específicas de la población objetivo, es decir, que supla en parte la demanda local y regional de material deportivo para la practica de la natación con aletas.
- Construir una monoaleta en su totalidad, aportando elementos propios del diseño industrial empleando diferentes materiales y procesos industriales para la manufactura con la ayuda de herramientas tecnológicas de control y registro que permitan replicar el proceso.

5. MARCO TEÓRICO.

El medio acuático siempre ha sido y será parte fundamental del hombre. Sus ganas de dominarlo lo han llevado a desarrollar una serie de ingeniosas adaptaciones que le han permitido la exploración y el disfrute del mismo.

Las actividades subacuáticas comprenden una variedad de deportes que se desarrollan sobre y bajo la superficie del agua, permitiendo introducir al deportista o practicante en un medio completamente diferente al acostumbrado en tierra.

5.1 HISTORIA

El origen de las actividades subacuáticas se remonta al inicio mismo de la raza humana, cuando el hombre explora su entorno y he identifica el medio acuático como parte fundamental para la obtención de su alimento y locomoción. El hombre descubre que puede incursionar bajo la superficie por un corto periodo de tiempo pero suficiente para casar o recoger alimento, encontrándose en un entorno totalmente desconocido he inexplorado que le genera una gran curiosidad; es por esa misma curiosidad y necesidad que desarrolla una serie de adaptaciones que le permiten permanecer y desplazarse más eficientemente en este.

Aprender a nadar se ha convertido en una actividad física de carácter obligatorio, ya sea por seguridad y prevención o por el disfrute de un deporte con grandes aportes físicos y recreativos. Difícilmente existen lugares donde su enseñanza no se promueva incluso de manera empírica en los grandes centros especializados como los complejos acuáticos hasta en los cuerpos naturales de agua como ríos, lagos y mares. Es debido a este factor que la natación es uno de los deportes más populares y con mayor número de practicantes a nivel mundial.

El deporte base es la natación con aletas, un deporte físicamente similar a la natación clásica en estilo mariposa pero que integra elementos externos para lograr un mayor desplazamiento y velocidad.

El desarrollo de la natación con aletas como deporte a nivel mundial es amplio he importante, incluso reconocido por el Comité Olímpico Internacional pero local y regionalmente es un deporte desconocido para muchos. En Colombia se practica la natación con aletas desde hace 30 años, cuando los países europeos y asiáticos ya abarcaban una larga trayectoria, sin embargo su desarrollo deportivo se ha incrementado y lo posiciona en la actualidad como una de las potencias

mundiales en el deporte de alto rendimiento y el país más destacado en el continente americano.

Esto ha causado que países de la región sigan de cerca su desarrollo y tomen su ejemplo para desarrollar sus federaciones nacionales.

El deporte subacuático se rige bajo las normas de la Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas CMAS. El origen de la Confederación se remonta al 28 de septiembre de 1958. Con ocasión del Congreso de la Confederación Internacional independiente que agrupaba al conjunto de Federaciones de actividades subacuáticas celebrado en Bruselas. En ese encuentro las federaciones de la República Federal de Alemania, Bélgica, Brasil, Francia, Grecia, Italia, Mónaco, Portugal, suiza, los Estados Unidos de Norteamérica y Yugoslavia acordaron la creación de la Confederación. Actualmente la CMAS agrupa una serie de deportes oficialmente reconocidos como lo son:¹

- Rugby subacuático
- Orientación subacuática
- Apnea
- Hockey subacuático
- Pesca deportiva
- Natación con aletas

Esta disciplina competitiva cuyos inicios se remontan a la época de Leonardo da Vinci (Figura 1), y pasa por los pescadores polinesios, los cuales para ayudarse en su actividad económica, construían aletas con largas hojas.

¹ History of CMAS, *World Underwater Federation's Official website*, <http://history.cmas.org/index> [Consulta: Mártes 10 de Noviembre de 2015].



Figura 1. Codex Atlanticus. Fuente: FMAS, Federación Mexicana de Actividades Subacuáticas.

<http://fmas.com.mx/Comitedeportivo/Nadoconaletas/Historiaydesarrollodelnadoconaletas.aspx> [Consulta: Noviembre 9 de 2015]

A finales de la década de los 50s (1959) se realizó la Primera Reunión General Anual de la Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (CMAS), la cual incluyó al Nado con Aletas y Velocidad Subacuática como una de sus disciplinas.

El capitán francés De Corlieu al observar a estos pescadores, inició la construcción de aletas de hule para la práctica militar, lo cual aunado a la naturaleza competitiva del hombre, posibilitó que antes de la segunda guerra mundial aparecieran las primeras competencias de nado con aletas y velocidad subacuática.

Posteriormente en la década de los 60s se celebró el primer campeonato de Europa en Angera (Italia) en 1967. En estos primeros campeonatos los nadadores utilizaban aletas fabricadas con placas de acero remachadas en aletas convencionales de caucho. A finales de los 60s y principios de los 70s se inicia la utilización de la fibra de vidrio por el acero Posteriormente siguiendo el desarrollo tecnológico se dio un cambio radical en la imagen de esta disciplina, con la aparición de la monoaleta en 1967; es aquí donde se separa totalmente de la natación clásica, ya que con la monoaleta se utiliza una técnica nueva imitando el movimiento de los mamíferos marinos.

En 1976 se llevo a cabo el primer Campeonato Mundial de Nado con aletas en Hanover (R.F.A.).

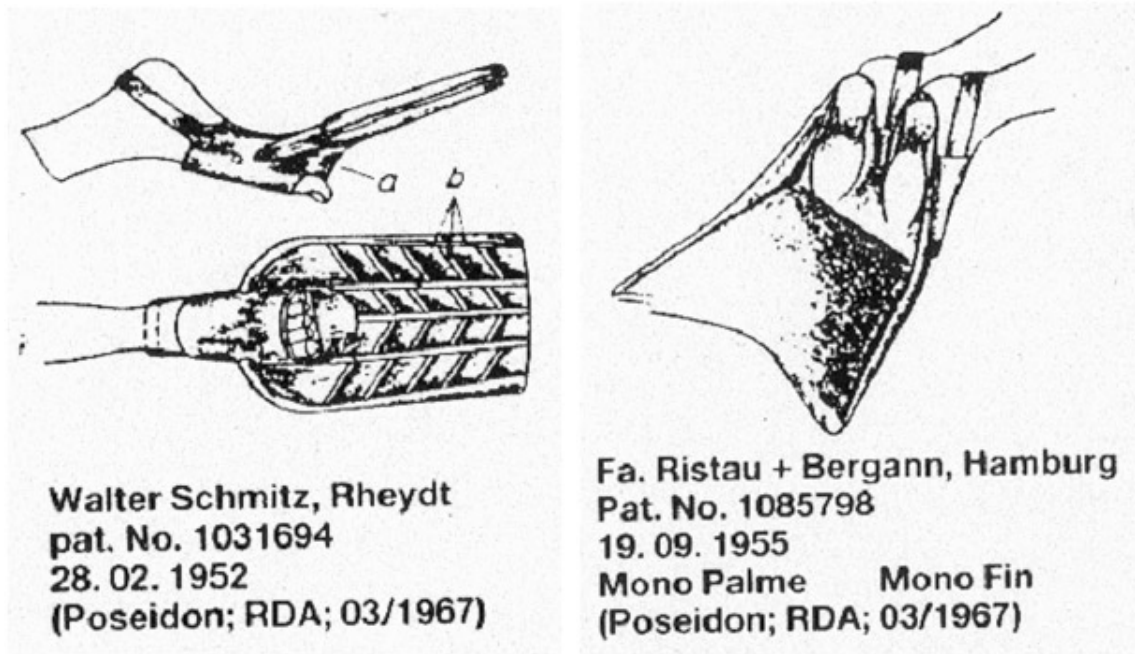
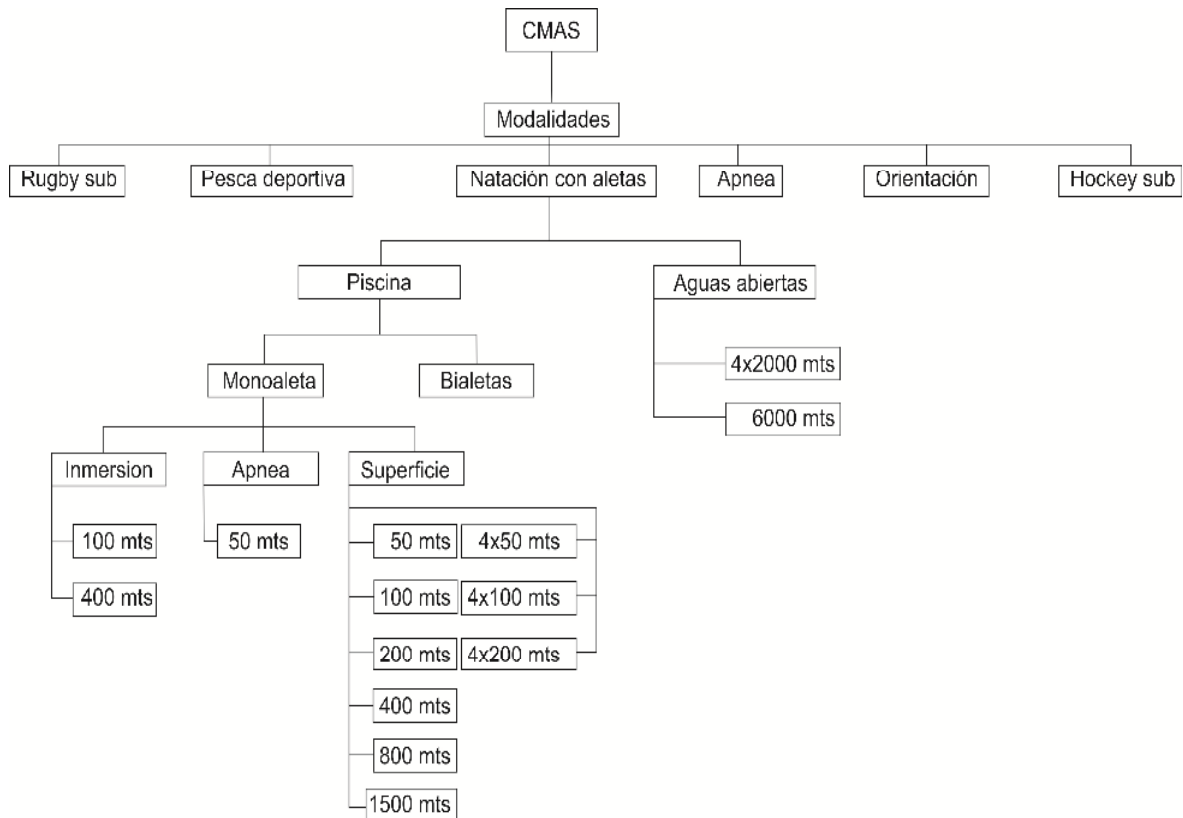


Figura 2. Aletas Poseidón. Fuente: FMAS Federación Mexicana de Actividades Subacuáticas
<http://fmas.com.mx/Comitedeportivo/Nadoconaletas/Historiaydesarrollodelnadoconaletas.aspx> [Consulta: Noviembre 9 de 2015].

En los 80s se presenta un dominio total de la monoaleta alcanzándose velocidades impresionantes de 12 km/h. Es dentro de esta época, donde se da el mayor suceso dentro de la historia de la CMAS ya que se le da el reconocimiento por parte del Comité Olímpico Internacional (C.O.I) a través de la disciplina de nado con aletas y velocidad subacuática (Esto gracias a la ardua labor realizada por el Comité Deportivo de la CMAS).²

² Historia Y Desarrollo Del Nado Con Aletas Y Velocidad Subacuática, *Federación Mexicana de Actividades Subacuáticas FMAS*,
<http://fmas.com.mx/Comitedeportivo/Nadoconaletas/Historiaydesarrollodelnadoconaletas.aspx>
[Consulta: Mártes 10 de Noviembre de 2015]

5.2 MODALIDADES DEPORTIVAS Y LAS PRUEBAS APROBADAS POR LA CONFEDERACIÓN MUNDIAL



Gráfica 1. Mapa conceptual. Expone las modalidades deportivas y las pruebas aprobadas por la confederación mundial, CMAS. Fuente: Creación propia.

Colombia cuenta con más de 10 ligas afiliadas a FEDECAS (Federación Colombiana de Actividades Subacuáticas). Para Antioquia la mayor autoridad a nivel departamental es la Liga Antioqueña de Actividades Subacuáticas (LASA) que agrupa clubes de Rugby subacuático, apnea, Hockey subacuático y natación con aletas, esta última con un total de 4 clubes afiliados y un estimado de 150 deportistas activos.

A nivel regional la natación con aletas se practica en naciones como: Argentina, México, Cuba, Venezuela, Perú y Estados Unidos. Países que incursionan en la práctica de la natación con aletas, teniendo a Colombia como uno de sus referentes, que destaca por su participación a nivel internacional como potencia mundial y registro de records absolutos en algunas pruebas.

5.3 LA MONOALETA

La monoaleta es un elemento para propulsarse para el agua, que beneficia el desplazamiento en este medio, utilizando el movimiento ondulatorio que imita a algunos mamíferos marinos como los cetáceos. Existen diferentes modelos y tipos de monoaletas que se definen por dos componentes básicos:

- *Zapato o calzante*: El zapato es un elemento construido en caucho o plástico principalmente, adquieren la forma de los pies y se encarga de fijar la monoaleta al usuario.
- *Pala*: La pala generalmente se compone de fibras de vidrio, carbono y aramida unidas por capas con resinas epóxicas. Es el elemento que genera la propulsión.

Para la natación con aletas existen una serie de restricciones estipuladas en el reglamento oficial de la CMAS con relación a la implementación.

A continuación, algunos apartes del reglamento oficial de la CMAS:

2.3 Equipamiento y restricciones

2.3.1 Equipo permitido en piscina y aguas abiertas para Natación con Aletas en Superficie (SF), Natación con Aletas en Apnea (AP) y Natación con Aletas en Inmersión (IM):

2.3.1.1 Aleta compuesta solo por una pala y los calzantes para los pies.

2.3.1.2 Las bi-aletas están permitidas sin ninguna restricción en cuanto a las dimensiones y el material.

2.3.1.3 Monoaleta (figura 3):

a) No hay restricción en cuanto al material usado.

b) La monoaleta puede flotar.

c) El tamaño máximo de la monoaleta es: largo 760 mm, ancho 760 mm, alto 150 mm.

d) El ancho es medido desde el extremo izquierdo al extremo derecho de la pala.

e) La longitud es medida entre los puntos A y B (ver figura 3).

f) La altura es medida mediante una plantilla, de forma que no exceda los 150 mm.

g) El calzante no debe estar construido de forma que proporcione al nadador una ayuda adicional. No se podrá incorporar ningún muelle o dispositivo de cualquier clase en los calzantes.

h) El calzante debe asegurar la estabilidad del nadador en la salida.

i) Los tornillos bajo las aletas y monoaletas están estrictamente prohibidos, excepto cuando se encuentran cubiertos con una protección lo suficientemente gruesa.³

³ Sportsub, *Nuevos Reglamentos Internacionales CMAS*,

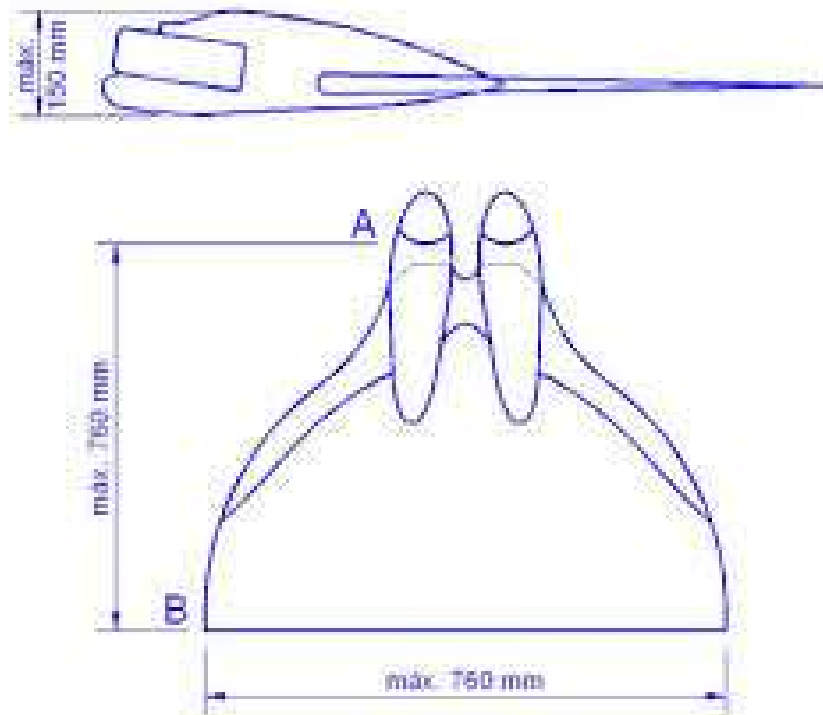


Figura 3. Monoaleta. Fuente: CMAS World Underwater Federation Comisión Natación con Aletas. Reglamento CMAS Natación con Aletas Versión 2013/01 Pág. 3.

Tipos y modelos de aletas

Las monoaletas para la práctica de la natación con aletas se fabrican con diferentes técnicas y procesos industriales que se podrían clasificar de la siguiente manera:

- *Monoaleta infantil*. Este tipo de monoaleta es utilizada en las categorías infantiles, con dimensiones reducidas acordes a la fuerza y capacidad física de la categoría.



Figura 4. Monoaleta infantil. Fuente:
http://www.waterwayfins.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=1&Itemid=4 [Consulta: Noviembre 11 de 2015].

- *Monoaleta básica:* Este tipo de monoaleta es utilizada para iniciarse en la práctica deportiva, está construida de manera sencilla liviana y ofrece un nivel de comodidad favorable.



Figura 5. Monoaleta básica. Fuente:
http://www.waterwayfins.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=1&Itemid=4 [Consulta: Noviembre 11 de 2015]

- *Monoaleta especial o profesional:* Este tipo de monoaleta incorpora una serie de modificaciones que incrementan la velocidad en el desplazamiento durante su uso, es de mayor peso requiere una adaptación previa por parte del deportista, ya que su ajuste es fuerte y requiere una técnica adecuada. Su valor es elevado.



