



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DESARROLLO DE UN SISTEMA *Airbag*
PARA MOTOCICLISTAS A BAJO COSTO

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos
para aspirar al título y grado de


LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

Juan José Chacón León B31767


Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Agosto, 2022

Hoja de tribunal

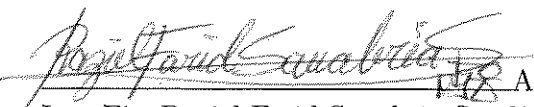
Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica.



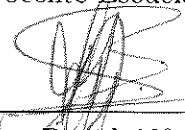
Director de la Unidad Académica
Ph.D. Pietro Scaglioni Solano
Director Escuela de Ingeniería Mecánica




Asesor director
Ing. Israel Chaves Arbaiza
Docente Escuela de Ingeniería Mecánica




Asesor interno
Ing. Fis. Raziél Farid Sanabria Sandí
Docente Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor externo
Ing. David Alfaro Víquez
Profesor de Robótica Industrial de la Universidad de Costa Rica Sede Alajuela



Docente curso Proyecto I
Mag. Juan Gabriel Monge Gapper
Miembro del consejo universitario.



Ponente
Juan José Chacón León

Índice general

Hoja de tribunal	i
Índice de ilustraciones	vi
Índice de cuadros	viii
Abreviaturas	ix
Resumen	x
1. Introducción	1
1.1. Descripción General	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación	3
1.4. Antecedentes	6
1.5. Desarrollo del proyecto	8
1.5.1. Investigación	8
1.5.2. Diseño Mecánico	8
1.5.3. Diseño Experimental y Documentación	9
1.6. Alcance y Limitaciones	10
2. Marco Teórico	11
2.1. Dinámica de los Fluidos	11
2.2. Chalecos <i>Airbags</i>	12
2.2.1. Historia	12
2.2.2. Actuales	13
2.3. Instrumentación	15
2.3.1. Control de Variables de Proceso	16
2.3.2. Instrumentos de Medida	17
2.3.3. Actuadores	19
2.3.4. Sistemas de Procesamiento	21
2.3.5. Comparativa entre los sistemas de procesamiento	25
2.4. Diseño de Experimentos	26
2.5. Regulación Existente	28
2.5.1. Seguridad Vial para Motocicletas	28
2.5.2. Latin NCAP y Otros Entes de Crash Test	29

2.6. Crash Test	33
2.6.1. Pruebas de Campo	33
2.6.2. Pruebas Computacionales	36
3. Metodología	38
3.1. Contexto General	38
3.2. Diseño Mecánico	40
3.2.1. Diseño de chaleco <i>Airbag</i> con CAE y CAD	40
3.3. Construcción de Prototipo	42
3.4. Pruebas con Software	43
3.5. Estudio de Rentabilidad	44
4. Diseño de Chaleco	45
4.1. Funcionalidad del Chaleco	45
4.1.1. Sistema Mecánico	48
4.1.2. Sistema Neumático	50
4.1.3. Sistema Electrónico	53
4.1.4. Sistema Lógico	57
5. Construcción de Prototipo	60
6. Pruebas con Software	67
6.1. ANSYS WorkBench 2020 R2	67
6.2. Pruebas realizadas	68
6.3. Pruebas de llenado	69
6.4. Impacto Puntual	72
6.5. Impacto Distribuido	80
7. Análisis de Resultados	86
8. Estudio de Rentabilidad Económica	93
9. Conclusiones y Recomendaciones	97
Bibliografía	100

Índice de figuras

1.1.	Anuario estadístico Cosevi 2012-2017. Fuente: COSEVI, 2018	3
1.2.	Anuario estadístico Cosevi 2012-2017 en gráfico de barra. Fuente: Elaboración Propia	4
1.3.	Anuario estadístico Cosevi 2018-2019. Fuente: Cosevi, 2019	4
2.1.	Cronología del desarrollo del <i>airbag</i> convencional y el chaleco <i>airbag</i> . Fuente: elaboración propia.	13
2.2.	Chaleco <i>airbag</i> producido por Hit Air. (Hit Air, s.f)	14
2.3.	Sistema de control automático. Fuente: Zandin, 2001.	16
2.4.	Tipos de acelerómetros; (a) de tipo cortante delta (b) de tipo isocortante (c) de tipo cortante nulo. Fuente: Paez; Piersol, 2010	18
2.5.	Válvula solenoide. Fuente: ebay, s.f	20
2.6.	Esquema general del funcionamiento de un microcontrolador. Fuente: Zandin, 2001	21
2.7.	Representación de un un controlador Arduino. Fuente: Chin, 2018.	22
2.8.	Representación de un controlador myRio. Fuente: NI, s.f.	23
2.9.	Representación de un un controlador Stm F432. Fuente: Norris, 2018.	24
2.10.	(a) Configuración de la prueba de superposición pequeña RMDB realizada por la NHTSA para evaluar la seguridad de los vehículos. (b) Configuración de la prueba de superposición oblicua realizada por la NHTSA para evaluar la seguridad de los vehículos; Fuente: Lam, 2014.	32
2.11.	(a) Configuración de la prueba de superposición moderada realizada por la IIHS. (b) Configuración de la prueba de superposición pequeña realizada por la IIHS; Fuente: Lam, 2014.	33
2.12.	Configuración de prueba frontal de impacto utilizada por la Latin NCAP. Fuente: Latin NCAP, s.f.	34
2.13.	Configuración de prueba lateral de impacto utilizada por la Latin NCAP. Fuente: Latin NCAP, s.f.	35
2.14.	Configuración de prueba lateral de poste de impacto utilizada por la Latin NCAP. Fuente: Latin NCAP, s.f.	36
4.1.	Área de protección asegurada mediante el uso de chaleco <i>airbag</i> marca Bering. Fuente: Bering	46