Figura 6. Monoaleta profesional. Fuente:

<https://www.google.com.co/search?q=monoaleta+rocketfin&espv=2&biw=1242&bih=606&site=webhp&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0CBoQsARqFQoTCMO7xabajskCFYU2JgodYX8PZQ#imgsrc=E-71mVlqObeHqM%3A> [Consulta: Noviembre 11 de 2015].

5.4 ANÁLISIS BIOMECÁNICO

La biomecánica proporciona valiosos conocimientos de aplicación general a las actividades acuáticas, como cualquier ciencia requiere de una instrumentación de medida adecuada y el desarrollo de centros de estudio específicos como los centros de alto rendimiento. “El cuerpo humano se compone de un 65% de agua, pero el medio acuático es un elemento extraño para el cual el cuerpo humano está pobremente diseñado donde la locomoción se encuentra restringida y afectada por las características propias del agua. Un fluido denso y viscoso donde es difícil aplicar fuerzas propulsivas y donde las fuerzas de resistencia al avance están presentes”. (Belloch, 2015)

A diferencia de la natación clásica donde encontramos cuatro estilos fundamentales, la natación con aletas se vale de un único estilo que consta de un movimiento ondulatorio donde interviene todo el cuerpo adoptando una posición

hidrodinámica, donde la cabeza, hombros y brazos están completamente fijos sin movimiento mirando hacia abajo y valiéndose de un snorkel para la respiración (esto para las pruebas de superficie). La propulsión está determinada por la acción combinada de los músculos dorsales, lumbares y abdominales que inician la ondulación, y los principales músculos de las piernas sobre los cuales recae el mayor esfuerzo y desgaste físico. “El movimiento de las piernas se origina en las caderas, teniendo lugar el batido hacia arriba mientras las rodillas y los tobillos están extendidos. El batido hacia abajo comienza con una flexión inicial de las rodillas y termina luego con una enérgica extensión de las piernas”. (Hernández, 2002). Los pies se introducen en el zapato de la monoaleta y se comprimen por la acción de las correas sujetadoras.

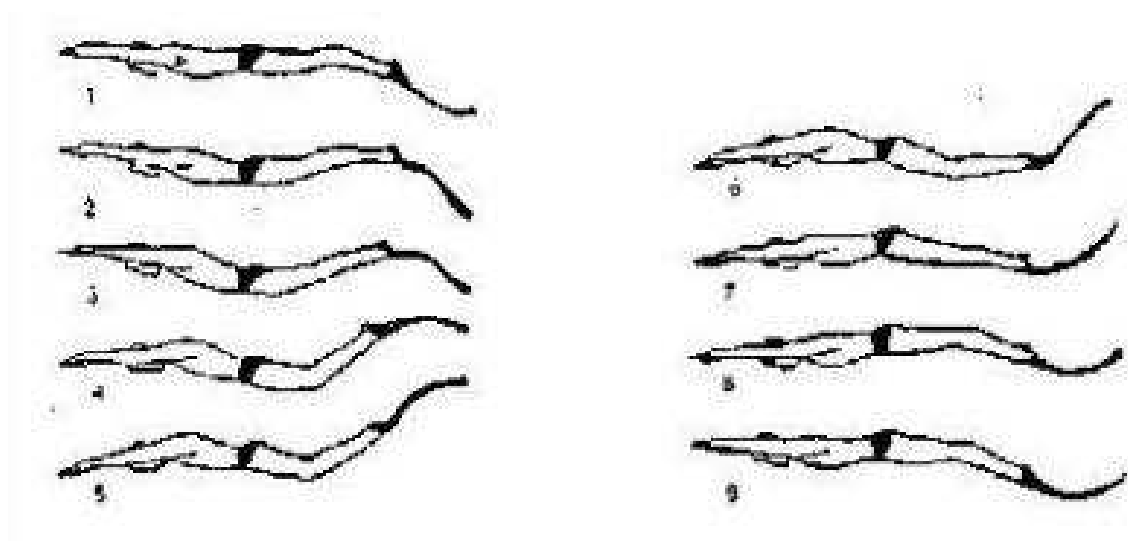


Figura 7. Natación con monoaletas. Fuente: http://members.tripod.com/sebastian_pacheco_7b/ [Consulta: Noviembre 9 de 2015]

El movimiento ondulatorio aprovecha las palancas del cuerpo en un movimiento simultáneo que termina en la pala de la monoaleta, donde su gran superficie de contacto impulsa el usuario hacia adelante.

La locomoción acuática rige bajo cuatro fuerzas: la *fuerza de peso* y el *empuje hidrostático* determinan la flotabilidad del nadador, mientras que las *fuerzas propulsivas* y *de resistencia* determinan su velocidad de desplazamiento.

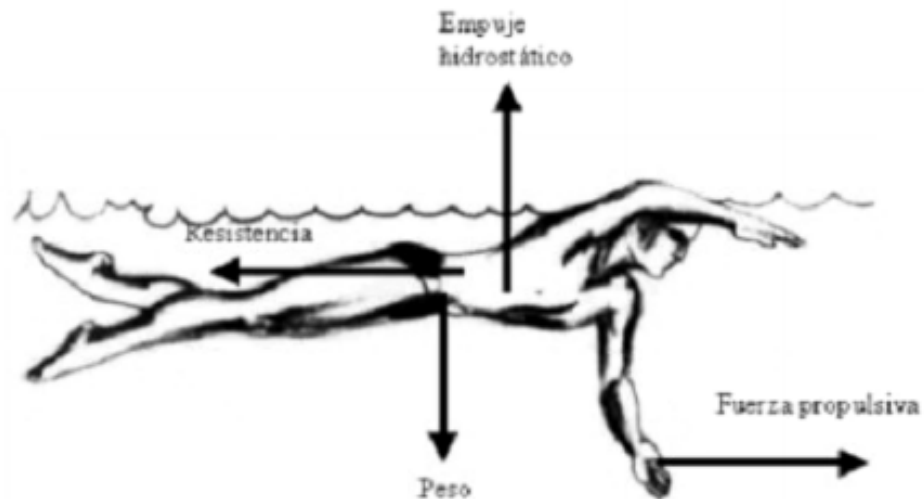


Figura 8. Locomoción humana en el medio acuático. Fuente: Belloch, Alvarador Llana, *El análisis biomecánico en natación*, Universidad de Valencia pág. 3.

La densidad el agua varía ligeramente con la temperatura pero se considera próxima a los 1000 kg/m^3 factor determinante para la flotabilidad. El cuerpo humano no posee una densidad homogénea, existen importantes diferencias entre tejidos. El tejido óseo es el más denso con unos 1800 kg/m^3 , seguido por el tejido muscular y tendinoso con unos $1020 - 1050 \text{ kg/m}^3$ terminando con el tejido adiposo con una densidad de unos 950 kg/m^3 .

Al observar las densidades de los diferentes tejidos se podría suponer que el cuerpo humano no debería flotar, pero el factor que determina la flotabilidad del cuerpo humano consiste en la capacidad de expandir su caja torácica. Cuando están llenos de aire, los pulmones actúan como flotadores naturales y se sabe que el aire posee una densidad mil veces menor que la del agua.

La resistencia es una fuerza con la misma dirección pero en sentido contrario al avance, cuando el nadador se desplaza en el agua aparecen tres tipos de resistencias:

- *Resistencia de forma o presión:* Es la más importante de las resistencias, y se debe a la formación de una zonal de alta presión delante del cuerpo y otra de baja detrás de él. Esta resistencia se debe principalmente a que el agua deja de fluir laminarmente (Figura 9) y aparecen flujos turbulentos.

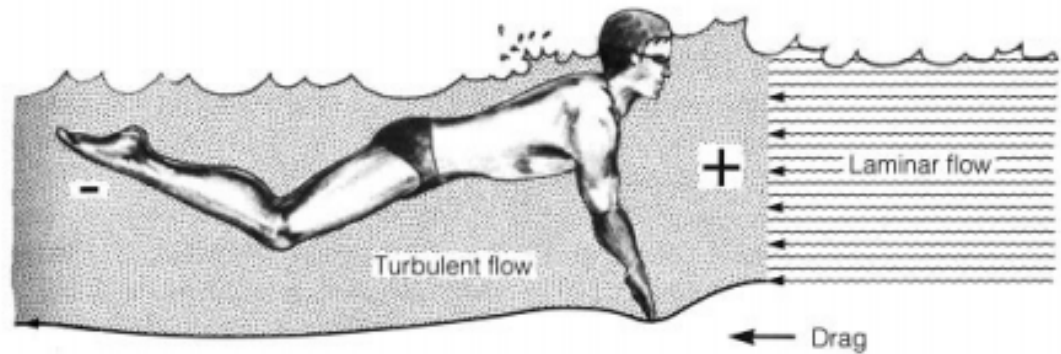


Figura 9. Explicación gráfica de la resistencia de forma o presión. Fuente: Belloch, Salvador Llana, *El análisis biomecánico en natación*, Universidad de Valencia, pág. 7.

Dado que la densidad no puede modificarse significativamente y la velocidad no interesa disminuirla. Una posición alineada (como se muestra en la figura 10) como la implementada en la natación con aletas disminuirá el coeficiente de resistencia a la superficie frontal.

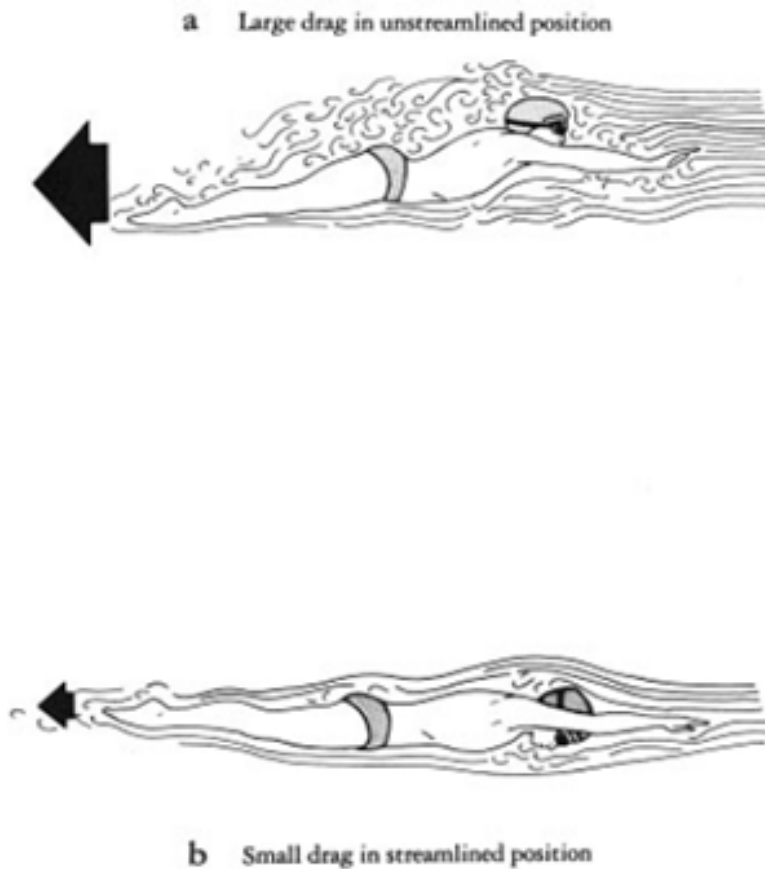


Figura 10. Alineación del cuerpo. Fuente: Belloch, Salvador Llana, *El análisis biomecánico en natación*, Universidad de Valencia, pág. 8.

- *Resistencia debida al oleaje*: es un tipo de resistencia que aparece en la interface del agua y el aire, y es causada por el choque del nadador con las olas que se forman como consecuencia de su avance. Este tipo de resistencia se ubica en los primeros 50 cm de profundidad, aplicando la ley de acción-reacción (tercera ley de Newton), esto es, al chocar el cuerpo del nadador con las olas, el agua será deslizada hacia adelante mientras el nadador será desplazado hacia atrás. Al igual que ocurre con la resistencia de forma, una buena técnica disminuye el oleaje y por consiguiente la resistencia asociada a ella.
- *Resistencia por fricción*: Este tipo de resistencia es causada por el arrastre viscoso dada por el contacto directo entre el deportista y el agua. Es la menos importante de las 3 resistencias sin embargo es la que mas ha revolucionado la estética de los nadadores al incitar al deportista a depilarse y el desarrollo de nuevas prendas deportivas como aquellas que imitan la piel de algunos

animales acuáticos como el tiburón (Figura 11) o superficies hidrofóbicas presentes en algunas plantas.

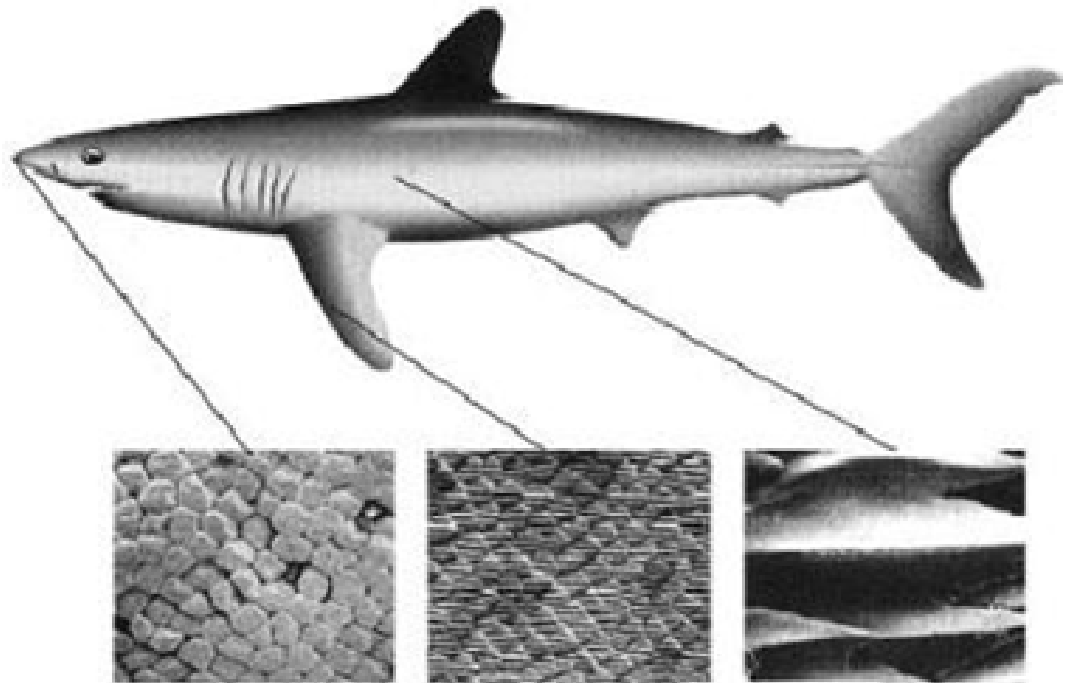


Figura 11. Efecto Riblet. Piel de tiburón en la que se muestra cómo se logra el”, esto es, la piel de tiburón dispone de microscópicos dentículos que originan vórtices verticales o espirales de agua que permiten mantener esta cerca de la superficie. Fuente: Belloch, Salvador Llana, *El análisis biomecánico en natación*, Universidad de Valencia, pág. 10.

La temperatura del agua debe ser controlada. Si la temperatura del agua es baja afectara fisiológicamente al deportista por una perdida acelerada del calor corporal derivando en calambres e hipotermia, y si por el contrario la temperatura es alta afectara al deportista al incrementar su temperatura corporal impidiéndole de cualquier modo un nado a buen ritmo.

A diferencia de la natación clásica donde el biotipo juega un papel importante, en la natación con aletas este deja de ser un factor excluyente al incorporar un elemento externo como la monoaleta. Sin embargo las características merolicas influyen positiva o negativamente. Factores como la proporción de grasa corporal son fundamentales para un óptimo rendimiento deportivo. El deportista que practica la natación con aletas se caracteriza por tener un core o centro del cuerpo firme unas piernas fuertes y resistentes acompañado de un tren superior flexible que le permite mantener la posición hidrodinámica durante prolongados periodos de tiempo.

5.5 ESTADO DEL ARTE

Desde los inicios de la natación con aletas, Europa y Asia han tomado la delantera en el desarrollo de las monoaletas a nivel competitivo y alto rendimiento; se destacan los fabricantes estadounidenses en la fabricación de monoaletas recreativas y la innovación aplicada a nuevas formas y materiales que si bien el reglamento actual no permite, aportan grandes ideas para nuevas adaptaciones.

La fabricación de una monoaleta es un proceso manual y una empresa de tradición donde se puede observar que el conocimiento artesanal ha sido transmitido de maestro a aprendiz presentando una evolución constante en el producto, acompañado de nuevos procesos de fabricación e implementación de un los materiales.

En el mercado mundial se encuentran más de 28 fabricantes fácilmente identificables. Algunos de los principales que representan las diferentes tendencias disponibles en el mercado son:

- *Finis*: Empresa estadounidense de artículos deportivos para natación clásica, que durante los últimos años ha incursionado en la fabricación de monoaletas. Se ha ganado un lugar importante en el medio subacuático por la innovación de sus productos y relativo bajo costo, sin embargo sus productos se ubican en un rango recreativo y aficionado.



Figura 12. Monoaleta Finis. Fuente:
[http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-\(from-FinSwimming-Magazine\)](http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-(from-FinSwimming-Magazine)).

- *Ciamillo*: Fabricante estadounidense de artículos para ciclismo, incursiona en las actividades subacuáticas con una monoaleta radical llamada Lunocet. Actualmente la reglamentación CMAS no permite su uso pero es de destacar su diseño e innovación al combinar materiales metálicos con plásticos.



Figura 13. Monoaleta Ciamillo. Fuente:
http://www.waterwayfins.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=1&Itemid=4 [Consulta: Noviembre 11 de 2015].

- *Water way*: Fabricante europeo con más de 20 años de experiencia en la fabricación de monoaletas. Actualmente es el fabricante mas destacado en el mercado por su gran variedad de modelos, capacidad productiva y distribución a nivel mundial.



Figura 14. Monoaleta Waterway. Fuentes:
http://www.waterwayfins.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=1&Itemid=4 [Consulta: Noviembre 11 de 2015].

- *Leader fins*: Fabricante de Estonia con sede en Hong Kong , con más de 30 años de experiencia en el mercado ofrece gran variedad de productos y modelos de monoaleta.



Figura 15. Monoaleta Leaderfins. Fuente:
<http://www.leaderfins.com/us/products.html> [Consulta: Noviembre 9 de 2015].

- *Rocketfin*: Fabricante ucraniano, destacado en la natación con aletas como uno de los mejores fabricantes tanto por rendimiento como por manufactura, sus monoaletas presentan gran demanda al igual que elevados costos.



Figura 16. Monoaleta rocketfin. Fuente: [http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-\(from-FinSwimming-Magazine\)](http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-(from-FinSwimming-Magazine)) [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

- *Mat mas*: Fabricante italiano de amplia trayectoria en las actividades subacuáticas con mas de 30 años de experiencia, sus productos destacan sobre los demás por su calidad y durabilidad de materiales, actualmente especializado en apnea y buceo.



Figura 17. Monoaleta mat mas. Fuente: <http://www.mat-mas.eu/> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

- *Binfins*: Fabricante chino caracterizado por fabricar monoaletas robustas habitualmente empleadas en pruebas de velocidad,



Figura 18. Binfins es de construcción china especialmente construida para carreras de velocidad. Fuente: [http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-\(from-FinSwimming-Magazine\)&langid=3](http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-(from-FinSwimming-Magazine)&langid=3) pág. 92⁴ [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

5.6 MATERIALES Y COMPOSICIÓN

La monoaleta es un producto que integra una gran cantidad de posibles materiales para su construcción, favorecida por un reglamento generoso en este aspecto. Sin embargo al tratarse de un deporte de alto rendimiento con reconocimiento mundial los materiales a emplear son los que cumplan con mayor grado de satisfacción al rendimiento deseado.

⁴ MerNetwork, Monofin manufactures (From FinSwimming Magazine), 2012, [http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-\(from-FinSwimming-Magazine\)&langid=3](http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-(from-FinSwimming-Magazine)&langid=3) [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015]

5.6.1 Materiales compuestos.

Los materiales compuestos son aquellos materiales que se unen para serie de propiedades y características que individualmente no poseen, utilizados para alcanzar propiedades específicas como dureza, resistencia y bajo peso. Su conformación está determinada por dos elementos

- *Agente reforzante*: Material de construcción con geométrica específica, fundamental para establecer las propiedades mecánicas del compuesto
- *Fase o matriz*: Material encargado de las propiedades físicas y químicas del compuesto así mismo de transmitir los esfuerzos al agente reforzante dando protección y cohesión.

Materiales compuestos reforzados por fibras

Este tipo de materiales compuestos emplean una fibra como agente reforzante, generalmente fibra de vidrio, aramida o carbono y una resina epóxica o poliéster como matriz polimérica. Son estos tipos de materiales compuestos sobre los cuales nos concentraremos, debido a su importancia en la construcción de la pala para la monoaleta. Las fibras mencionadas ofrecen diferentes tipos de propiedades.

La fibra de vidrio es la más empleada en la fabricación de las palas, sus propiedades están determinadas por el tipo de fibra a emplear donde encontramos dos principales tipos:

➤ **De carácter disperso**

Este tipo de fibra de vidrio es la más común y empleada en la industria se caracteriza por no poseer un patrón específico de conformación, de aspecto caótico sus filamentos están distribuidos en diferentes direcciones lo que facilita su uso en aplicaciones donde se requiere una resistencia general.



Figura 19. Fibra dispersa. Fuente: <http://texdelta.com/dlt-fiberglass/> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015]

➤ **Tejido plano**

Encontramos en esta una estructura y patrón de conformación continuo, permite la disposición de capas para resistencias específicas ofreciendo además un menor peso y menor espesor final de la pieza.



Figura 20. Tejido plano. Fuente: <http://www.poliformasplasticas.com.mx/puebla/#portfolio> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Aramida

Fibra sintética robusta y resistente comúnmente nombrada kevlar (marca comercial). Este tipo de fibra se emplea como material para compuestos balísticos y aplicaciones navales por sus destacadas propiedades mecánicas.

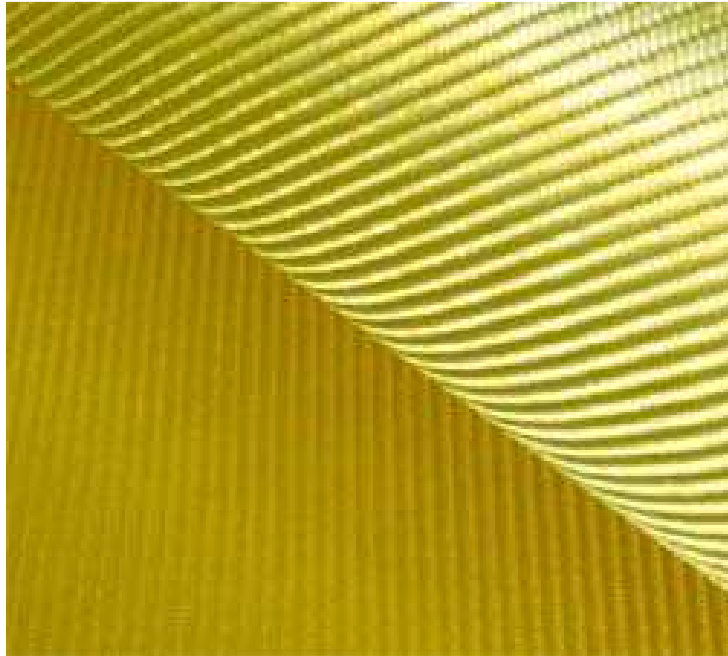


Figura 21. Aramida. Imagen tomada de la página de COFASA, <http://cofasa.biz/aislamiento-termico-tela-aislante-ar-9720> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015]

Fibra de carbono

Fibra sintética compuesta por micro filamentos de carbono, con propiedades mecánicas similares al acero, empleada ampliamente en la industria aeroespacial ha ganado importante terreno en el ámbito deportivo al ofrecer elevadas prestaciones pero limitando su uso debido a sus elevados costos.



Figura 22. Fibra de carbono. Fuente:
<http://preciod.com/co/fibra-de-carbono-tejido-twill-2x2-12k-con-1-27m-de-ancho-S6rCJ.html> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015]

➤ Resinas

Las resinas son un producto sintético de carácter polimérico empleadas como matriz en la conformación de los material compuestos, encontramos 4 principales tipos de resina.

Resinas polyester

Las resinas poliéster constituyen el 75% del total de las resinas utilizadas en el mercado de los materiales compuestos de carácter termoestable, descubierta en 1936. Generalmente se disuelve en un medio reactivo como el estireno, que ayuda a fluidizar el conjunto disminuyendo su viscosidad lo que permite la impregnación. Para producir la polimerización de la resina se debe añadir un agente catalítico o de curado fundamentalmente peróxidos. La reacción resultante es exotérmica y su curado se desarrolla en tres etapas:

- *Gelificación*: La que la resina cambia de un líquido fluente a un gel blando.
- *Endurecimiento*: La resina cambia de gel blando a material endurecido.
- *Curado final*: La resina adquiere sus propiedades mecánicas.

Los sistemas de catalización en la resina poliéster deben ser seleccionados cuidadosamente debido a su naturaleza inestable y deben conservarse en

recipientes cerrados protegidos de la luz y la temperatura. Durante el endurecimiento las resinas poliéster producen una considerable cantidad de calor alcanzando los 150 °c factor importante a tener en cuenta en la construcción del molde y demás elementos de fabricación.

Resinas vinilester

Este tipo de resina se ubican a mitad de camino entre la resina poliéster y epóxica, presentan un curado mas rápido y poseen mejores propiedades mecánicas que las resinas poliéster además de una excelente resistencia a la corrosión.

Su catalización se realiza de igual manera que con las resinas poliéster, pero obtiene una menor contracción durante el endurecimiento. Su valor se incrementa entre 1.5 y 2 veces en comparación con las resinas poliéster.

Resina fenólicas

Son los sistemas de resinas más antiguos y se fabrican mediante una reacción de condensación en la que se genera agua como producto residual.

Presentan excelentes propiedades de resistencia al fuego, buena resistencia química y baja absorción de humedad.

Resinas Epóxicas

Fabricadas desde 1938 constituyen la matriz mas utilizada en materiales compuestos de avanzada. Se basa en los llamados epóxicos que se curan por la acción de endurecedores. Poseen las mejores características mecánicas y de mayor resistencia térmica así como su estabilidad dimensional. El tipo de epóxico y endurecedor influyen en las características finales como la resistencia y el modo de endurecimiento. Como principal inconveniente podemos mencionar su absorción de humedad y su elevado costo. (Besednjak, 2009).

Resina	Densidad	Resistencia en tracción	Módulo de elasticidad	Contracción volumétrica	Alargamiento	Temperatura de uso	Viscosidad
Poliester	1,22	60/85 Mpa	4,2/4,8 Gpa	7/9%	2,5%	60/130 °C	350/1000
Vinylester	1,12	81 Mpa	3,3/3,5 Gpa	6/7%	6%	100/140 °C	350/500
Epoxy	1,1	>90 Mpa	>7 Gpa	1%	1,5%	60/200 °C	350/900

Tabla 3. Principales características mecánicas de las resinas. (Besednjak, 2009)

Como consideración final sobre las resinas, hay que tener en cuenta que durante la manipulación y la canalización de estas se desprenden cantidades importantes de solventes como el estireno, un gas de efecto invernadero, así mismo como otro tipo de vapores químicos que pueden afectar la salud. En el mercado existen actualmente resinas que reducen este tipo de emisiones y procesos que las limitan.

➤ **Cargas y aditivos**

Existe una serie de productos que se pueden adicionar a las resinas con el objetivo de proporcionarles características determinadas como:

- Reducir costo
- Aumentar rigidez
- Reducir contracción
- Controlar la viscosidad
- Mejorar los acabados superficiales
- Dar color al producto

Entre los aditivos y cargas más comunes podemos mencionar:

- Cargas inorgánicas, permiten reducir el peso de la pieza y abaratar costos
- Cargas ignífugas
- Colorantes y pigmentos
- Agentes anti radiación UV
- Lubricantes internos, permiten reducir la viscosidad de la resina
- Agentes desmoldantes, Inhiben la tendencia de la resina a adherirse al molde

5.6.2 Cauchos.

El caucho es un polímero ampliamente empleado en la industria mundial, se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. Se clasifica en caucho de origen natural que se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex extraído de plantaciones y caucho sintético que se obtiene a partir de hidrocarburos.

➤ **El caucho natural**

El caucho natural proviene de plantas productoras de caucho como el árbol del hule, *Castilloa elástica* y el *Hevea brasiliensis*. La extracción del caucho se lleva a cabo realizando cortes diagonales en la corteza del árbol permitiendo que el látex

gotee sobre un recipiente recolector. El caucho natural presenta diferentes estados de dureza y maleabilidad dependiendo de la temperatura a la que sea sometido.

➤ **Caucho sintético**

Es un tipo de elastómero polimerizado capaz de soportar mucha deformación elástica y regresar a su tamaño sin de sufrir deformaciones. Se producen diferentes tipos de caucho sintético como el neopreno, caucho de butilo y otros especiales. Es un sustituto del caucho natural cuando se requieren propiedades mejoradas. El caucho requiere el uso de otras sustancias como materiales de relleno, plastificantes, antioxidantes, activadores o agentes que permiten su vulcanización y le otorgan sus propiedades físicas y químicas finales.

➤ **La vulcanización**

El proceso de vulcanización fue descubierto por Charles Goodyear en 1893 nombrado así en honor al dios Vulcano. La vulcanización se lleva a cabo en presencia de agentes vulcanizantes como azufre o peróxidos, aplicando calor durante determinado periodo de tiempo permitiendo que los polímeros lineales se entrecrucen alcanzando sus propiedades finales.

La vulcanización es un proceso irreversible que contrasta con los procesos termoplásticos que caracterizan la gran mayoría de polímeros clasificando al caucho como material termoestable.

El control de variables como temperatura, tiempo y presión, durante la vulcanización están determinadas por el tipo de caucho, las cargas, aditivos y el proceso de fabricación. Generalmente la vulcanización del caucho se lleva a cabo entre los 120^o c y 170^oc.

5.7 PROCESOS DE FABRICACIÓN

5.7.1 Materiales compuestos

Los materiales compuestos se fabrican mediante procesos en molde abierto y molde cerrado:

➤ Procesos en molde abierto

Método contacto manual

Se colocan sobre un molde capas de fibra que se impregnan con resina ayudándose de una brocha o rodillo de manera continua hasta lograr el espesor deseado. El moldeado cura sin ayuda de calor o presión.

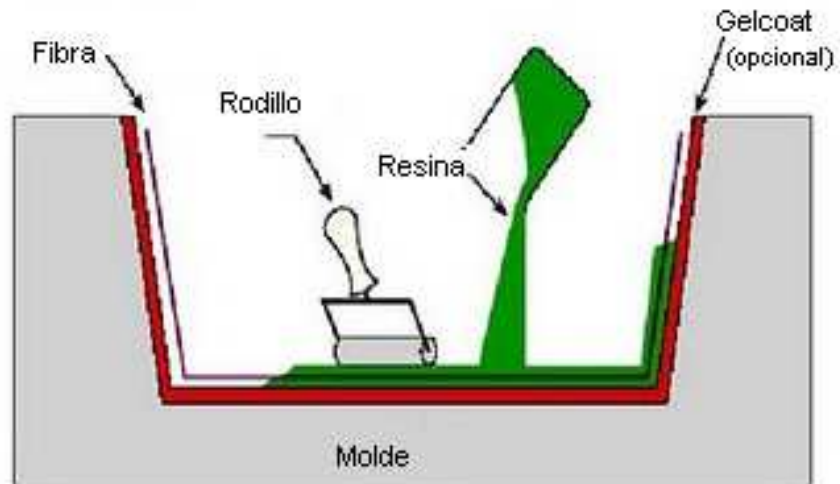


Figura 23. Método de contacto manual. Fuente: Tecnología de los plásticos, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/11/moldeo-manual-de-materiales-compuestos.html> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Proyección

Se proyecta una mezcla de resina con fibras cortadas sobre un molde preparado y se pasa un rodillo antes del endurecimiento de la resina. El curado de este método se hace de igual manera que el proceso anterior.

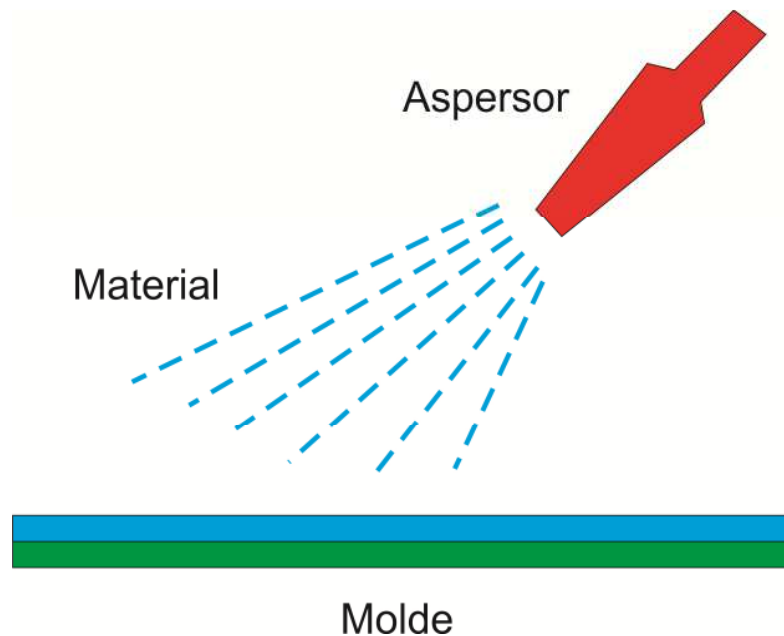


Figura 24. Método de proyección. Fuente: elaboración propia.

Saco de vacío y de presión en autoclave:

Se impregnan capas de fibra con resina que se curan parcialmente para formar un pre impregnado, luego se ubican sobre un molde preparado y se cubren con un saco flexible conectado a un sistema de vacío y se introduce en una autoclave donde se cura bajo presión y temperatura.

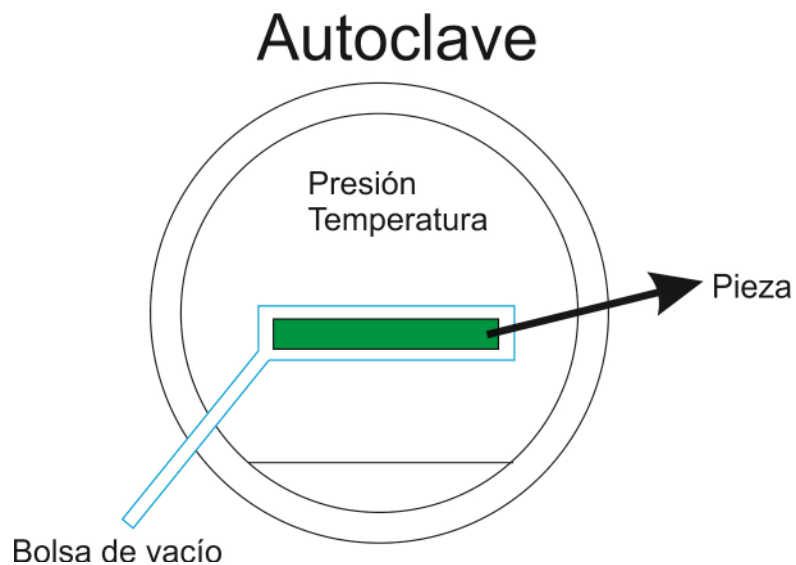


Figura 25. Autoclave. Fuente: elaboración propia.