4.2. Distribución de <i>airbags</i> para una protección completa. Fuente: Elaboración propia	47
4.3. Diagrama de colisión trasera de un vehículo con una motocicleta Fuente: Dainese Product Information	47
4.4. Diagrama de colisión frontal de una motocicleta con un vehículo u otro objeto. Fuente: Dainese Product Information	48
4.5. Diagrama de un deslizamiento por parte del motociclista. Fuente: Dainese Product Information	48
4.6. Diagrama de ubicación del <i>airbag</i> principal en modelo 3d del chaleco <i>airbag</i> . Fuente: Elaboración Propia	50
4.7. Diagrama de ubicación de los <i>airbags</i> frontales en modelo 3d del chaleco <i>airbag</i> . Fuente: Elaboración Propia	51
4.8. Tiempo de inflado del modelo Tech-air de la marca Alpinestar. Fuente: Alpinestar	53
4.9. Conexión de la electroválvula y la fuente de poder . Fuente: Elaboración propia	57
4.10. Conexión de la electroválvula y la fuente de poder . Fuente: Elaboración propia	57
4.11. Conexión de la electroválvula y la fuente de poder . Fuente: Elaboración propia	58
4.12. Diagrama de flujo del chaleco <i>airbag</i> . Fuente: Elaboración Propia	59
5.1. Cortes con el patrón de costura	61
5.2. Cortes de tela army y tafeta	62
5.3. Localización de cintas retroreflectivas	63
5.4. Localización de cintas retroreflectivas	64
5.5. Tafeta sellada con aire comprimido	65
5.6. Modelo final con aire comprimido	66
6.1. Resultado ANSYS Fluid Flow pruebas de llenado, llenado inicial luego de 0.01, 0.05 y 0.1s. Elaboración Propia	70
6.2. Resultado ANSYS Fluid Flow pruebas de llenado completo. Elaboración Propia	71
6.3. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal del chaleco a 80 km/h. Elaboración Propia	72
6.4. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Posterior del chaleco a 80 km/h. Elaboración Propia	73
6.5. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las áreas laterales del chaleco a 80 km/h. Elaboración Propia	74
6.6. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal Superior a 100 km/h. Elaboración Propia	75
6.7. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en varias áreas del chaleco <i>airbag</i> con el vehículo moviéndose a 100 km/h. Elaboración Propia	76

6.8. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal del chaleco con el vehículo moviéndose a 120 km/h. Elaboración Propia	77
6.9. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Posterior del chaleco con el vehículo moviéndose a 120 km/h. Elaboración Propia	78
6.10. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las áreas laterales con el vehículo moviéndose a 120 km/h. Elaboración Propia	79
6.11. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal del chaleco para una carga distribuida de un vehículo viajando a una velocidad de 80 km/h. Elaboración Propia	80
6.12. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Posterior del chaleco para una carga distribuida de un vehículo viajando a 80 km/h. Elaboración Propia	81
6.13. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las áreas laterales del chaleco para una carga distribuida de un vehículo viajando a 80 km/h. Elaboración Propia	82
6.14. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las diferentes áreas del chaleco (frontal, posterior y laterales) para una carga distribuida de un vehículo viajando a 100 km/h. Elaboración Propia	83
6.15. Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las diferentes áreas del chaleco (frontal, posterior y laterales) para una carga distribuida de un vehículo viajando a 120 km/h. Elaboración Propia	84
7.1. Comparación de resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal Superior a 80 km/h y el área lateral izquierda a 80 km/h. Deformación máxima en el área frontal es de 7.3 mm, mientras que la deformación máxima en el área lateral es de 7.7 mm. Elaboración Propia	87
7.2. Comparación de los perfiles frontal y lateral del chaleco. Elaboración Propia	88
7.3. Ejemplo placa lateral de aluminio para chaleco <i>airbag</i> . Elaboración Propia	92

Índice de cuadros

2.1. Comparación de especificaciones de los diferentes modelos de chalecos <i>airbag</i> actuales. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de las paginas oficiales de la compañía.	15
2.2. Tabla comparativa entre los sistemas de procesamiento. Fuente: Elaboración propia	25
4.1. Comparación de las propiedades de los gases argón y dióxido de carbono. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de la página Airproducts.com	52
4.2. Comparación de las características de los acelerómetros. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada	54
4.3. Comparación de las características de los giroscopios. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada	54
4.4. Comparación de las características de los microprocesadores. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada	55
4.5. Comparación de las características de las electroválvulas. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada	55
4.6. Comparación de las características de las baterías LIP. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada	56
4.7. Comparación de las características de GPS. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada	56
5.1. Resumen de especificaciones técnicas para construcción de prototipo . .	60
7.1. Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas para la carga puntual a las 3 velocidades estudiadas. Elaboración propia (2021).	86
7.2. Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas para la carga distribuida a las 3 velocidades estudiadas. Elaboración propia (2021).	87
7.3. Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas para la carga distribuida a las 3 velocidades estudiadas. Elaboración propia (2021).	89
7.4. Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas a las 3 velocidades estudiadas cuyo caso la deformación es mayor a 62 mm. Elaboración propia (2021).	90

7.5.	Grados de aluminio y sus propiedades. Elaboración propia a partir de la información de la página Thmasnet (2021). [1]	91
7.6.	Características del Aluminio 6061. Elaboración propia a partir de la información de la página Thmasnet (2021). [1]	91
8.1.	Resumen de precio de chalecos <i>airbag</i> en el mercado. Elaboración propia con datos de las páginas oficiales (2021).	93
8.2.	Resumen de costo de los materiales del chaleco. Elaboración propia (2021).	95

Abreviaturas

CAD Computer Aided Drawing (Dibujo Asistido por Computadora)

CAE Computer Aided Engineering (Ingeniería Asistida por Computadora)

COSEVI Consejo de Seguridad Vial

IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers

ISO International Organization for Standardization

MOPT Ministerio de Obras Públicas y Transporte

SI Sistema Internacional de Unidades

UCR Universidad de Costa Rica

AUGE Agencia Universitaria para la Gestión del Emprendimiento de la Universidad de Costa Rica

NCAP New Car Assessment Program (Programa de Evaluación de Automóviles Nuevos)

MOPT Ministerio de Obras Publicas y Transporte

COSEVI Consejo de Seguridad Vial

NHTSA National Highway Traffic Safety Administration (Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras)

IIHS Insurance Institute for Highway Safety (Instituto de Seguros para la Seguridad Vial)

RMDB Research Moving Deformable Barrier (Barrera Móvil Deformable para Investigación)

Resumen

Este trabajo consiste en el diseño y construcción de un chaleco *airbag* como accesorio de seguridad para motociclistas en Costa Rica. Basados en dispositivos similares disponibles en el mercado mundial se diseñó un chaleco *airbag* que sirva para proveer a los motociclistas con una protección ante un impacto en la carretera. Este chaleco debe de cumplir con los requerimientos de seguridad para proteger al motociclista al mismo tiempo que puede ser accesible a un precio cómodo para la población costarricense que se transporta en motocicleta. Inicialmente, se realizó una investigación para determinar los componentes que debe de llevar el chaleco *airbag* para cumplir con su función. Luego, se identificó un mecanismo para probar si el diseño planteado cumple con los parámetros de seguridad necesarios. Luego, se trabajó en el diseño del chaleco utilizando software de CAD y CAE. Al final se incluyó un estudio económico del chaleco para determinar si este es rentable y podría ser comercializado en el país a un bajo costo.