Enrollado de filamentos

Hilos continuos de fibra se pasan sobre rodillos con guías y pasan por un baño de resina para ser enrollados sobre la pieza generalmente tubular, montada sobre un mandril con ángulos pre establecidos. La resina cura parcialmente antes de sacar el molde. (Besednjak, 2009)

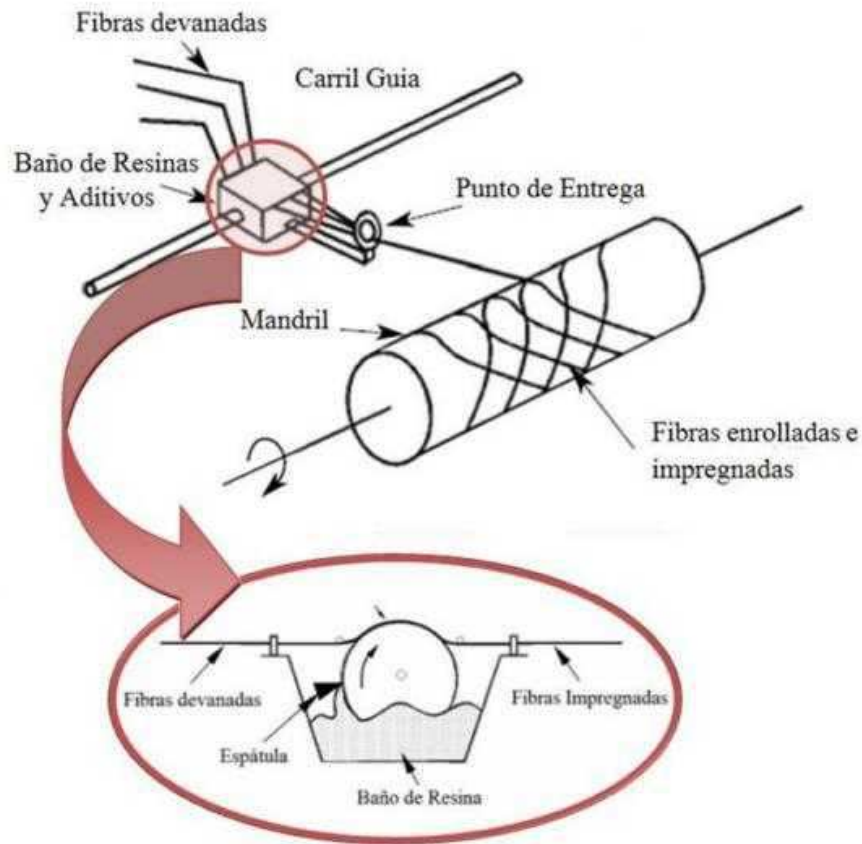


Figura 26. Enrollado de filamentos. Fuente: <http://autorneto.com/referencia/hazlo-tu-mismo/proceso-de-enrollado-de-filamentos-filament-winding/> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015]

Molde de centrifugación

Se introduce una mezcla de fibra y resina en un molde rotatorio y de se deja curar.

➤ Proceso en molde cerrado

Moldeo por compresión en caliente

Una matriz caliente y acoplada se carga con materia prima y se comprime para adoptar la forma deseada para efectuar el curado.

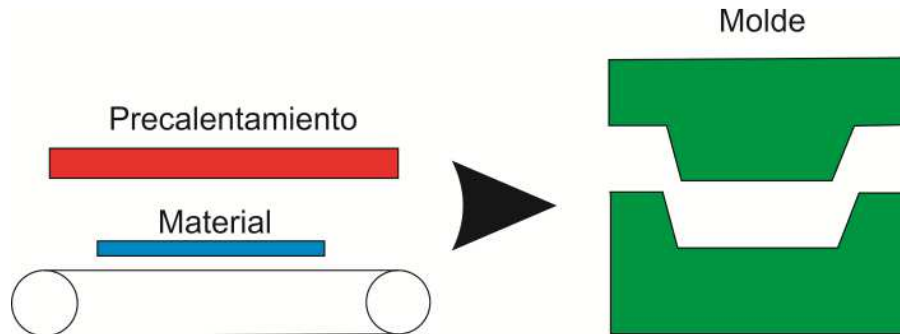


Figura 27. Modelo de compresión caliente. Fuente: creación propia.

Moldeo por inyección

Se inyectan resinas mezcladas con fibras, normalmente a alta presión en la cavidad de un molde cerrado y se deja curar.

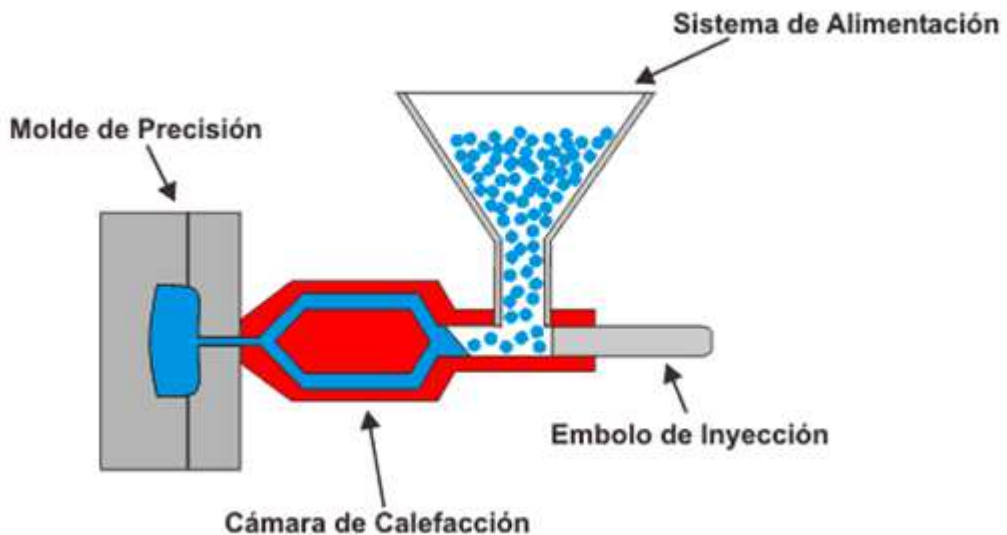


Figura 28. Moldeo por inyección. Fuente: <http://es.slideshare.net/carmirgg/power-moldeo-por-inyeccin> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Poltrución

Una alimentación continua de fibras se impregna con resinas, se comprime y calienta para darle forma dentro de una matriz donde se produce un curado parcial. (Besednjak, 2009).

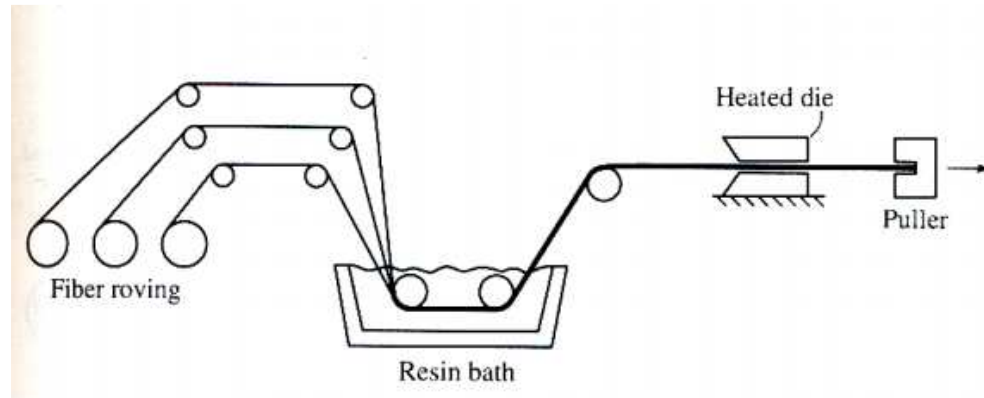


Figura 29. Poltrución. Fuente: Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales Procesos y Sistemas*. Pearson Edición.

Moldeo por prensado en frío

Es un proceso de baja presión y baja temperatura en el que las fibras impregnadas se comprimen entre ambas caras de un molde.

Infusión de resina

Se colocan fibras en el molde con la disposición deseada, el cual se sella con la ayuda de un sistema de vacío, la resina se introduce a través de tuberías perforadas, de manera forzada por la acción de vacío generado en el interior del molde.

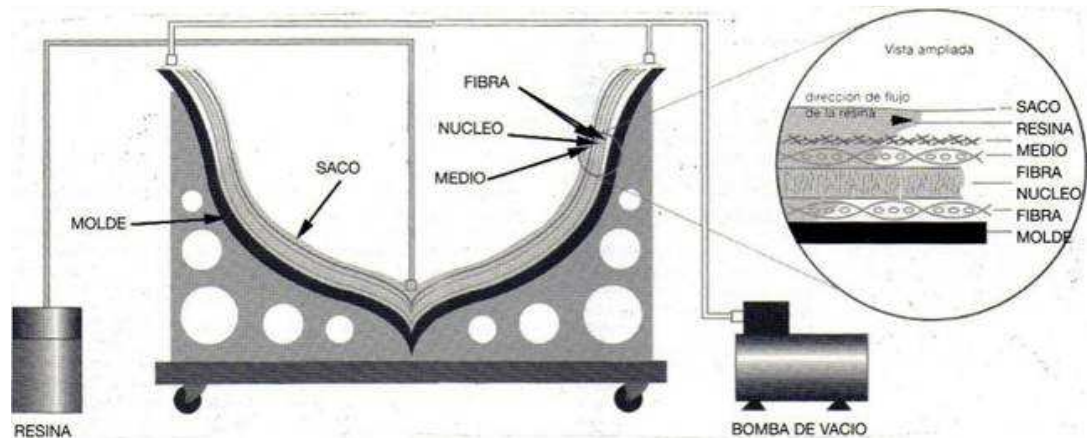


Figura 30. Infusión de resina. Fuente: <http://www.amigosenkayak.com/kayaks-y-equipo/46-equipo-tecnicas-de-construccion-moldeo-por-infusion-de-resina> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

5.7.2 Métodos de vulcanización

El caucho como materia prima es difícil de manejar y requiere maquinaria de gran potencia y capacidades para su procesado. Para llevar a cabo la vulcanización existen diferentes métodos.

Moldeo por compresión

Es un método simple que requiere mucha mano de obra y poco automatizable, consiste en colocar el material dentro de un molde metálico precalentado el cual se cierra por la acción de una prensa de gran capacidad forzando el material. Es necesario que haya un exceso del mismo para garantizar que el molde se llene completamente. El molde debe tener canales para desalojar el exceso de material y permitir la salida del aire atrapado.

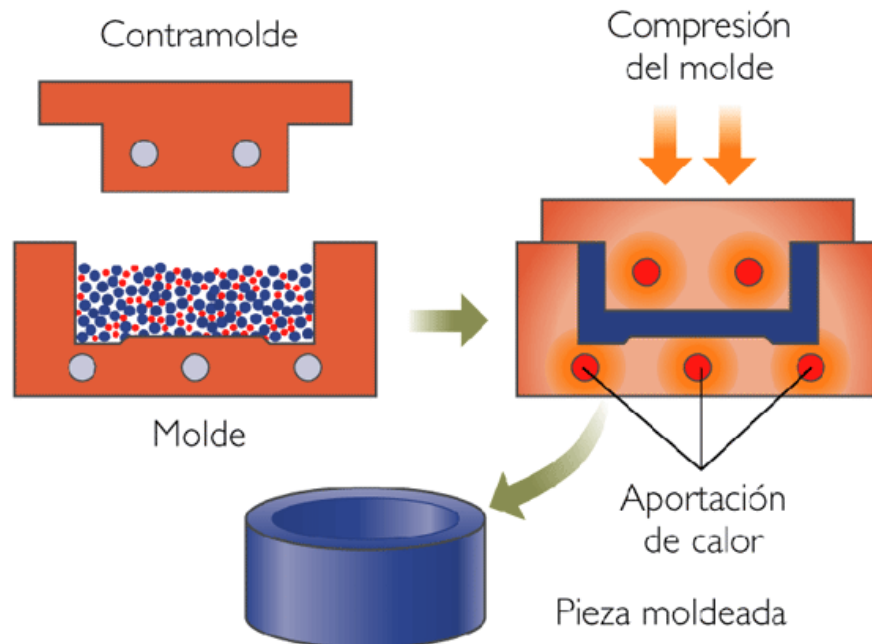


Figura 31. Modelo por compresión. Fuente: <http://www.asipla.cl/wp-content/uploads/2014/01/MODELOPORCOMPRESION.png> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Moldeo por transferencia

Consta de una cavidad situada en la parte superior del molde que se llena con la cantidad necesaria de material y es introducido a presión por canales que lo llevan al interior del molde. Ocupa una menor mano de obra pero incrementa la pérdida de material.

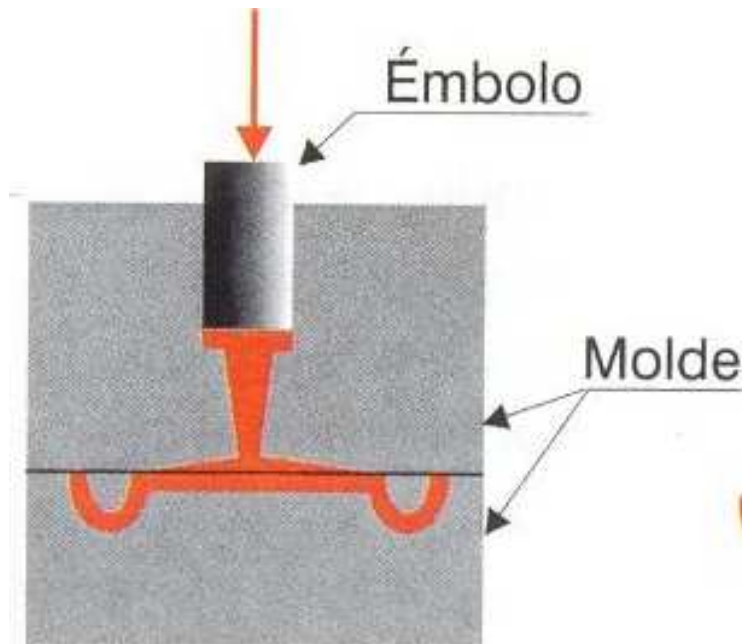


Figura 32. Moldeo por transferencia. Fuente: http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/materiales/plasticos_bauti_2004/transferencia.htm [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Moldeo por inyección

Es similar al moldeo por transferencia pero la alimentación de material está dada por medio de un tornillo o pistón que inyecta el material en el molde que permite la automatización del proceso (ver figura 28).

Moldeo continuo

Este método solo se aplica para obtener materiales de forma continua, generalmente por medio de extrusión. El método utiliza una cámara por la cual pasa el material calentándose y es forzado a salir por una boquilla o perfil.

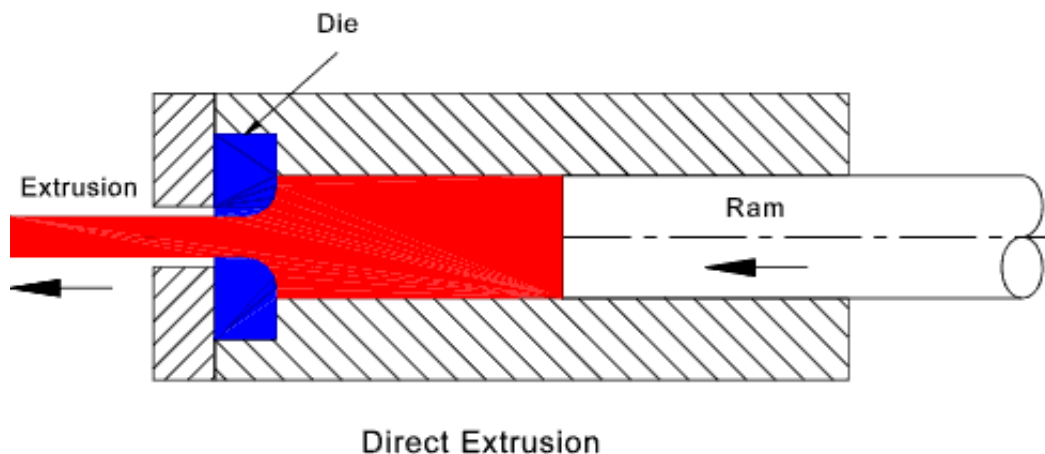


Figura 33. Moldeo continuo. Fuente: <http://pixgood.com/extrusion-process.html> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

5.8 ADHESIVOS

La integración de los componentes básicos de una monoaleta se debe al uso de adhesivos o pegamentos industriales. Un adhesivo por definición es una sustancia que puede mantener unidos a dos o más cuerpos por contacto superficial⁵.

Los adhesivos a emplear en este proyecto han de ser de tipo sintético a base de polímeros derivados del petróleo como colas de poliuretano, colas de caucho sintético, adhesivos anaeróbicos, cianocrilatos etc. De tipo líquido generalmente utilizan agua o disolvente como vehículo que una vez usado tiende a perderse hasta lograr un secado que promueve la adherencia del mismo.

En función de su curado los podemos clasificar en:

Adhesivos químicamente reactivos

Incluidos los poliuretanos, epoxis, fenólicos, poliamidas y anaeróbicos. Hay de uno y de dos componentes; los primeros se curan por reaccionar químicamente a la temperatura, a la humedad o al calor, mientras que los de dos componentes al entrar en contacto las dos resinas.

⁵Askeland, Donald (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Cengage Learning. ISBN 9789706863614.

Adhesivo por evaporación o difusión

Estos se preparan como solución al disolverse en solventes orgánicos o en agua y se aplican sobre el lugar que se quiere mantener pegado. Hay una preferencia notable hacia los adhesivos de base agua por el hecho de la seguridad ambiental que representa su consumo. Por ejemplo, vinilos y acrílicos.

- *Adhesivos de fusión por calor*: conformados por termoplásticos y elastómeros que se funden sobre la superficie a pegar si son calentados. El grupo de alto rendimiento está formado por las poliamidas y los poliésteres.
- *Adhesivos sensibles a la presión*: son principalmente elastómeros fabricados en forma de recubrimiento. Se les aplica presión para provocar la adherencia.⁶

5.9 HERRAMIENTAS, MAQUINARIA Y CONTROL

Autoclaves

Las autoclaves son cavidades de presión metálicas de paredes gruesas con un cierre hermético que permiten trabajar a alta presión y considerables temperaturas. Son ampliamente útiles para el curado del caucho ya que poseen una gran capacidad de carga.

Las autoclaves empleadas en la vulcanización de caucho son de tipo industrial de gran tamaño alimentadas por aire caliente a presión proveniente de una caldera.

⁶ Askeland, Donald (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Cengage Learning. ISBN 9789706863614.