El chaleco diseñado incluye una sección exterior que corresponde a la tela y el recubrimiento. Este debe ser resistente a la abrasión y otros esfuerzos. El chaleco incluye una sección neumática, que corresponde al mecanismo por el cual el chaleco se infla y distribuye el gas dentro para proteger al motociclista en el caso de un impacto. Por último, el chaleco tiene una sección electrónica, ésta corresponde al mecanismo mediante el cual el chaleco debe de identificar cuando debe de inflar y enviar la señal para liberar el gas.

Una vez diseñado el chaleco e identificados los componentes a utilizar se realizó el prototipo de el chaleco para determinar si este es posible de construir. Posterior a eso, se utilizó el diseño en un software CAE para analizar si el diseño del chaleco es suficiente para proteger al motociclista en caso de impactos. Para determinar esto se utilizó el software de CAE para simular el efecto de diferentes tipos de golpes sobre el chaleco y se midió y analizó el resultado para determinar si la protección determinada por el chaleco es suficiente para que el motociclista no sufra heridas ni golpes significantes.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Descripción General

El propósito de elaborar este prototipo se basa en una alarmante cifra de muertes y accidentes de los motociclistas en Costa Rica, estadísticas lamentables recopiladas por el COSEVI, ente que vela por la seguridad vial de los usuarios de este medio de transporte. Los motociclistas son un grupo vulnerable en carretera, esto porque en su mayoría sólo poseen el casco como único dispositivo de seguridad para proteger su integridad física, el cual en muchas ocasiones no resulta ser suficiente para salvaguardar su vida, teniendo así muchísimas víctimas mortales. Por ello, surge la necesidad de buscar soluciones a dicho problema, bajo esta misma línea de pensamiento se plantea desarrollar un prototipo de chaleco *airbag* para motociclistas, el cual promete ser una medida de seguridad adicional para los mismos, con una expectativa alta de implementación y sobre todo, disminuir la cantidad de muertes de motociclistas en carretera.

No obstante, existe un gran problema los modelos de chalecos *airbags* actualmente en el mercado, el cual es el alto coste económico que este representa. Sólo basta mirar el precio final de estos artículos en países de Europa y Asia, añadiendo a lo anterior la inexistencia de este dispositivo en nuestro mercado. Por lo tanto, se busca implementar en nuestro país. Un punto fundamental para el desarrollo de este chaleco son las herramientas de diseño computacionales, tanto CAD como CAE, las cuales serán un apoyo a la hora de diseñar. Posterior a la etapa de diseño por instrumentos computacionales, se deberá construir un prototipo, el cual será sometido a una prueba experimental en computadora. Finalmente, se pretende otorgar una herramienta valiosa de seguridad a los motociclistas, siempre buscando el aval y apoyo de entes como el COSEVI o el MOPT.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un chaleco *airbag* para motociclistas con una confiabilidad alta en seguridad y a bajo costo económico, con la finalidad de buscar una proyección comercial a futuro para reducir el número de muertes en carretera de motociclistas en Costa Rica.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un modelo funcional de chaleco *airbag* para motociclistas mediante herramientas de CAD y CAE
- Diseñar el circuito electrónico de control para el funcionamiento del chaleco *airbag*.
- Desarrollar una prueba computacional de choque para comprobar el funcionamiento del prototipo de chaleco *airbag*.
- Elaborar un estudio de rentabilidad económica para el desarrollo de chalecos *airbag* para motociclistas en Costa Rica

1.3. Justificación

Como primer, se debe tomar el contexto socio-económico actual de Costa Rica, la cual se encuentra inmersa en una una tasa de inflación constante a lo largo de las últimas dos décadas, así como un creciente problema de desigualdad social. Por ello, surge cada vez más la necesidad de emigrar a alternativas de traslado más económicas para la población de nuestro país. Cada vez es más común el observar motorizados, esto porque es un medio de transporte más económico, además resulta un implemento vital para ejercer varias labores profesionales, como la mensajería. Sin embargo, es notable una alta tasa de incidentes graves con motociclistas, choques con resultados fatídicos en muchas ocasiones. Basta con analizar las estadísticas del COSEVI en su anuario del 2017 (Solano-Cambronero, 2019). Añadiendo a este último punto, cabe acotar como estas cifras van en aumento, como se muestra en los datos anuales de COSEVI en lo asociado a accidentes de motociclistas, dato no menos alarmante., como se refleja en el anuario estadístico de COSEVI durante el lapso 2012-2017, el cual se procede a mostrar en la Figura 1.1. (COSEVI, 2018)

Cuadro 1
Costa Rica: cantidad de muertos en sitio por año
según tipo de usuario, periodo 2012- 2017

Tipo de usuario	Año					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Motociclista	85	89	110	152	181	170
Acompañante moto	14	13	14	12	20	29
Peatón	82	69	77	76	88	95
Conductor carro	75	61	70	94	105	95
Acompañante carro	40	40	61	51	37	63
Ciclista	32	26	33	39	45	36
Otro	4	0	0	1	9	0
Total	332	298	365	425	485	488

Fuente: Cosevi, Área de investigación y estadística, datos según el parte oficial de tránsito.

Figura 1.1: Anuario estadístico Cosevi 2012-2017. Fuente: COSEVI, 2018

En la Figura 1.2 se muestra una gráfica con lo detallado en la Figura 1.1

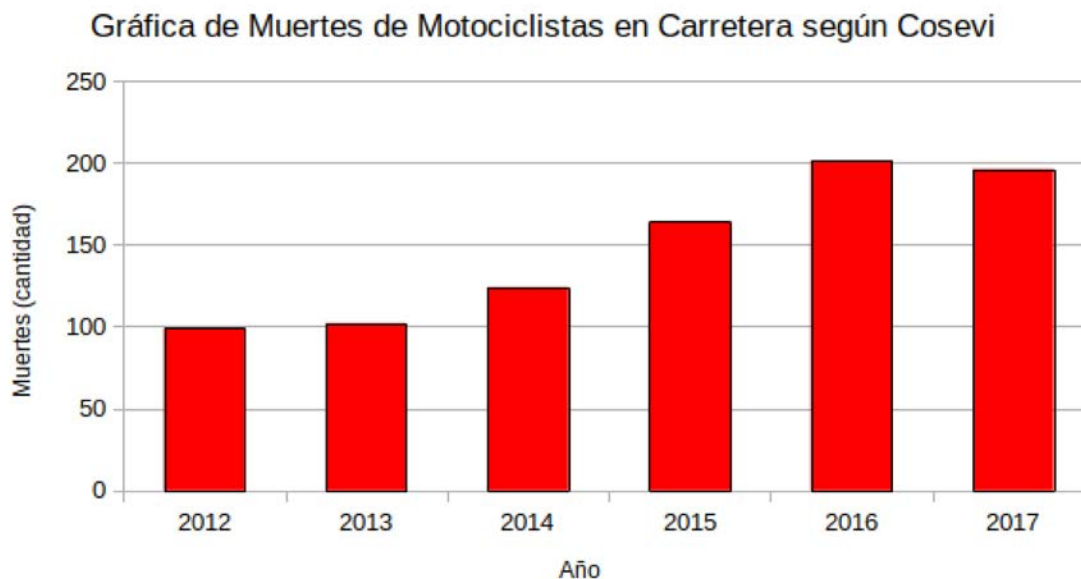


Figura 1.2: Anuario estadístico Cosevi 2012-2017 en gráfico de barra. Fuente: Elaboración Propia

Además, el Cosevi también cuenta con estadísticas provisionales entre los años 2018 y 2019, esto se detalla en la Figura 1.3.

Cuadro 2
Costa Rica: cantidad de muertos en sitio por
año según tipo de usuario, periodo 2018-2019

Tipo de usuario	Año	
	2018	2019 (Octubre)
Motociclista	178	136
Pasajero Moto	24	20
Conductor	98	55
Pasajero Carro	46	26
Ciclista	40	22
Pasajero bus	3	0
Peatón	56	48
Otro	0	1
Total	445	308

Fuente: Cosevi. Área de Investigación y Estadística, elaboración propia con base en registros de la DGPT.

Figura 1.3: Anuario estadístico Cosevi 2018-2019. Fuente: Cosevi, 2019

El punto cumbre de incertidumbre para los motociclistas, es el hecho de que no se toman medidas correctivas en temas de seguridad del usuario, generando un gran temor en este grupo. Ahora analizando la seguridad en carretera de este grupo, se

observa como estos únicamente portan cascos, lo cual ayuda a salvaguardar la integridad física, no obstante no resulta ser suficiente en gran cantidad de ocasiones, por ende las estadísticas de COSEVI no dejan de ser una emergencia. Algunos implementos de seguridad adicionales como las coderas y rodilleras no resultan ser un elemento de gran ayuda en cuanto a disminuir muertes se refiere, por ello se necesita un elemento de mayor protección, porque es la vida de los usuarios la contextualizada. A diferencia de los automóviles, las motocicletas no poseen *airbag*, por lo cual en una colisión el motociclista está totalmente expuesto en lo asociado a la integridad física, su único medio de protección resulta ser el casco.

Con todo lo anterior recopilado, surge así el interés por desarrollar un prototipo que venga a solventar algunas necesidades prioritarias de este nicho, creando así un plan de acción para el desarrollo de un artículo novedoso dentro del mercado de motociclistas, este es el desarrollo de un prototipo de chaleco con bajo costo económico para salvaguardar la salud humana, porque el costo de estos implementos de seguridad es muy alto en el extranjero, principalmente Europa y Asia, sin tomar en consideración los impuestos por importación, lo cual encarece aún más el costo. Por esta razón resultan ser precios incompatibles con el poder adquisitivo del mercado nacional de motociclistas, por ende carecemos de este tipo de producto. Por lo tanto, se propone como alternativa desarrollar un prototipo a un costo económico bajo en el país, siendo aún mejor si se cuenta con apoyo de entes estatales como el COSEVI y el MOPT, porque estos son los entes que le darán el impulso requerido dentro del mercado nacional, siempre con la mirada puesta en disminuir significativamente las víctimas mortales de este grupo y brindar una alternativa de calidad a los motorizados.

Este producto ha sido un éxito en países de primer mundo, porque los chalecos *airbag* de algunas marcas como BMW o Ducatti, han logrado amortiguar el impacto del motociclista hasta en un 82%. (Hit Air, s.f). Con ello se observa como se pueden salvar muchísimas vidas y lesiones graves a los usuarios, por ello es importante el intentar implementar estos dispositivos en nuestro país, ya que no existe, siempre buscando un diseño óptimo en funcionalidad y eficacia, pero con un precio más moderado, adaptado al poder adquisitivo de Costa Rica y los motociclistas de nuestro entorno. Finalmente, es vital el concientizar a los motorizados el porqué deben utilizar dispositivos como el contextualizado, porque este dispositivo ha logrado salvar más de 1 millón de personas, según estadísticas recabadas por entes como BMW, Ducatti o Hit Air, por ende es de vital importancia llevarlo a cabo, además de proponer este tipo de alternativas ante instituciones como COSEVI o el MOPT como medio de difusión y ayuda a los usuarios.

1.4. Antecedentes

Como punto de partida para esta sección, es necesario remontarse al año de 1952. En este año, específicamente en Estados Unidos en donde se crea la primera patente comercial de un *airbag* para automóviles, lo cual resultó ser un éxito rotundo a través de los años, resguardando la integridad de los tripulantes. Con el paso de los años se transformó esto en una necesidad vital para los consumidores, así mismo se convirtió en una regla de seguridad necesaria para los fabricantes de automóviles. No obstante, el desarrollar productos similares para motociclistas nunca se dio de manera comercial, aún con la patente de Tamas Straub en 1976, sino hasta hace un par de años, en el 2006 por medio de la compañía Honda. (Aikyo, Y; Kobayashi, Y; Sato, T, et al. 2015). Lo anterior surgió como resultado de un mercado creciente como el de motociclistas, siempre en busca de la seguridad humana, además de brindarle confianza y seguridad a los motorizados alrededor del orbe, porque no poseían herramientas de seguridad, únicamente el casco.