Figura 34. Autoclave. Fuente: <http://www.tecnirenovacion.mx/quienes-somos/> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Prensa hidráulica

La prensa hidráulica es un mecanismo conformado por vasos comunicantes impulsados por pistones de diferentes áreas que, mediante una pequeña fuerza sobre el pistón de menor área, permite obtener una fuerza mayor en el pistón de mayor área.⁷

Las prensas son empleadas en los procesos de conformado y vulcanización del caucho son las encargadas de aportar la presión necesaria para la compresión del caucho dentro del molde.

⁷ Resnick, R.; Halliday, D.; Krane, K. S (1993). *Física vol. 1*.



Figura 35. Prensa hidráulica. Fuente:
<http://www.atacadaodasferramentas.com.br/produto/23/3562/prensa-hidraulica-capacidade-100-toneladas-c-auxiliar-de-15-toneladas-p100001-bovenau>
[Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Molino de caucho.

El molino de caucho esta constituido por dos cilindros metálicos que rotan en sentido contrario con la ayuda de engranajes propulsados por un motor eléctrico. Se emplea para mezclar el material virgen con las cargas y demás aditivos.

De rotación lenta y torque elevado, el molino integra un sistema de calefacción que emblandece el caucho facilitando el proceso.

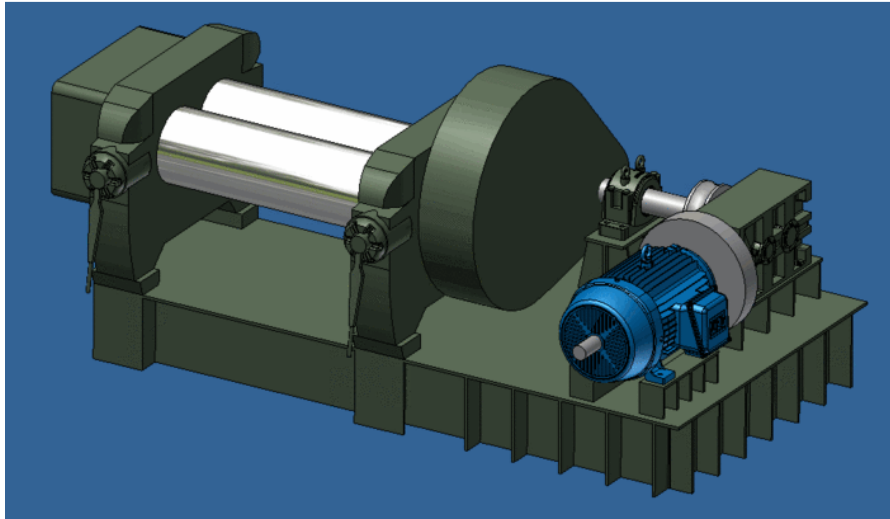


Figura 36. Molino de caucho. Fuente:
<http://www.atacadaodasferramentas.com.br/produto/23/3562/prensa-hidraulica-capacidade-100-toneladas-c-auxiliar-de-15-toneladas-p100001-bovenau>
[Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Bomba de vacío.

La bomba de vacío extrae moléculas de gas de un volumen sellado para crear un vacío parcial⁸. Es un componente primordial utilizado en los procesos de laminación para materiales compuestos, ya que permiten la extracción del aire y la compactación de las fibras contra el molde.

⁸ *Ibíd.*, p. 302



Figura 37. Bomba de vacío. Fuente: <http://www.medicaexpo.es/fabricante-medical/bomba-vacio-laboratorio-29222.html> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Manómetros y vacuómetros.

Se encargan de medir la presión o vacío del elemento censado.



Figura 38. Manómetro. Fuente: <http://www.hispacontrol.com/manometros/121-manometro-analogiconrango-ndiametro-63-mmconexionnprecision.html> [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Controles de temperatura

Son los dispositivos que miden y controlan la temperatura del proceso valiéndose del uso de termopares o termocúplas.



Figura 39. Control de temperatura. Fuente: http://autonics.com.mx/products/products_2.php?big=02&mid=02/01 [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015].

Temporizadores

Un temporizador permite al operario controlar los rangos de tiempo o tiempos Totales de un proceso.



Figura 40. Temporizador. Fuente: http://www.tiendaelektron.com/catalog/product_info.php?products_id=589 [Consulta: lunes 9 de noviembre de 2015]

PLC

Un Controlador Lógico Programable, más conocido por sus siglas en inglés *PLC (Programmable Logic Controller)*, es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje⁹.

El PLC permite la estandarización de los procesos industriales controlando las variables que intervienen en la fabricación de un producto como tiempo, temperatura, presión etc. Que a diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico, resistencia a la vibración y al impacto.

1. ⁹ M. A. Laughton, D. J. Warne (ed), *Electrical Engineer's Reference book, 16th edition*, Newnes, 2003 Chapter 16 *Programmable Controller*

6. PROPUESTAS DE DISEÑO.

El calzante de la monoaleta se descompone en 3 partes visualmente identificables. Zapato superior, zapato inferior y alas. Las propuestas de diseño expresadas a continuación están basadas en medidas reglamentarias.

Propuesta 1: Monoaleta de pala recta con alas integradas

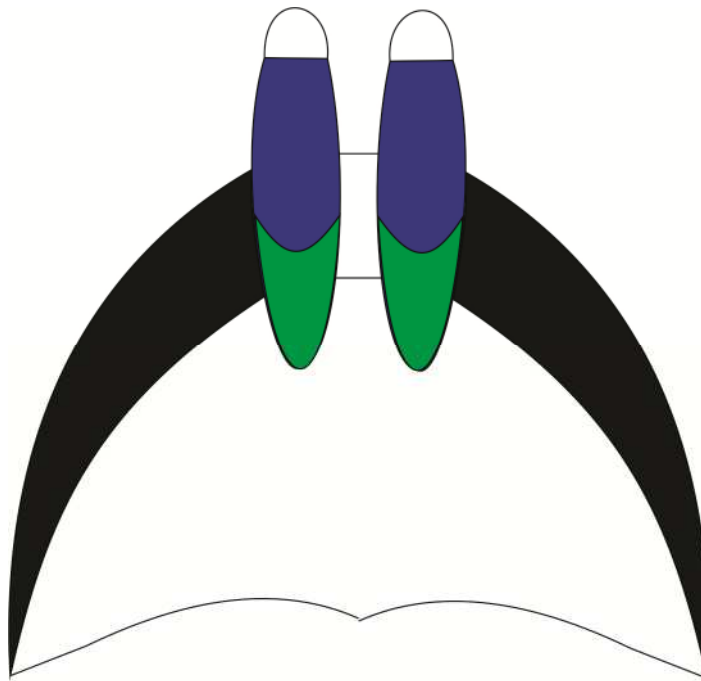


Figura 41. Propuesta 1. Fuente: elaboración propia.

Este diseño integra una pala de construcción recta, terminada en cola de cetáceo (referente formal), en la laminación de las fibras se incluyen capas adicionales para conformar las alas, cuya función estas es distribuir las fuerzas aplicadas al calzante.

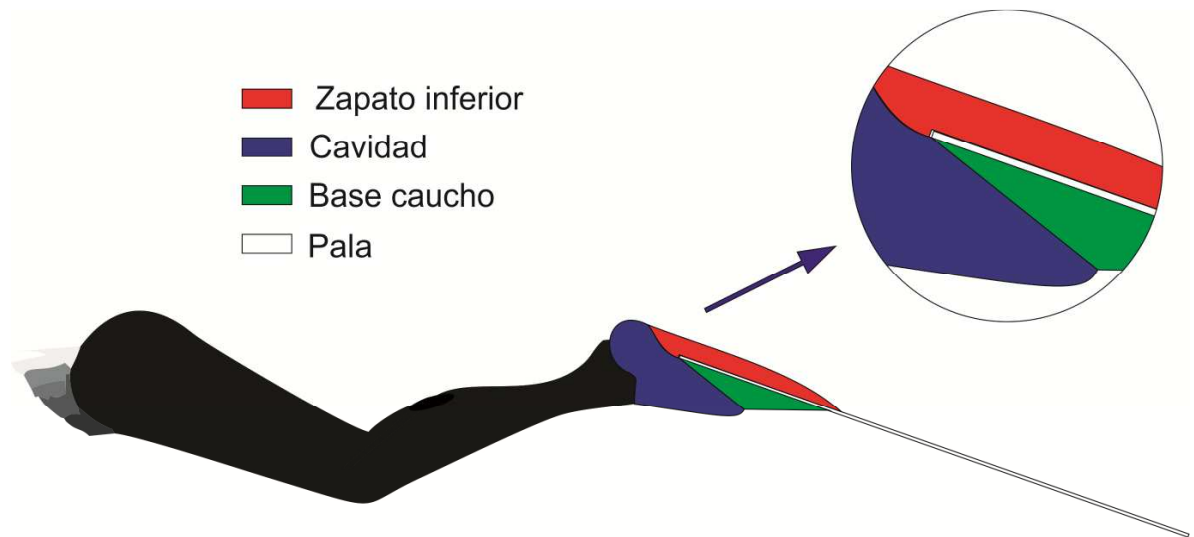


Figura 42. Propuesta 1 lateral. Fuente: elaboración propia.

El calzante de esta monoaleta reposa sobre una base de caucho solido que promueve la transferencia de fuerzas y la adherencia del zapato.

Ventajas:	Desventajas
Reducción resistencia de forma	Complejidad en fabricación
Peso estándar del mercado	Perfil cortante
Mejor distribución de fuerzas	Apariencia frágil
Cumple con normas	Baja flotabilidad

Tabla 4. Propuesta 1.

Propuesta 2: Monoaleta de pala curva con alas en relieve

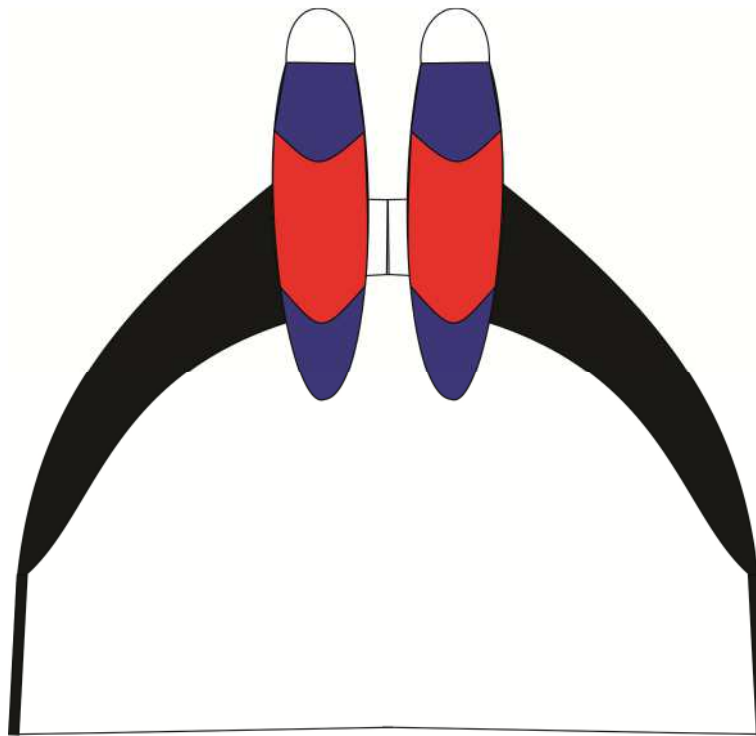


Figura 43. Propuesta 2. Fuente: elaboración propia.

La pala de esta monoaleta integra una curva en la parte superior donde se une con el calzante. Las alas se construyen en Eva y caucho sin abarcar la totalidad de la longitud en la pala y se ubican en ambas caras.

El calzante reemplaza la base de caucho por un refuerzo sobre la cavidad.

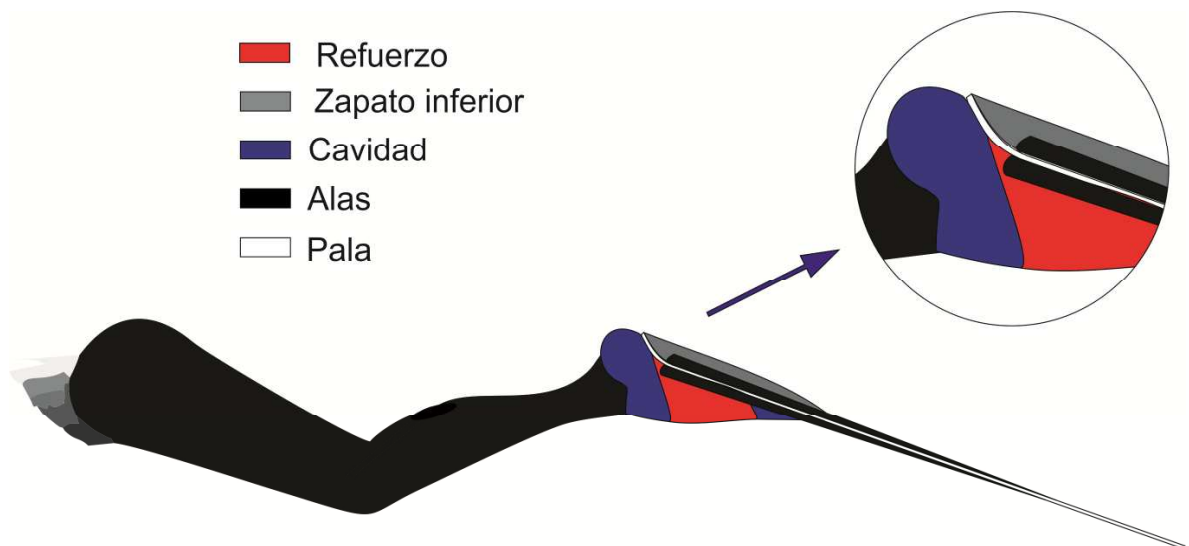


Figura 44. Propuesta 2, lateral. Fuente: elaboración propia.

Ventajas:	Desventajas
Alta flotabilidad	Alas complejas
Reducción de peso	Pala de menor área
Protección de perfiles	Mayor mano de obra
Integración se zapato	

Tabla 5. Propuesta 2.

Propuesta 3: Monoaleta de pala sobre calzante



Figura 45. Propuesta 3. Fuente: elaboración propia.

Este diseño constituye una propuesta radical sobre la concepción general de la monoaleta profesional. Se compone de una pala sobrepuesta al calzante con alas de Eva y caucho en la parte superior únicamente.

El calzante se integra a la pala por la parte superior del mismo.

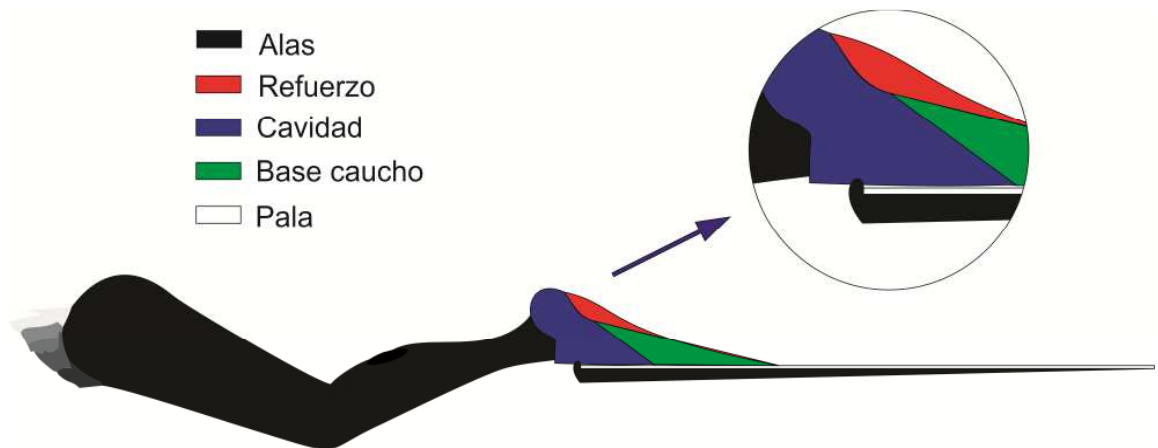


Figura 46. Propuesta 3, lateral. Fuente: elaboración propia.

Ventajas:	Desventajas
Bajo peso	Confiabilidad
Optimización de esfuerzos	Aceptación de forma
Flotabilidad	Fragilidad
	Ergonomía

Tabla 6. Propuesta 6.

7. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las propuestas se evalúan en base a algunos requerimientos de carácter crítico.

Se evaluarán las propuestas de 1 a 5 donde 1 es un bajo cumplimiento o factor negativo y 5 un alto cumplimiento o factor favorable.

Requerimiento o especificación	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Seguridad	2	5	3
Ergonomía	4	4	3
Resistencia	2	4	3
Mano de obra	4	3	2
Producción	4	3	4
Confiabilidad	3	4	3
Costo/precio	2	2	4
Estética	4	4	2
Total	25	29	24

Tabla 7. Evaluación de alternativas.

El diseño de la propuesta 2 será el diseño sobre el cual se desarrollara el prototipo.

8. FABRICACIÓN Y PRODUCCIÓN

8.1 POBLACIÓN OBJETIVO

Nuestra población objetivo esta determinada por el tipo de monoaleta a desarrollar en este caso una monoaleta profesional para alto rendimiento.

Nuestros usuarios se ubican entre las edades de 20 y 24 años rango en el cual se encuentra la gran mayoría de deportista elite y estadísticamente donde se obtiene el mayor rendimiento deportivo.

Las pruebas para las cuales se desarrolla el prototipo son: 50 metros superficie, 50 metros apnea, 100 metros superficie, 100 metros inmersión que constituyen las pruebas donde se alcanzan las mayores velocidades. El genero escogido es el masculino, pues es en este donde se aplican los mayores esfuerzos y fuerzas sobre los materiales de construcción de la monoaleta.