Resulta necesario para contextualizar este último punto el trasladarse a Asia hace poco más de una década, específicamente a Japón. En el continente asiático es muy común el uso de la motocicleta, como medio de transporte o por uso recreacional, no obstante también tenían una abultada cantidad de incidentes fatídicos con motociclistas, por lo cual en Japón en el 2006 se creó la tecnología Hit Air, o el denominado chaleco *airbag* para motociclistas. El mismo se viralizó mucho en Asia y en Europa, con ello se vio la necesidad de abrir un mercado, por ello ingresan marcas como Ducatti, BMW, entre otras al mercado, con productos novedosos y de alta manufactura. Sin embargo, poseían el mismo problema de los productos elaborados en Japón, estos resultaban ser de muy alto costo económico, por ello no se han introducido con un alto impacto comercial en los mercados globales, Costa Rica tampoco es la excepción, por lo tanto no contamos con modelos así para los motorizados de nuestro país.

Así mismo, al no ser un producto con una alta inmersión en los mercados de primer mundo, nuestro país tampoco se antoja como un mercado atractivo para la importación masiva de estos, debido a su alto costo, por ende la alternativa para este producto es crearlo dentro de nuestro territorio, comercializándolo dentro del mismo. El hecho de no ser un producto existente en nuestro mercado, y al ser uno de la temática de seguridad vial, resulta ser provechoso para la manufacturación de un prototipo funcional, esta resulta ser la esencia y utilidad del proyecto propuesto. El analizar cifras de muertes y heridos con motociclistas en Costa Rica según estadísticas del COSEVI, es realmente preocupante, por lo tanto el tomar medidas en el caso es requerido. Es por ello, que el implementar un prototipo funcional de este chaleco resulta beneficioso para el país, siempre en busca de la seguridad humana.

En el mercado latinoamericano casi no hay productos de esta índole, únicamente en Colombia hay un fabricante de este tipo de productos, así mismo muy pequeños distribuidores en algunos países desarrollados de la región como México y Brasil, por ello surge la intriga de buscar desarrollar un producto con las especificaciones dadas en secciones anteriores, poniendo como primera meta el mercado nacional, después la incursión en el mercado centroamericano y finalmente el latinoamericano. (Hit Air, s.f).

Mediante la línea comentada en el punto anterior, se contextualiza la situación actual del producto, por ello surge una intriga cada vez mayor para desarrollar el producto y el tratar de implementarlo en dos o tres años ya a nivel comercial, buscando en un futuro apoyo económico, siempre poniendo como meta el aval de entes como el COSEVI y el MOPT. El clamor de los motociclistas en busca de ayuda en temas de seguridad puede ser atendido de manera correcta al incentivar este tipo de dispositivos, por ello es vital otorgar apoyo a este proyecto.

1.5. Desarrollo del proyecto

El proyecto se desarrollara en tres fases, de manera que se pueda ir trabajando hasta alcanzar los objetivos planteados en la sección 1.2. Cada fase consiste de una seria de tareas.

1.5.1. Investigación

La primera fase del proyecto es investigativa. Se busca entender el funcionamiento y el propósito de los chalecos *airbag* para lograr tener un conocimiento de los elementos necesarios a tomar en cuenta.

- Se hará una investigación profunda en cuanto a la oferta de implementos de seguridad para motociclistas en Costa Rica
- Se debe investigar cuál debe ser el diseño y proceso de manufactura de dicho dispositivo de seguridad
- Se recopilará información de como llevar a cabo la prueba local de choque, esto con el fin de garantizar el funcionamiento óptimo del chaleco *airbag*
- Se debe conseguir información para analizar el tema de los acelerómetros y el accionar de los cartuchos de CO₂

1.5.2. Diseño Mecánico

La segunda fase corresponde a la parte de diseño en esta fase se propondrán diferentes diseños de chalecos y se realizarán modelos computarizados en 3D. Dentro de esta fase también está la realización y análisis de las pruebas simuladas de funcionamiento del chaleco.

- Con base en lo obtenido en la fase de investigación, se debe elaborar un diseño computacional del chaleco *airbag*, específicamente con el software de SolidWorks®
- A partir del diseño creado en CAD, es requerida una simulación de choque, para verificar el diseño. Esta simulación se lleva a cabo mediante software de simulación especializado.
- Partiendo del hecho de contar con una prueba experimental computacional exitosa, se procederá a la compra de todos los materiales e insumos requeridos para manufacturar el prototipo de chaleco *airbag*
- Se procede con la creación de un prototipo del chaleco *airbag*

1.5.3. Diseño Experimental y Documentación

La tercer fase del desarrollo consiste en analizar y documentar los resultados de las fases 1 y 2. Se estudiara la eficiencia y funcionalidad del chaleco y también su rentabilidad.

- Se definirá la metodología adecuada para poder realizar la prueba de choque local, la cual debe contemplar diferentes impactos y colisiones
- Se debe realizar una prueba de choque local, la cual dictaminará la eficacia del prototipo del chaleco *airbag* ante una colisión
- Se analizan los resultados de la prueba de choque local, analizando la funcionalidad del prototipo
- Se lleva a cabo el estudio económico y de rentabilidad financiera

1.6. Alcance y Limitaciones

Como primer punto, se debe mencionar el hecho que este proyecto busca un ciclo completo de diseño (concepto, investigación y desarrollo, prototipado y documentación), esto es porque la meta final del proyecto es el poder crear un prototipo de chaleco *airbag* y buscar alguna posibilidad comercial mediante la agencia de emprendimiento universitaria AUGE. El concepto está listo, actualmente el proyecto se encuentra en fase de investigación y desarrollo, donde se recaba información de insumos e implementos. La gran limitante es la prueba de campo para garantizar que el chaleco es funcional, porque no se cuenta con el presupuesto para llevar a cabo un crash test ante un ente oficial como Latin NCAP, por lo cual se debería aplicar una prueba computacional como medio para la comprobación experimental. Al realizar una prueba computacional exitosa, se puede comprobar su funcionalidad, a posteriori encontrar un apoyo económico y poder desarrollarlos, siempre en colaboración con entes como MOPT o COSEVI.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Dinámica de los Fluidos

Como punto de partida, se debe dar contexto al concepto de fluido. Este se puede connotar como una sustancia con una atracción molecular muy pequeña, por lo tanto no cuenta con una forma definida, gracias a esto se adapta a la forma del recipiente que lo contiene. Así mismo, es importante mencionar la clasificación de los fluidos. (Cengel; Cimbala, 2006)

- Líquidos

En el caso de los líquidos, estos son poco compresibles, en contraparte, los gases son altamente compresible. Un punto sobre el cual se hará énfasis en esta investigación es el de los gases, porque en esta ocasión particular, no se labora con ningún tipo de líquidos, por lo tanto es vital dar una connotación al vocablo de gases.

- Gases

Los gases son un fluido, como acontece con los líquidos, no obstante, posee una atracción molecular sumamente escasa, con choques abruptos de velocidad entre moléculas en todas direcciones y estados de vibración continuos. Por ende, cuentan con poca resistencia al cambio de forma y volumen, así mismo como se contextualizó en el punto anterior, los gases son altamente compresibles, lo cual es muy estudiado en la temática de termodinámica. Es importante mencionar como los gases a una presión y temperatura determinada cuentan con un volumen determinado, no obstante, cuando este se libera se expande hasta alcanzar el volumen completo del recipiente que lo contiene, sin embargo, no posee una superficie libre. (Cengel; Cimbala, 2006)

La elaboración del prototipo de chaleco *airbag* posee un cartucho de CO_2 , el cual posee dicho gas en su interior. Al momento de presentarse una colisión, el cartucho libera completamente el gas del cartucho en milisegundos por medio de una válvula, por ende

este gas se transfiere al interior del chaleco *airbag* y logra el cometido de salvaguardar la integridad del ocupante, porque envuelve al motociclista en una protección de gas que soporta la colisión. Con todo lo mencionado en el punto anterior, se vio oportuno el abordaje inicial de esta sección mediante una explicación adecuada del concepto de fluido y gas, y una explicación breve de por qué se toma en consideración este tema.

2.2. Chalecos *Airbags*

2.2.1. Historia

El concepto *airbag* nace a partir de un invento que servía como un dispositivo de seguridad, el cual resulta ser implementado en la actualidad de manera obligatoria en los automóviles. Dicha invención empleaba gas comprimido para llenar una bolsa y así salvaguardar la vida del ocupante, de ahí su nombre particular. La primera patente presentada para esta clase de dispositivo data de 1951. Esta patente corresponde al inventor estadounidense John W. Hetrick, la cual corresponde a la número US2649311A, denotando al invento como “safety cushion assembly for automotive vehicles” o cojín de seguridad para vehículos automotores por su traducción al español. Este implemento se componía de un tanque debajo del capó del vehículo (junto al motor) para aire comprimido y bolsas inflables para los pasajeros delanteros situadas en el volante, la guantera y el centro del tablero. El sistema accionador consistía en un peso con resorte que detectaba una desaceleración rápida, esto abría una válvula en el tanque de aire comprimido y el aire comprimido inflaba la bolsa. Este método de accionamiento era el gran inconveniente de este invento, porque se consideraba que no era lo suficientemente rápido ni preciso. (EE.UU, Patente No 2649311^a, 1951)

Hacia finales de los años 50 e inicios de los 60, la mayoría de los grandes fabricantes de carros (General Motors, Ford, Mercedes, etc) se encontraban realizando pruebas en sus propios diseños de *airbags*. A través de los años de estas décadas, varios inventores de Estados Unidos se mantuvieron investigando maneras de hacer dispositivos de esta índole más confiables, con el objetivo de darle más garantías en temas de seguridad a sus usuarios. Entre las principales mejoras llevadas a cabo a los *airbags*, se encuentra la de 1967 hecha por el inventor Allen Breed, el cual ideó un *airbag* que cuando la persona golpeará contra este, dejará salir un poco de aire para atenuar el impacto. También en 1968 se inventó el *airbag* que se infla a partir de una reacción química, no de aire comprimido.

En el año 1971, los *airbags* convencionales se comenzaron a incluir en todos los vehículos Ford haciendo su uso mucho más grande en la industria automotriz (siendo Ford uno de los más grandes constructores de vehículos). Se montó un sensor en el automóvil, el cual en una situación de choque se activaría en 40 milisegundos, enviando una señal al detonador que libera nitrógeno (presurizado a 17,24 MPa o 2500 psi) en bolsas de aire de nylon tejido recubierto de uretano. (Courant, 1943).

Para el año 1976 se tiene por primera vez una patente para un dispositivo de seguridad para motociclistas, el cual emplea el mismo sistema de los *airbags* para vehículos

tradicionales. La patente fue otorgada a Thomas Straub, inventor húngaro. El mismo proponía un mecanismo de seguridad basado en un cordel que une la chaqueta a la motocicleta, cuando este cordel se jala (en caso de accidente) se abre una válvula, la cual libera el gas de un cartucho con gas comprimido e infla el *airbag*. Aunque la *jacket-airbag* utiliza el mismo sistema que los sistemas modernos, no se comercializó con éxito en esa época, expirando la patente comercial 20 años después. No fue hasta inicios del siglo 21, años 2000 en adelante que surgió la comercialización de esta clase de dispositivos. En estos años las grandes compañías de motocicletas (Ducati, Honda y BMW) se interesaron en desarrollar estos dispositivos de seguridad dando paso a la comercialización de estos. En esta época surgieron los primeros modelos que aún continúan siendo los grandes referentes en cuanto a dispositivos *airbag* para motociclistas: Dainese, Hit-air, Helite y Alpinestar son de las principales, aunque existen muchas más marcas registradas para la elaboración de estos implementos de seguridad vial. (Hit Air, s.f)

Se muestra en la Figura 2.1 una imagen con una línea temporal del contexto histórico de este dispositivo;

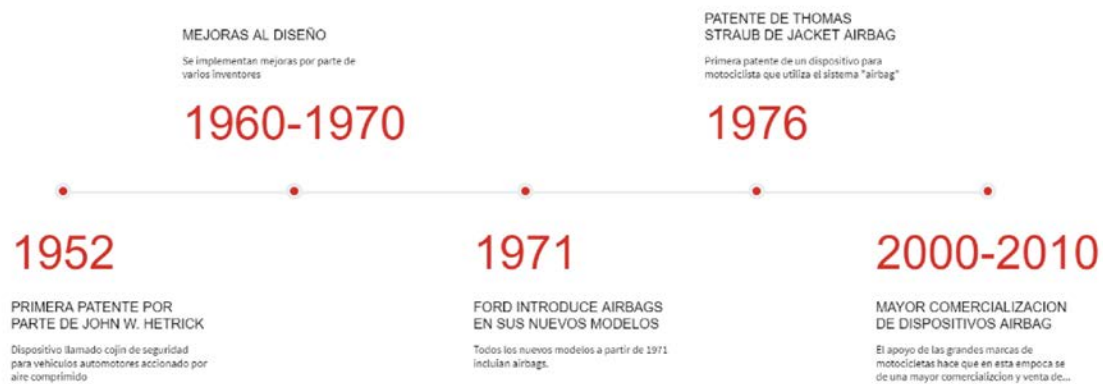


Figura 2.1: Cronología del desarrollo del *airbag* convencional y el chaleco *airbag*. Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Actuales