Componentes de una monoaleta profesional:

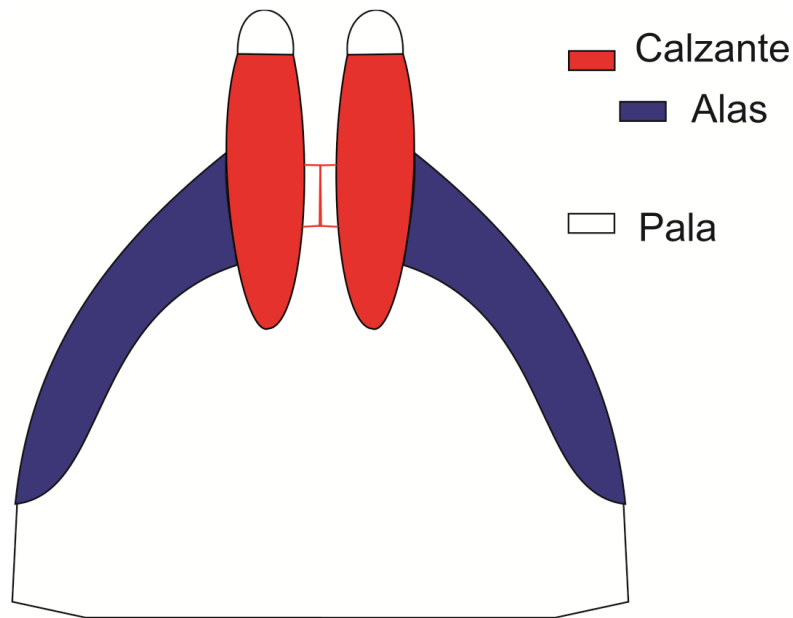


Figura 47. Partes monoaleta, vista trasera. Fuente: elaboración propia.

El desarrollo del proyecto se divide en dos segmentos que comprenden los materiales así mismo procesos industriales a emplear en la construcción de una monoaleta, esto son la fabricación del calzante y la elaboración de la pala.

8.2 FABRICACIÓN DE CALZANTE

El calzante es la parte que interactúa físicamente con el deportista se compone de dos materiales básicos: Eva (etilvinilacetato) y caucho. La Eva es un polímero termoplástico y producto comercial de gran demanda la oferta comercial de este producto es amplia lo que facilita su consecución, como componente del calzante en la monoaleta la Eva se encarga de la conformación de las alas que son una prolongación del zapato que ayudan a la distribución de las fuerzas y la flotabilidad del conjunto. El caucho es el material que conforma el cuerpo del calzante.

Las propiedades finales del caucho para la fabricación del calzante están determinadas por los siguientes puntos:

- Dureza
- Resistencia general
- Pegajosidad
- Resistencia a ataques químicos
- Resistencia a radiación UV
- Coloración

Con base a lo anterior se elabora una fórmula específica para el caucho a emplear en el prototipo y sobre el cual desarrollar las pruebas.

Esta fórmula es propiedad exclusiva de la empresa contratada para la elaboración de la materia prima, sin embargo se proporcionan los componentes básicos para su elaboración que se describen a continuación ya sea por su nombre comercial o tipo de material:

- 1502 Sintético: Caucho de origen sintético.
- Caucho natural: Resistencia física y química.
- Colofonia: Promueve la adherencia del caucho entre capas.
- Rubersil: Otorga propiedades al caucho como dureza y resistencia mecánica.
- Polietilenglicol: No permite la pérdida de aceleración de la mezcla con las cargas.
- Aceite mineral: Ayuda al procesamiento.
- Innox ruber: Antioxidante.
- Óxido de zinc: Activador de la aceleración.
- Ácido esteárico: Activador de la aceleración.
- W 16: Ayuda al procesamiento.
- Santocane: Acelerante que conserva la mezcla.
- TMTD: Acelerante.
- Azufre: Acelerante

La dureza obtenida es próxima a las 50 unidades en la escala de durezas Shore A.

La coloración se obtiene al mezclar una parte del material base con pigmentos minerales.

La elaboración del caucho apropiado y específico para el proyecto es uno de los puntos más críticos en el proyecto que requieren una serie de pruebas preliminares antes de la comercialización del producto final.

Moldes y modelos

Para la fabricación de la pieza base sobre la cual se disponen las capas de caucho que conforman el calzante, es necesaria la elaboración de un molde metálico, diseñado con base a las medidas antropométricas de nuestra población objetivo.

Los datos son tomados de dimensiones antropométricas latinoamericanas de jóvenes estudiantes entre los 18 y 24 años de sexo masculino.

El percentil 5 será sobre el cual se basara la construcción del molde.

Se determina este percentil bajo, debido a las características propias de una aleta para uso competitivo, los ajustes del zapato deben ser considerables en el pie del deportista para favorecer la transferencia de las fuerzas además el zapato al ser construido en un material flexible como el caucho permite cierto rango de adaptación en deportistas con medidas ligeramente superiores.



Dimensiones pie izq.	19-24 años (n=97)				
	Percentiles				
	~x	D. E	5	50	95
44 longitud del pie	262	12	242	262	282
46 Anchura del pie	98	6	88	98	108
47 Anchura talón	78	5	61	68	77

Tabla 8. Medidas antropométricas

Consideraciones biomecánicas

El pie humano y el tobillo constituyen una compleja estructura mecánica que contiene 26 huesos, 33 articulaciones y más de 100 músculos, ligamentos y tendones.

Para el desarrollo del calzante es importante conocer los rangos de movimiento del pie, en flexión plantar que es la posición que adopta este durante la actividad física.

Flexión común

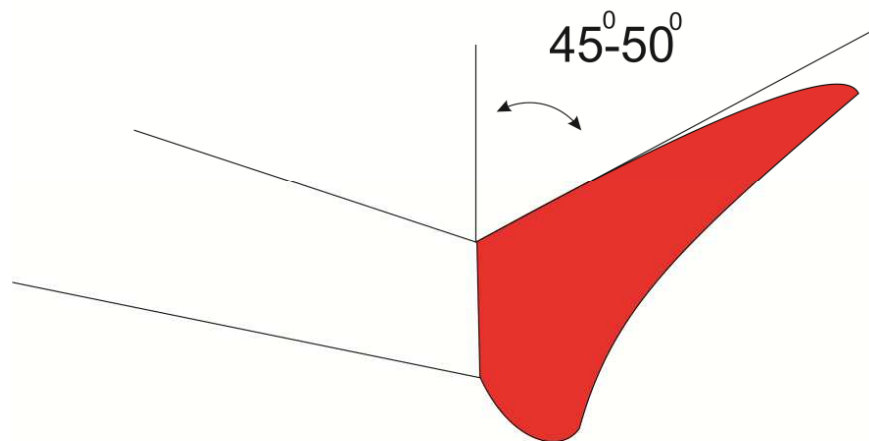


Figura 48. Flexión común. Fuente: elaboración propia.

El deportista de natación con aletas desarrolla una *flexión* plantar forzada, llegando a los 70 grados. Fuente: Cración propia.

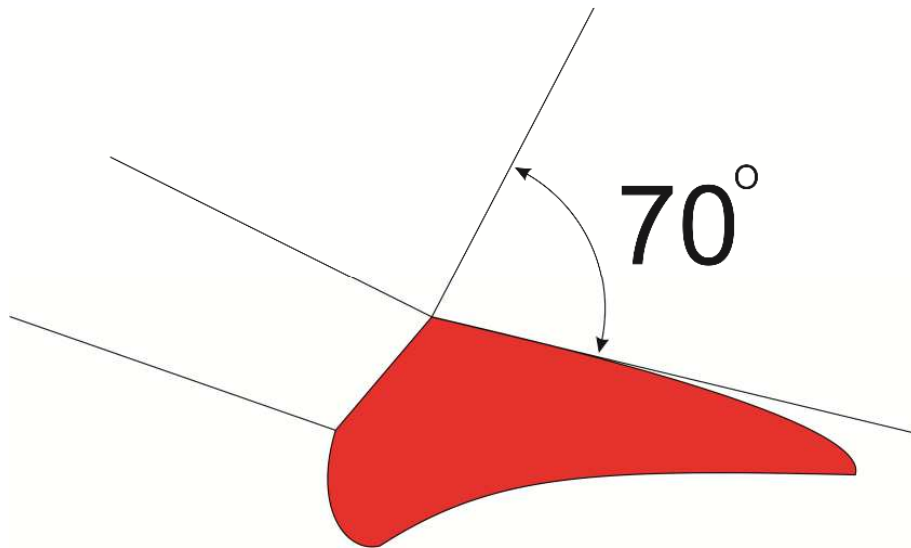


Figura 49. Flexión forzada. Fuente: elaboración propia.

El ángulo a emplear para la fabricación del molde es el formado durante la flexión plantar entre la parte llana del pie y el talón.

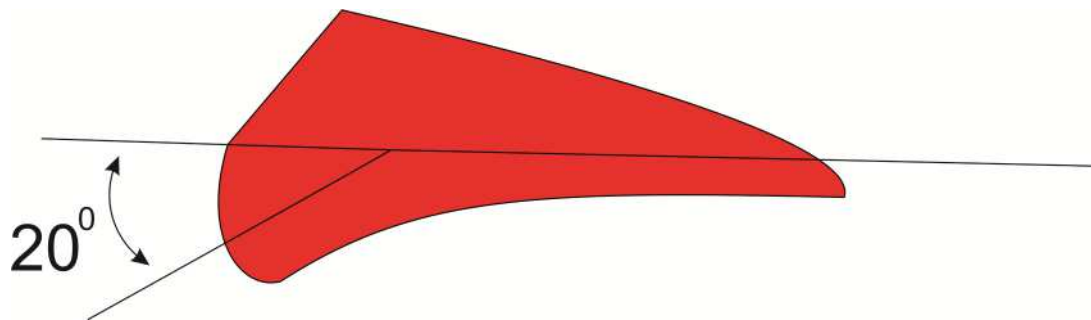


Figura 50. Ángulo de flexión forzada. Fuente: elaboración propia.

Basados en lo anterior se desarrolla el diseño y el modelado básico para la fundición de la pieza en aluminio un material metálico liviano resistente y de excelente transferencia térmica, propiedades necesarias para el proceso de vulcanización.



Figura 51. Molde calzante. Fuente: elaboración propia.

Los moldes o plantillas para el corte de las láminas de caucho se realizan en acetato, cartulina u otro material consistente. Estos moldes pueden variar según el tipo de aleta que se fabrique.

Fabricación de elementos.

Para obtener las piezas del zapato se utilizan dos métodos de vulcanización. Vulcanización por compresión. Donde se obtienen las láminas de diferente calibre mediante el calentamiento de planchas y presión hidráulica. Estas láminas conformaran las diferentes capas del calzante.

Vulcanización por autoclave

En este tipo de proceso se obtiene la pieza base sobre la cual se partirá para la conformación del calzante. En este proceso se emplea una autoclave industrial a vapor asistida por un control de temperatura.

Conformación

Para conformar un calzante se emplean dos diferentes tipos de adhesivos.

El primero es un *Adhesivo por evaporación o difusión*, este tipo de adhesivo se emplea en la unión entre capas de caucho, es de propósito específico para el pegado de caucho y comercialmente conocido como cemento para caucho en frío.

Este tipo de pegamento aporta una excelente adherencia entre capas su viscosidad es baja lo que permite la impregnación; es incoloro y se reactiva aplicando temperaturas entre 40 – 80 grados centígrados lo que facilita el desmonte de las piezas en casos de reparación y remplazo de partes.

Este tipo de adhesivo posee unos tiempos de secado cortos que permiten la evaporación de los solventes y un curado óptimo tras 48 horas, su costo es bajo y de fácil consecución.

El segundo es un *Adhesivo químicamente reactivo* de curado por catalizador. Este tipo adhesivo se mezcla con un catalizador en una proporción de 4 partes de catalizador por cada 100 partes de pegamento. Sus propiedades son elevadas y ofrece excelente adherencia sobre varios tipos de sustratos como plásticos, metales, resinas, cerámicos y cauchos. Se emplea en la unión del calzante con la pala, su viscosidad es media y de color oscuro. Se debe aplicar siguiendo las del fabricante.

Este adhesivo posee dos fases de secado entre capas y su curado óptimo se obtiene tras 72 horas; es un producto importado de altas prestaciones por este motivo su costo es elevado y su comercialización es escasa.

8.3 ELABORACIÓN DE LA PALA

La pala de una monoaleta profesional se fabrica de manera manual en un proceso que requiere de una técnica adecuada donde se deben seguir una serie de pasos detallados.

Para fabricar la pala se emplean 2 tipos de materiales.

Materiales de conformación: son los materiales que hacen parte del producto final. Los materiales de conformación para la pala son: resina, fibra de vidrio, fibra de carbono, fibra de aramida y nylon.

Materiales consumibles: Los materiales consumibles no hacen parte de la pieza final pero sí del proceso para su elaboración, y una vez terminado se desechan.

Entre estos tenemos tejidos pelables, tejidos absorbentes, mallas de circulación, plásticos de sangrado, cintas de sellado y plásticos para vacío.

La combinación de resinas y fibras de diferentes tipos determina las propiedades finales de la monoaleta. Para la monoaleta prototipo se escoge la resina epóxica por sus destacadas propiedades mecánicas, los tres tipos de fibras de vidrio, aramida y carbono para obtener la dureza requerida en las pruebas de velocidad, y por último se incluye una capa de nylon que otorga resistencia adicional a impactos y desgarros.

Patrones y molde

Las fibras al ser un tejido requieren un patrón base para su corte. Este patrón está determinado por las medidas reglamentarias del deporte. Para la pala se fabrican patrones sobre acetato, cada patrón representa una capa de fibra en total una pala requiere entre 8 y 19 capas de fibras dependiendo de la configuración de la misma.

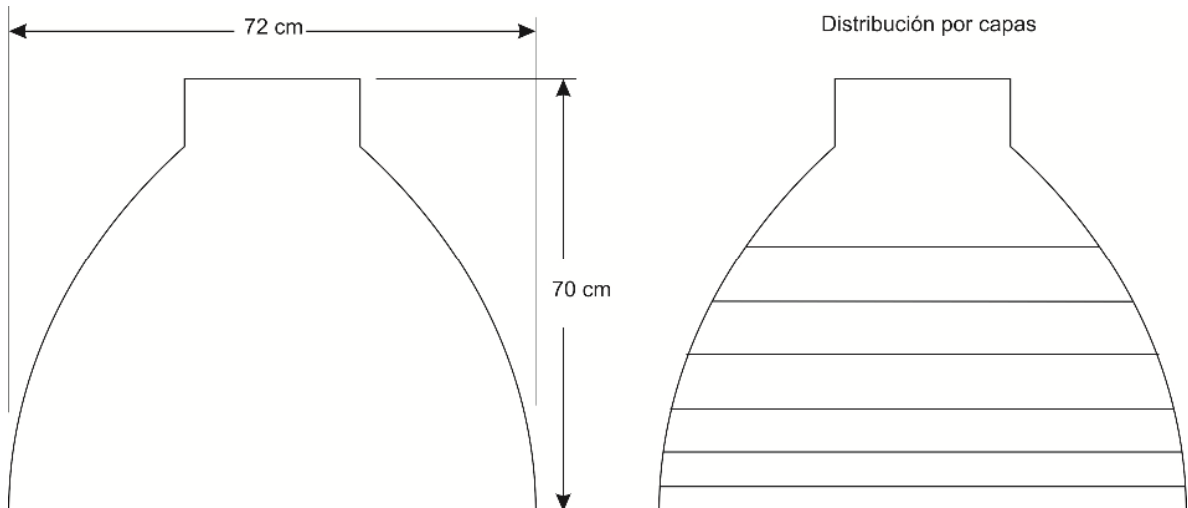


Figura 52. Patrón de corte. Fuente: elaboración propia.

El molde sobre el cual reposa el conjunto será una superficie base que consiste en una pieza plana en este caso vidrio tratado con un desmoldante tipo cera e incorpora una superficie curva que determina la forma donde se integra la pala con el calzante.

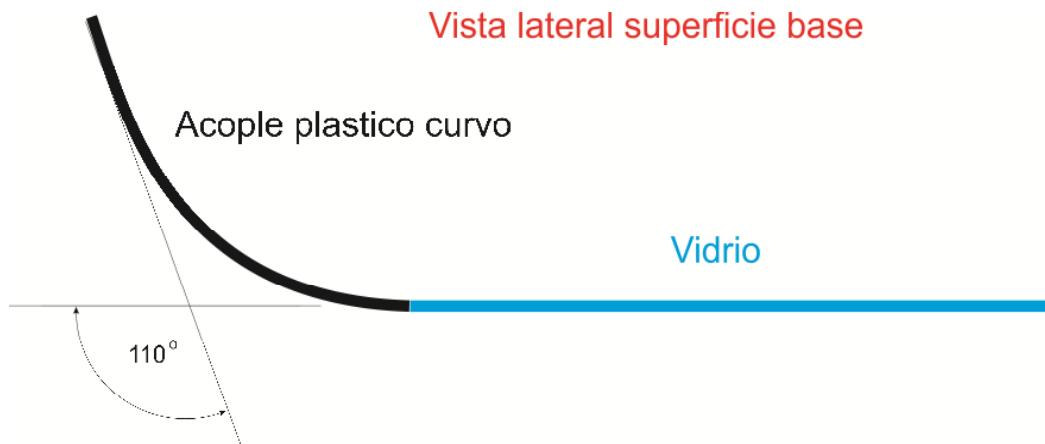


Figura 53. Base molde. Fuente: elaboración propia.

Proceso

Se cortan las capas de fibra y consumibles según los patrones.

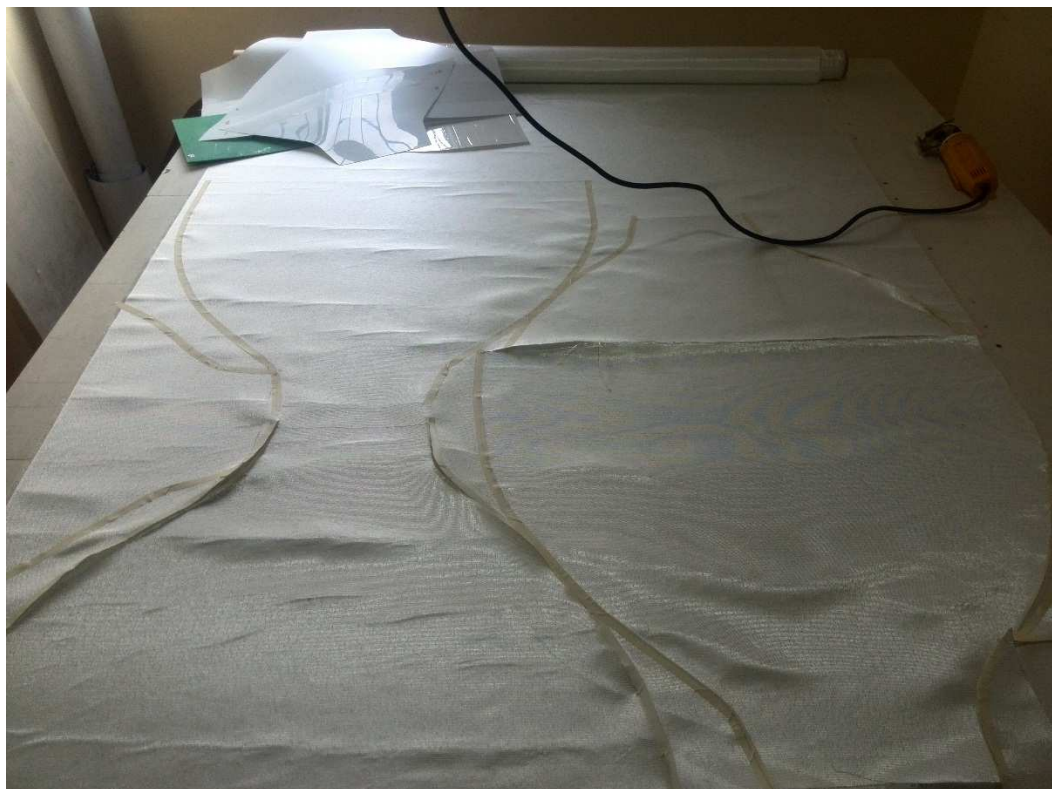


Figura 54. Corte de material. Fuente: elaboración propia.



Figura 55. Capas de conformación. Fuente: elaboración propia.

Para el conformado de la pala se emplea una técnica que integra un proceso de molde abierto y molde cerrado denominado laminación manual asistida por vacío. En este proceso la impregnación de las fibras se hace de manera manual mediante brocha o espátula y se lleva a cabo capa por capa. Al terminar la impregnación se presionan las capas con un rodillo. Sobre la última capa de fibra se coloca un tejido pelable o sangrador, una malla de circulación, un tejido absorbente y por último el plástico para vacío que se adhiere a la superficie base con la cinta de sellado.

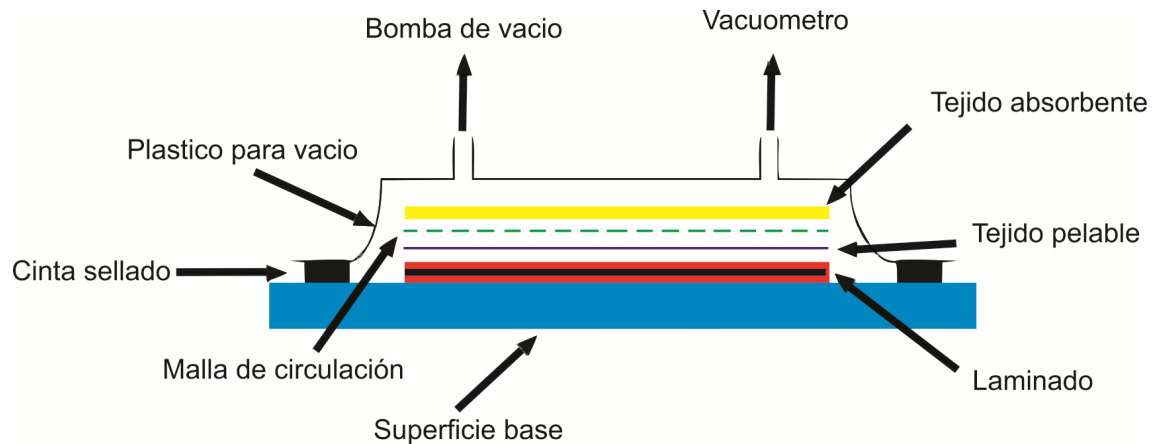


Figura 56. Laminación manual asistida por vacío. Fuente: elaboración propia..

Todo el proceso anteriormente mencionado debe realizarse bajo condiciones especiales de temperatura y tiempo partiendo de las especificaciones individuales de cada tipo de resina.

Una vez sellado el sistema se genera el vacío a través de una válvula insertada en el plástico y conectada a una bomba que mantendrá un vacío constante durante el proceso de gelificación y endurecimiento de la resina forzando el exceso de esta a través de los materiales consumibles. Este proceso permite una adecuada proporción de resina- fibra y casi nula presencia de burbujas de aire en el producto final.



Figura 57. Conjunto en el vacío. Fuente: elaboración propia.

La resina se deja endurecer durante un periodo de tiempo que depende de la temperatura a la cual se encuentra, entre mayor sea la temperatura menor tiempo de endurecimiento requerirá.

Por último se retiran los materiales consumibles de la pieza final y se desmonta de la superficie base con la ayuda de desmoldantes previamente aplicados.



Figura 58. Desmolde. Fuente: creación propia.

El curado total se obtiene entre 48 y 72 horas tiempo en el cual la pala adquiere su dureza final y puede ser recortada y pulida.

Para el desarrollo del producto final es necesario un tiempo de prueba sobre prototipo donde se sometan los materiales a condiciones específicas encontradas en el entorno deportivo. Estas pruebas deben realizarse de forma técnica evaluando el comportamiento de los materiales y de forma práctica sometiendo la monoaleta a secciones de entrenamiento con la colaboración de deportistas y entrenadores, que pueden generar un concepto profesional basándose en el desempeño de la misma.

Un factor clave para la comercialización del producto es la homologación por parte de la federación nacional, quien debe avalar el producto para su uso competitivo, este aval es realizado por el cuerpo de jueces adscritos a la

federacion basados en la normatividad vigente publicada por la confederacion mundial.

Al ser un producto deportivo pensado para el alto rendimiento la monoaleta debera contar con una campaña publicitaria ataryente, basada en el desarrollo de material audiovisual donde se de a conocer el producto y sus propiedades enfatizando en sus prestaciones, fabricacion, accesibilidad y resplado.

Para el desarrollo de esta campaña se espera contar con la ayuda de deportistas elite y sus entrenadores.

9. LOCALIZACIÓN FÍSICA

El proyecto se desarrollara en un espacio de 50 metros cuadrados donde estarán ubicadas las herramientas, moldes, maquinaria y materias primas.

Este lugar se ubica en el barrio la América de la ciudad de Medellín, un barrio céntrico de carácter residencial que permite un fácil acceso a vías principales que conectan con las principales zonas industriales y comerciales de la ciudad.

10. METAS Y ALCANCES

Con este proyecto se espera acortar a largo plazo aun más a brecha deportiva con las naciones potencia, al desarrollar un producto basado en las características propias de la población latinoamericana su situación económica y las particularidades encontradas en el entorno del cual se rodea.

El desarrollo del proyecto permite la incursión de un fabricante latinoamericano en la centralizada industria de la natación con aletas, donde la meta principal he inmediata del proyecto es desarrollar un prototipo funcional que pueda ser sometido a pruebas físicas, el cual sirva de punto de partida para la depuración de procesos de manufactura, adquisición de experiencia, evaluación de materiales y métodos.

10.1 BENEFICIARIOS PREVISTOS

Se proyecta un beneficio directo sobre los deportistas que requieren la implementación deportiva que se encuentran distribuidos en 10 ligas compuestas con un mínimo de 2 clubes afiliados y estos clubes con un aproximado de 25 deportistas, obteniendo un grupo aproximado de 500 deportistas en nivel competitivo.

Se proyecta una producción inicial que supla entre el 10 y 20% de la demanda competitiva nacional, ofreciendo un producto idóneo para cada deportista y susceptible a un proceso de retroalimentación que promueva un mejoramiento constante del producto.

Se establecerá una cadena de comercialización que favorecerá las ligas, clubes, entrenadores y terceros mediante el modelo de distribución regional del producto, mejorando las condiciones económicas de estos y fortaleciendo la práctica del deporte a nivel nacional y extendiéndose a países vecinos.

11. CRONOGRAMA

El desarrollado del proyecto está basado en la siguiente secuencia de actividades y su duración.

Actividad	Días ejecución
Definición del proyecto	10
Investigación técnica	90
Investigación comercial	20
Obtención de recursos iniciales	5
Adquisición de maquinaria	10
Adquisición de materias primas	5
Elaboración de muestras	10
Calibración proceso	5
Experimentación	60
Elaboración de prototipo	10
Pruebas físicas	180
Depuración del producto	20
Financiación	30
Contratación empleados	20
Producción inicial	40
Mercadeo	30
Total	545

Tabla 9. Cronograma.

El siguiente grafico muestra las actividades más sensibles representadas por su tiempo de ejecución:



Grafico 2. Tiempo de desarrollo de proyecto. Fuente: elaboración propia.

El tiempo estimado para el desarrollo del proyecto es de 545 días, tiempo a partir del cual se podrá dar inicio a la comercialización del producto final.

12.RECURSOS

12.1 RECURSOS MATERIALES

Recursos materiales: Para el desarrollo del proyecto se requieren los siguientes elementos:

De uso general	Maquinaria	Control y medida	Elementos de seguridad
Reglas	Compresor	Termómetro	Guantes
Martillo	Autoclave	Vacuómetros	Gafas protección
Destornilladores	Prensa hidráulica	Manómetro	Careta protección
Llaves de torque	Placas calefactoras	Termo control	Filtro de carbono
Cuchillas	Lijadora	Temporizador	Tapa bocas
Pinzas	Bomba de vacío	Flexo metro	Extractores
Alicates	Motor tool	Medidor de espesores	Delantal
Prensas	Polichadora	Durómetro	Botiquín
Cuñas	Caladora		Extintor
Brochas	Taladro		
Paletas			

Tabla 10. Recursos materiales.

La planta física debe contar con una iluminación y ventilación generosa, los espacios de trabajo deben ser acondicionados con mesas de trabajo, diferentes áreas para el procesamiento de la materia prima y durante la elaboración del producto debe contar además con múltiples tomas de corriente e instalaciones eléctricas de 220 V.

12.2 RECURSOS TÉCNICOS.

Los métodos de fabricación ha implementar en el proyecto están basados en técnicas de manufactura soportados en procesos industriales.

Estos procesos requieren un conocimiento técnico pertinente sobre el manejo adecuado de sistemas de presión, sistemas de temperatura, maquinaria

especializada y elementos de seguridad. Así mismo un sistema computarizado y banco de datos que albergue las fichas técnicas, manuales de uso, configuraciones, software de desarrollo e historial de cada proceso empleado.

13. DESARROLLO DE NOMBRE Y LOGOTIPO

El nombre bajo el cual se reconocerá el producto comercialmente será: "MONOALETAS COLFINS". La palabra Colfins es acrónimo de la frase en inglés: Colombian fins o Aletas colombianas traducido al español. Se determina este nombre para crear una identidad al producto, que marque un parámetro de localización geográfica y que lo separe de la industria tradicional.

COLFINS
MONOALETAS

Figura 59. Nombre. Fuente: elaboración propia.

Los colores por los que se reconocerá la marca son azul amarillo y negro. La razón es que en el agua el amarillo y el azul son los colores que mas resaltan, debido al fenómeno óptico de dispersión y absorción de la luz en los cuerpos líquidos.



Figura 60. Logo. Fuente: elaboración propia.

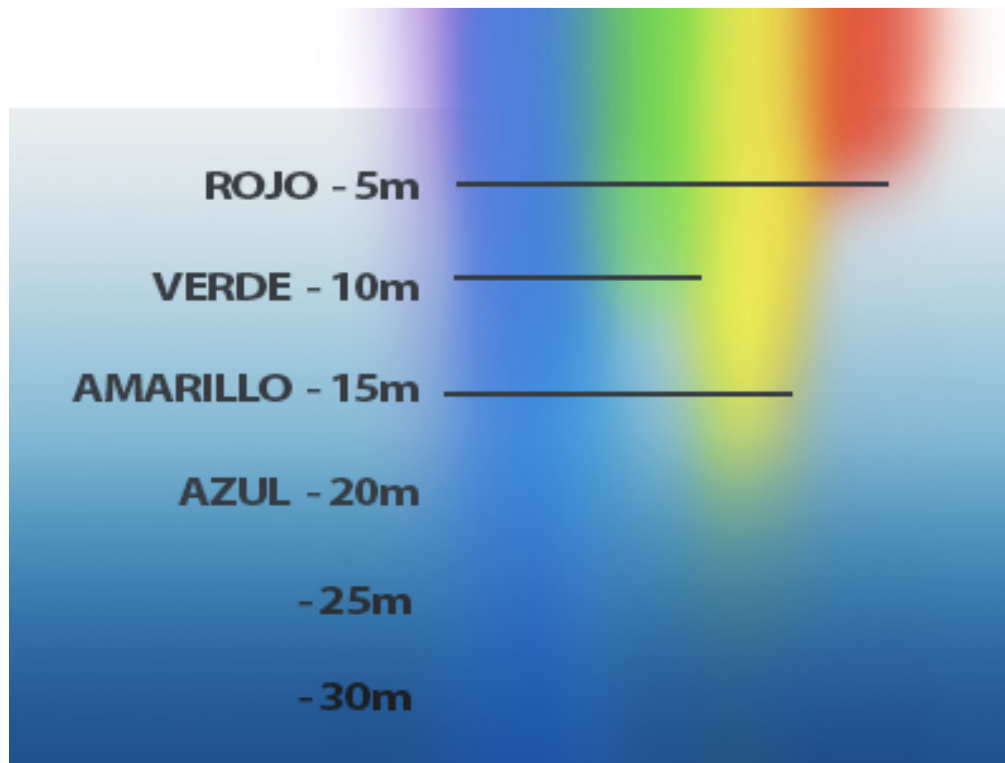


Figura 61. Dispersión del color. Tomado de:
<http://www.camaramagazine.com/index.php/magazine/tecnica-fotografica/item/1720-la-fotografia-submarina-una-experiencia-unica>

14. PLAN DE NEGOCIOS

14.1 ANÁLISIS DEL MERCADO

La natación con aletas se practica en Colombia desde hace 30 años. Actualmente cuenta con más de 10 ligas afiliadas a la federación nacional y estimada de 1200 deportistas adscritos a la misma según datos obtenidos del ranking nacional absoluto. Las ligas deportivas son los entes encargados del deporte a nivel departamental. El estimado de deportistas en alto rendimiento es de 400 distribuidos en categorías juveniles, mayores y master.

El precio de una monoaleta profesional está en un rango aproximado de 1.200.000 a 2.800.000, la vida útil de una monoaleta es de 3 años tiempo en el cual se degradan sus materiales perdiendo propiedades. Un deportista elite requiere un mínimo de dos monoaletas ya sea por tipo de prueba o tipo de entrenamiento.

La natación con aletas hace parte de los deportes de más alta categorización en los entes departamentales por su aporte medallero en los juegos deportivos nacionales lo que genera un flujo de recursos importante para la compra de material deportivo.

Datos sobre público

Los deportistas de alto rendimiento se ubican entre los 15 y 28 años principalmente, caracterizados por combinar estudios académicos con jornadas de entrenamiento y competencia, apoyados en su gran mayoría por recursos familiares y entidades deportivas. El tiempo requerido para lograr el alto rendimiento es variado pero superior a dos años en la mayoría de los casos, tiempo en el cual el deportista define sus preferencias en implementación.

Datos sobre la competencia:

Los actuales fabricantes de monoaletas se encuentran en Europa y Asia, en Colombia existen 4 distribuidores formalmente reconocidos ubicados en las ciudades de Cali, Neiva y Bogotá, La implementación ingresa al país bajo la modalidad de importación, motivo por el cual el valor se incrementa en un 40% debido a cargos por impuestos y envío sumado a un 30% adicional por concepto de ganancias por distribución. El stock es continuo debido a la demanda nacional

y regional de los productos. No existe un fabricante nacional o regional que supla la necesidad.

Requerimientos del cliente:

El usuario directo exige un rendimiento elevado del implemento que le permita obtener un resultado favorable durante el desarrollo deportivo.

Los principales aspectos a tener en cuenta son:

- **Rendimiento:** Los materiales de construcción deben ofrecer un desempeño elevado bajo condiciones de competencia y entrenamiento
- **Precio:** El valor de producto debe ser inferior a los ofertados en el mercado.
- **Garantía:** El producto debe ser respaldado por una garantía integral que repare o cambie material defectuoso.
- **Mantenimiento:** El fabricante deberá ofrecer partes de recambio y opciones de reparación preventiva o parcial del producto
- **Forma y estética:** La apariencia del producto debe ser armoniosa, la forma debe transmitir fiabilidad.

14.2 DESARROLLO

El problema: Déficit de monoaletas producidas en Colombia y Latinoamérica para la natación con aletas.

La solución: Fabricar las monoaletas en Colombia.

Como funciona: Se emplearan materiales similares, adaptando procesos industriales existentes.

Estrategias:

- Para la comercialización del producto final se buscara el aval por parte de entrenadores nacionales y deportistas elite.
- Se generara una campaña de expectativa por medios electrónicos donde se destaquen las propiedades del producto.

- Generación de una red de distribuidores en los departamentos que cuentan con ligas deportivas.
- Presencia en campeonatos nacionales con puntos de venta móvil.
- Opciones de personalización de producto basado en medidas particulares, tipo de prueba y características físicas individuales.