En la actualidad se tienen varias compañías que comercializan a gran escala dispositivos de chalecos *airbag* para motociclistas, como las citadas en el punto anterior, donde se destaca Dainese, Hit Air, Helite, entre otras. Quizás la mas importante y grande se trata de la compañía japonesa Hit-Air, una de las grandes pioneras en la comercialización de este producto. Esta compañía de origen japonés, ha sido una de las que más ha comercializado chalecos *airbag*, con mejoras paulatinas en sus diseños, siempre poniendo como meta la seguridad del usuario. Distintos modelos, desde unos muy sencillos que son únicamente chalecos, hasta diseños más complejos de chaquetas para

motociclistas con el sistema *airbag* integrado, esta compañía ofrece distintos modelos a los consumidores.

Los productos de Hit-Air, por ejemplo el que se muestra en la figura 2.2, están en su mayoría contruidos por una tela de poliéster 600D. Esto es porque tiene un alto nivel de resistencia al desgaste, y en caso de accidente y deslizamiento, el chaleco *airbag* no se va a ver comprometido por desgaste con la carretera y por ende soportará el impacto, incluso puede ser reutilizado si se cambia el cartucho de CO₂. Incorporado con el poliéster se encuentra una tela LUMINEX (marca registrada de Hit-Air) que le proporciona detalles reflectivos a la tela, esto es vital en temas de seguridad del motociclista, específicamente cuando este circula de noche. Finalmente, todos sus productos contienen un tanque de CO₂ de 60 cm³. Esto lo justifica la compañía mediante el portador, el cual es una persona, por ende no pueden utilizar mecanismos de activación por medio de reacción química, como acontece con los *airbag* de los automóviles. (Hit Air, s.f)



Figura 2.2: Chaleco *airbag* producido por Hit Air. (Hit Air, s.f)

Otra compañía importante a nivel de producción y venta de chalecos *airbag* es la compañía francesa Helite. Al igual que Hit-Air, esta compañía posee una muy amplia oferta de productos, estos abarcan desde los modelos sencillos y económicos de chalecos, hasta diseños más complejas como chaquetas con el sistema de *airbag* integrado, el cual también otorga protección en las extremidades superiores. Como acontece con los chalecos Hit-air, la marca Helite utiliza poliéster 600D para fabricar sus chalecos y de esta manera evita cualquier daño por desgaste, inclusive pueden ser reutilizados sus chalecos si se cambian sus cartuchos de CO₂. Ambas compañías se basan en un sistema de accionamiento 100% mecánico (con un hilo que cuando se jala abre la válvula y

libera el gas). (Helite, s.f)

Dentro del mismo contexto, se sitúan otras dos compañías, las cuales también producen chalecos *airbag*, estas corresponden a Dainese y Alpinestar. Contrario a los productos de Hit-Air y Helite, estos productos están diseñados más para uso en altas velocidades (velocidades de carreras y competencias) y en menor medida para el uso convencional de motociclistas. Con precios muy superiores a los productos de Hit-Air o Helite, estas compañías apuestan por la alta tecnología y el diseño novedoso. Todos los productos de estas compañías son accionados por medio de sistema electrónicos, los cuales por medio de sensores saben cuándo un motociclista sufre un accidente. Ambas compañías ofrecen sus productos hechos en cuero, contrario al poliéster, brindando así un acabado más llamativo para los usuarios en el tema estético. El cuero es también altamente resistente a la abrasión, pero es mucho más costoso en comparación al poliéster. También incluyen una protección extra en áreas como los codos por medio de placas delgadas de aluminio. (Dainese, s.f) (Alpinestar, s.f).

En el Cuadro 2.1 se presenta una comparación con cuatro de las principales marcas y sus diferentes características.

Cuadro 2.1: Comparación de especificaciones de los diferentes modelos de chalecos *airbag* actuales. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de las paginas oficiales de la compañía.

	Hit-Air	Helite	Alpinestar	Dainese
Tela	poliéster	poliéster	cuero	cuero
Sistema de accionamiento	cordel	cordel	automático	automático
Método de inflado	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂

2.3. Instrumentación

Un área temática fundamental para comprender este tipo de temática corresponde a la electrónica digital y analógica. La electrónica digital está basada en el uso de valores discretos, es decir, únicamente utiliza dos valores de un intervalo, uno bajo y uno alto, representados por un valor de 1 como alto y 0 como bajo. Usualmente se representan mediante dos bits (asociados a la memoria), un cero y un uno, comúnmente denotado como el código binario. En contra parte, la electrónica analógica toma un conjunto de valores continuos, es decir, puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo de valores. Lo anterior lo podemos ejemplificar de la siguiente manera; tomemos un intervalo de $[0,1]$. La electrónica digital únicamente tomaría el 0 o el 1, en contra parte la electrónica analógica permite tomar cualquier valor decimal entre 0 y 1. (Floyd, 2006). En este proyecto las principales variables a tomar en consideración (aceleración y vibración) son de tipo analógicas, porque pueden tomar cualquier valor decimal entre los intervalos.

Un punto fundamental para poder llevar a cabo este proyecto es el contar con instrumentos de medida para cuantificar distintas variables analógicas, esto con el objetivo de tener valores de entrada y poder regular las operaciones de manera automática en el dispositivo de seguridad, siempre en busca de salvaguardar la integridad del motociclista. Mediante un sistema de procesamiento se deberán controlar por medio de operaciones lógicas y aritméticas los datos de entrada y salida del sistema, para manipular de manera adecuada las variables de salida y tener un sistema funcional. Los datos a tomar en consideración como variables de entrada corresponde a la aceleración y la vibración (se miden con un acelerómetro). Además, se debe tener en consideración elementos y herramientas para el sistema de procesamiento, basado en el tipo de plataforma de programación, así como el precio y la memoria RAM. (Zandin, 2001).