Calendario de puesta en marcha

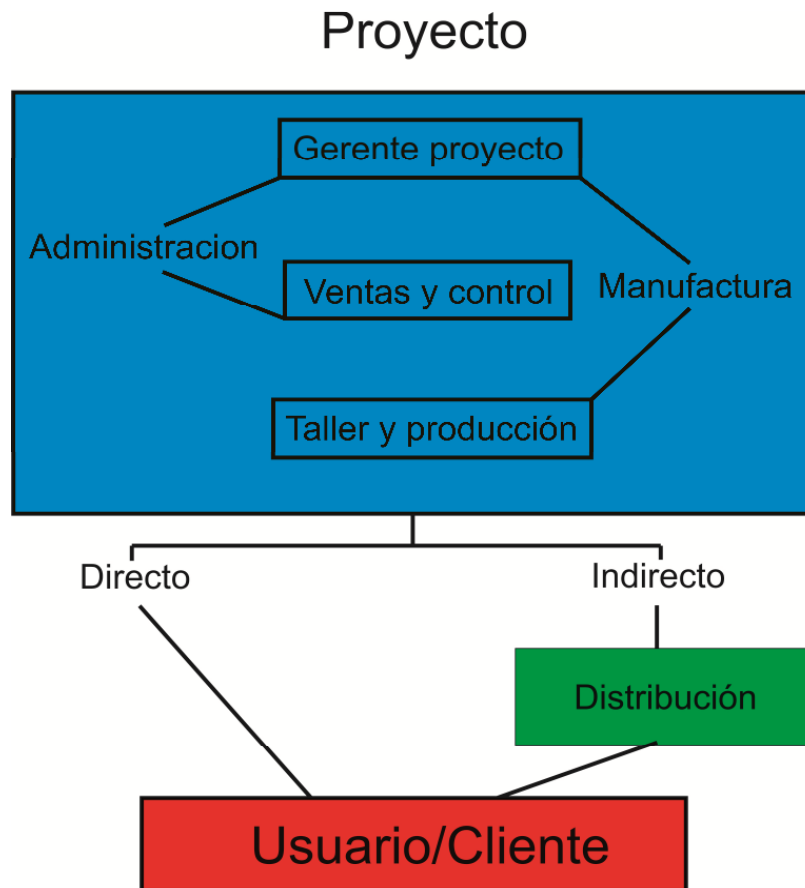
Tiempo /Actividad	2015		2016					
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Desarrollo de prototipo								
Pruebas								
Producción								
Mercadeo								
Comercialización								

Tabla 11. Calendario puesta en marcha.

Organización:

El proyecto deberá contar con personal calificado en las siguientes áreas.

- **Gerencia:** Toma de decisiones y manejo de la información sensible.
- **Ventas y control:** Personal encargado de la distribución, pagos, estados de cuenta, envíos y flujo de caja. También deberá velar por la promoción de los productos por medios físicos y electrónicos.
- **Distribución:** Personal externo a la empresa de carácter personal o institucional que comercialice los productos local o regionalmente.
- **Taller y producción:** Personal técnico con experiencia en manufactura y procesos de fabricación.



Grafica 3. Distribución de cargos. Fuente: elaboración propia.

Misión

Nuestra misión es ser reconocidos por la innovación en el desarrollo de material deportivo de bajo costo, así mismo nuestro compromiso para crear oportunidades para el crecimiento de las instituciones de formación y sus miembros afiliados ofreciendo un producto óptimo y de calidad.

Visión

Nuestra visión es crear como empresa, llegando a tener el liderazgo en fabricación y distribución de material deportivo en la región, y contar con la confianza de todas las personas que requieran de nuestros productos.

Objetivo

Aumentar el nivel de producción gradualmente creando un sistema de fidelización a la marca que garantice un flujo de ventas constante.

A continuación se anexa un cuadro comparativo basado en el estimado de ventas por cada año:

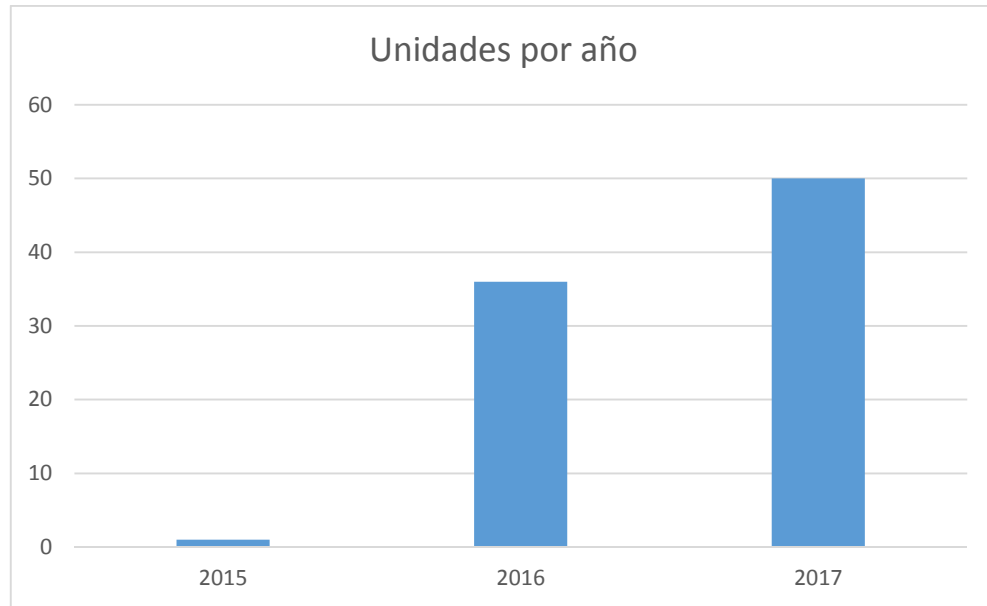


Grafico 4. Estimado de producción.

14.3 ANÁLISIS FINANCIERO

FABRICACIÓN DE MONOALETAS ESTADO DE RESULTADOS COMPARATIVO COSTO - BENEFICIO

	2015	2016	2017
Ingresos por Ventas	1.500.000	54.000.000	75.000.000
Costo de Producción	425.000	15.300.000	21.250.000
Utilidad bruta	1.075.000	38.700.000	53.750.000
Gastos de administración		0	0
Arriendo	56.250	2.025.000	2.812.500
Nomina	300.942	10.833.901	15.047.085
Servicios Públicos	35.000	1.260.000	1.750.000

Industria y Comercio	4.125	148.500	206.250
Depreciación maquinaria	7.292	262.500	364.583
Total gastos operacionales	403.608	14.529.901	20.180.418
Utilidad antes de impuesto	671.392	24.170.099	33.569.582
Provisión imprenta	167.848	6.042.525	8.392.395
Provisión Cree	60.425	2.175.309	3.021.262
Utilidad Neta	443.118	15.952.265	22.155.924

Tabla 12. Estado de resultados comparativos.

**FABRICACIÓN DE MONOALETAS
BALANCE GENERAL INICIAL
CIFRAS EN MILES DE PESOS**

	2015
Activo	
Corriente	
Disponibles	8.000.000
Deudores	
Inventarios	
Total activo corriente	8.000.000
No corriente	
Inversiones	
Deudores	
Propiedades, planta y equipo neto	
Total activo no corriente	0
Total activo	8.000.000
Pasivo y patrimonio	
Corriente	
Obligaciones financieras	
Proveedores	
Cuentas por pagar	5.000.000
Impuestos, gravámenes y tasas	
Obligaciones laborales	
Total pasivo corriente	5.000.000
Obligaciones financieras	
Cuentas por pagar	
Obligaciones laborales	
Pasivos estimados, provisiones	
Total pasivo no corriente	0
Total pasivo	5.000.000

Patrimonio

Aporte Socios	3.000.000
Total patrimonio	3.000.000
Total pasivo y patrimonio	8.000.000

ELEMENTOS DEL COSTO FABRICACIÓN DE MONOALETA

Materiales Directos	Costo por Aleta
Fibra de Carbono	150.000
Fibra de Vidrio	50.000
Resina	50.000
Caucho	60.000
Eva	15.000
Total Materiales Directos	325.000

Mano de Obra

Directa	Mes	Día	30 Horas = 3.75 Días	
<u>Salario Operario 1</u>	644.350	21.478	53.696	20 Horas
Aux. de transporte	70.000	2.333	5.833	
Seguridad Social	54.770	1.826	4.564	
ARP	20.000	667	1.667	
Pensión	77.322	2.577	6.444	
Cesantías	53.696	1.790	4.475	
Intereses a las cesantías	537	18	45	
SENA	12.887	430	1.074	
ICBF	19.331	644	1.611	
<u>Salario Profesional</u>	2.577.000	85.900	107.375	10 Horas
Seguridad Social	219.045	7.302	9.127	
ARP	50.000	1.667	2.083	
Pensión	309.240	10.308	12.885	
Cesantías	214.750	7.158	8.948	
Intereses a las cesantías	2.148	72	89	
SENA	51.540	1.718	2.148	
ICBF	77.310	2.577	3.221	

Aux. Administrativa	1.288.700	42.957	53.696	10 Horas
Aux. de transporte	70.000	2.333	2.917	
Seguridad Social	109.540	3.651	4.564	
ARP	20.000	667	833	
Pensión	154.644	5.155	6.444	
Cesantías	107.392	3.580	4.475	
Intereses a las cesantías	1.074	36	45	
SENA	25.774	859	1.074	
ICBF	38.661	1.289	1.611	
Total Mano de Obra Directa			300.942	

**COSTOS
INDIRECTOS**

Materiales Indirectos

Consumibles	60.000
Materiales compuestos	
Adhesivo 1	15.000
Adhesivo 2	25.000

Total Materiales Indirectos	100.000
------------------------------------	----------------

**GASTOS DE
ADMINISTRACIÓN**

	Mes	Día	30 Horas = 3.75 Días
Arriendo	450.000	15.000	56.250
Industria y comercio	33.000	1.100	4.125
servicios públicos	280.000	9.333	35.000
Depreciación Maquinaria	58.333	1.944	7.292
TOTAL			102.667

ESTADO DE RESULTADOS

POR UNIDAD

Ingresos por Ventas	1.500.000
Costo de Producción	425.000
Utilidad bruta	1.075.000
Gastos de administración	
Arriendo	56.250
Nomina	300.942
Servicios Públicos	35.000
Industria y Comercio	4.125
Depreciación maquinaria	7.292
Total gastos operacionales	403.608
Utilidad antes de impuesto	671.392
Provisión imprenta	167.848
Provisión Cree	60.425
Utilidad Neta	443.118

Tabla 13. Análisis financiero.

15. RESULTADOS

Los requerimientos de diseño marcan la pauta a seguir en el desarrollo de la monoaleta, basado en ellos se elaboran las especificaciones cuantitativas y como resultado de este proceso se escoge la propuesta número 2 de las posibles alternativas de diseño acorde a la reglamentación internacional (Ver figura 43).

Una vez definido el diseño se establecen los materiales y procesos a emplear. En este punto se define que los materiales óptimos para la construcción de la pala son los 3 tipos de fibra: vidrio, carbono y aramida, reforzados además con una capa de nylon que mejora las propiedades mecánicas y la resistencia general, punto de gran importancia.

Estas fibras utilizan como matriz la resina epóxica por sus propiedades superiores y versatilidad durante la conformación.

El calzante por su parte conlleva un considerable esfuerzo para su transformación, manejo, vulcanización y formulación. Donde se contrata una empresa experta en este tipo de materiales para la elaboración de la materia prima sobre necesidades específicas. El proceso de conformación del calzante se desarrolla de manera manual, se requiere una considerable habilidad en el manejo de herramientas.

Los procesos escogidos para la fabricación son los siguientes:

➤ **Laminado manual asistido por vacío**

Este proceso supone un nivel de complejidad medio alto donde se deben seguir una serie de pasos detallados para la correcta impregnación, disposición final y cura de los materiales compuestos. El equipo para el proceso de vacío es complejo y muy susceptible a fugas, debido a esto el uso de instrumento de medida como vacuómetros es fundamental. Durante el proceso se descubre que algunos de los materiales consumibles pueden ser reutilizados lo que favorece el costo del producto.

➤ **Vulcanización en autoclave**

Este proceso requiere un a nivel de atención fundamental donde se deben controlar las variables que afectan la vulcanización del caucho como temperatura, tiempo y presión. Durante la fase de experimentación se establecen los parámetros a seguir para garantizar las propiedades finales del calzante, todo este

proceso asistido por los sistemas de medida como los controles de temperatura, manómetro y temporizadores.

Una vez finalizados los procesos individuales se procede a la integración del calzante y la pala con la ayuda de adhesivos especializados en este tipo de sustratos. Una actividad totalmente manual donde el uso de herramientas de corte y lijado es fundamental.

El producto final obtenido como prototipo se caracteriza por un bajo peso en comparación con sus similares en un 30% menor, sus acabados finales cumplen con un carácter técnico pero se sitúan por debajo de los estándares de la industria. Su apariencia final es destacable donde visualmente no se observan las características únicas que suponen una ventaja frente a sus similares.



Figura 62. Monoaleta producto final. Fuente: construcción propia.

16. CONCLUSIONES

- El desarrollo de material deportivo para la natación con aletas se encuentra centralizado y enfocado en necesidades específicas encontradas en los países europeos y asiáticos donde las condiciones económicas y ambientales difieren de las encontradas en Latinoamérica.
- El acceso a los materiales e insumos es limitado, la oferta es escasa lo que deriva en una falencia competitiva en el momento de manejar un inventario y una disposición constante de materias primas para la elaboración de productos sobre pedido.
- A nivel industrial se encuentra que los procesos adecuados para la elaboración de proyecto están disponibles en gran formato y configuraciones de producción sobre grandes volúmenes, lo que obliga a la transformación de los mismos reduciendo su escala.
- La creación de un producto latinoamericano pertinente y desarrollado con base a las necesidades propias de la población objetivo, ofrece una ventaja deportiva al favorecer el rendimiento de los nadadores.
- Una cadena de distribución y venta directa genera una opción de negocio legítima y legal, mejorando la economía del proyecto y la de los agentes de distribución ya sea de carácter personal o institucional.
- Aventurarse en este tipo de proyectos requiere un desarrollo arduo de todos los aspectos que lo integran y una lucha constante entre lo que existe y lo que hay por hacer para lograrlo, no es una idea fácil pero la gratificación seguramente vendrá acompañada de un bienestar personal y económico por atreverse a hacer lo que los demás ven como improbable.

17. REFERENCIAS

- Askeland, D. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Cengage Learning. ISBN 9789706863614.
- Belloch, D. S. (9 de Noviembre de 2015). *Análisis biomecánico de natación*. València, España: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte, Universidad de València. Obtenido de Notinat: http://www.notinat.com.es/docs/analisis_biomecanico_en_natacion.pdf
- Besednjak, A. (2009). *Los materiales compuestos A. Besednjak*. Univ. Politèc. de Catalunya: Upc Edicions Upc.
- Chaurand, R. A., & Prado, E. G. (23 de Febrero de 2014). *Slide Share, Medidas Antropométricas Población latinoamericana*. Obtenido de Slide Share: <http://es.slideshare.net/mmcsteamy/medidas-latinoamericanas-dimensiones-antropometricas-de-poblacion-latinoamericana>
- CMAS. (10 de Noviembre de 2015). *World Underwater Federation's Official website*. Obtenido de World Underwater Federation's Official website: <http://history.cmas.org/index>
- CMAS, N. R. (9 de Noviembre de 2015). *Sportalsub*. Obtenido de www.sportalsub.net/blog/2014/01/14/nuevos-reglamentos-internacionales-cmas-de-natacion-con-aletas-2014/
- Finswimmer Magazine. (22 de Julio de 2012). *Finswimming, Apnea and Underwater Activities*. Obtenido de Finswimming, Apnea and Underwater Activities: <http://www.finswimmer.com/>
- Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales Procesos y Sistemas*. Pearson Edición.
- Hernández, A. (8 de Octubre de 2002). *I-Natación*. Obtenido de I-Natación: <http://www.inatacion.com/articulos/tecnica/mariposa/piernas.html>
- M. A. Laughton, D. J. (2003). *Electrical Engineer's Reference book*. 16th edition, Newnes.
- Medmaid, W. (9 de Noviembre de 2015). *Mernetwork, Monofin manufactures (From Finswimming Magazine)*. Obtenido de Mernetwork, Monofin manufactures (From Finswimming Magazine): [http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-\(from-Finswimming-Magazine\)&langid=3](http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-(from-Finswimming-Magazine)&langid=3)
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. S. (1993). *Física vol. 1*. Editorial Continental.
- Sportalsub, Nuevos Reglamentos Internacionales CMAS, www.sportalsub.net/blog/2014/01/14/nuevos-reglamentos-internacionales-cmas-de-natacion-con-aletas-2014/ [Consulta: Noviembre 9 de 2015]. (s.f.)*
- Voegeli, A. V. (2000). *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor*. Barcelona: Springer.

18. BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, D. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Cengage Learning. ISBN 9789706863614.
- Belloch, D. S. (9 de Noviembre de 2015). *Análisis biomecánico de natación*. València, España: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte, Universidad de València. Obtenido de Notinat: http://www.notinat.com.es/docs/analisis_biomecanico_en_natacion.pdf
- Besednjak, A. (2009). *Los materiales compuestos A. Besednjak*. Univ. Politèc. de Catalunya: Upc Edicions Upc.
- Chaurand, R. A., & Prado, E. G. (23 de Febrero de 2014). *Slide Share, Medidas Antropométricas Población latinoamericana*. Obtenido de Slide Share: <http://es.slideshare.net/mmcsteamy/medidas-latinoamericanas-dimensiones-antropometricas-de-poblacion-latinoamericana>
- CMAS. (10 de Noviembre de 2015). *World Underwater Federation's Official website*. Obtenido de World Underwater Federation's Official website: <http://history.cmas.org/index>
- CMAS, N. R. (9 de Noviembre de 2015). *Sportalsub*. Obtenido de www.sportalsub.net/blog/2014/01/14/nuevos-reglamentos-internacionales-cmas-de-natacion-con-aletas-2014/
- Finswimmer Magazine. (22 de Julio de 2012). *Finswimming, Apnea and Underwater Activities*. Obtenido de Finswimming, Apnea and Underwater Activities: <http://www.finswimmer.com/>
- Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales Procesos y Sistemas*. Pearson Edición.
- Hernández, A. (8 de Octubre de 2002). *I-Natación*. Obtenido de I-Natación: <http://www.inatacion.com/articulos/tecnica/mariposa/piernas.html>
- M. A. Laughton, D. J. (2003). *Electrical Engineer's Reference book*. 16th edition, Newnes.
- Medmaid, W. (9 de Noviembre de 2015). *Mernetwork, Monofin manufactures (From Finswimming Magazine)*. Obtenido de Mernetwork, Monofin manufactures (From Finswimming Magazine): [http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-\(from-Finswimming-Magazine\)&langid=3](http://mernetwork.com/index/showthread.php?2577-Monofin-Manufacturers-(from-Finswimming-Magazine)&langid=3)
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. S. (1993). *Física vol. 1*. Editorial Continental.

Sportalsub, Nuevos Reglamentos Internacionales CMAS, www.sportalsub.net/blog/2014/01/14/nuevos-reglamentos-internacionales-cmas-de-natacion-con-aletas-2014/ [Consulta: Noviembre 9 de 2015]. (s.f.).

Voegeli, A. V. (2000). *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor*. Barcelona: Springer.