2.3.1. Control de Variables de Proceso

En un cualquier proceso de control mediante sistemas de procesamiento, se requiere de variables de entrada y salida, como temática principal es mantener estas variables dentro de los valores deseables del sistemas descritas por el usuario, esto se hace mediante sistemas de control automático. En este tipo de sistemas, se compara el valor discreto de entrada de la variable con el valor final de dicha variable, mediante esta comparativa directa el sistema de procesamiento establece si es necesario o no el activar el actuador o en su defecto tomar una decisión condicional para solventar el programa para el que fue programado. En el sistema descrito anteriormente, se puede contar con múltiples sensores, los cuales se encargarán de cuantificar los valores discretos de las variables, y mediante el envío de señales al sistema de procesamiento, esto se ajustará de manera automática para controlar el sistema. (Zandin, 2001). Esto es en grandes rasgos un sistema de control automático. En la figura 2.3 se detalla lo anterior por medio de una imagen;

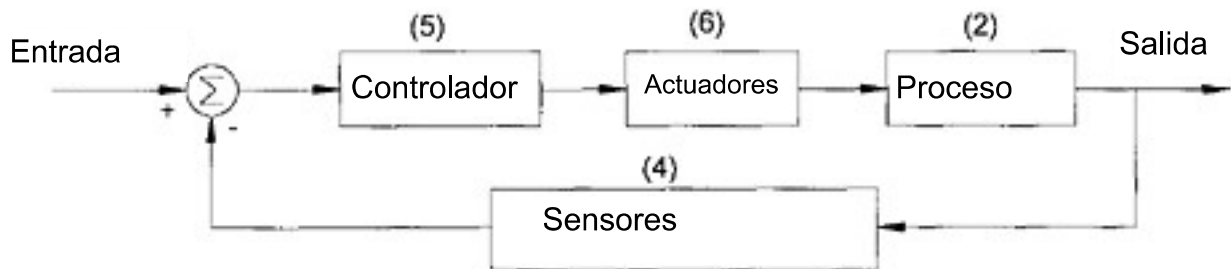


Figura 2.3: Sistema de control automático. Fuente: Zandin, 2001.

Así mismo, se establecen dos tipos de sistema de control automático, los cuales se proceden a describir en seguida;

- Sistema de lazo cerrado: este tipo de lazo es un sistema de control automático es el más cercano a uno industrial descrito en el punto anterior. En este lazo, la variable manipulada compara de manera cuantitativa su valor inicial con el

final, con esta diferencia se encarga de hacer una retroalimentación del sistema y ajustándose a los valores definidos por el usuario. (Ogata, 2010).

- Sistema de lazo abierto: en este tipo de lazo la variable de salida no tiene injerencia sobre el sistema de control, porque dicha variable no ejerce una comparativa directa y cuantitativa en su valor final con respecto a su valor inicial. Por lo tanto, no existe un sistema de retroalimentación por medio de un control automático, sino que, el sistema se retro alimenta por acciones externas y no por comparativas entre el valor inicial y final de una variable. (Ogata, 2010).

Cabe mencionar en primera instancia como nuestro sistema es uno de lazo cerrado o realimentado, es decir contamos con un sistema en el cual se manipularán ciertas variables para poder controlar el accionamiento de la válvula, en este caso particular manipulamos la aceleración para controlar el momento en el que se acciona la válvula y se libera el cartucho de , con lo cual se salva la integridad del motociclista. Como punto adicional debemos acotar como este conjunto de elementos van a ser tomados en base a un sistema de control automático, dentro del cual se contará con un controlador PID, un actuador y planta para realimentar la salida. (Ogata, 2010). En esta ocasión específica, el controlador PID se hará mediante el uso de una herramienta de procesamiento, el actuador será una electroválvula y el sistema de procesamiento se encargará de realizar las retroalimentaciones al sistema. Finalmente, se debe mencionar que el sistema de control automático para el chaleco *airbag* ocupa una fuente de poder para alimentar todos los componentes electrónicos del mismo, por lo cual se hará uso de una batería como fuente de diferencial de potencial eléctrico.

2.3.2. Instrumentos de Medida

Estos corresponden a implementos físicos con la capacidad de medir y cuantificar el valor de una variable física de cualquier tipo. En esta ocasión, se hace uso de un sensor de aceleración denominado acelerómetro, el cual puede medir aceleración y vibraciones. (Zandin, 2001). Así mismo, al ser un sensor este envía señales digitales al microcontrolador, el cual se encargará de realizar un sistema de control automático, verificando que las condiciones establecidas por el usuario sean las correctas. En caso de presentarse un choque, el cambio abrupto en la medición de aceleración y vibración, hará que el microcontrolador haga una decisión condicionada, lo cual activaría el actuador (en esta ocasión la electroválvula) y liberaría completamente el cartucho de CO₂. En este proyecto la variable física trascendental es la aceleración y la cantidad de vibraciones, variables físicas que pueden ser cuantificadas por el mismo sensor, el cual corresponde a un acelerómetro.

Acelerómetro

Este dispositivo tiene dos funciones importantes, el cuantificar la variable de aceleración en un sistema, o también cuantificar el valor de las vibraciones del sistema, esto mediante sensores hechos con base en materiales piezoeléctricos. Los materiales piezoeléctricos transforman un movimiento mecánico u ondulatorio en una señal eléctrica. Esto es de gran utilidad porque puede detectar de manera analógica cualquier cambio abrupto en las vibraciones o aceleración del sistema y transformar esto en una señal eléctrica digital, la cual será recibida por un sistema de procesamiento, el cual se encargará de llevar a cabo un proceso de control automático definido por el usuario. Los nuevos modelos de acelerómetros son construidos a partir de silicio, el cual es un gran material piezoeléctrico y con un costo bajo, creando así un sensor fácil de adquirir para la población científica y estudiantil. (Paez; Piersol, 2010)

El sensor antes descrito funciona mediante un principio físico denominado transductor, el cual toma una cantidad física de una variable y lo transforma en una equivalencia física de otra variable. En este caso, se encarga de tomar mediciones de impacto sobre el silicio, una variable mecánica y lo transforma en una equivalencia eléctrica, creando de esta manera una señal digital que se puede enviar a través de un circuito eléctrico cerrado. Los acelerómetros piezoeléctricos pueden ser de 3 tipos que se muestran gráficamente en la Figura 2.4. (Paez; Piersol, 2010)

- De tipo cortante delta
- De tipo isocortante
- De tipo cortante nulo

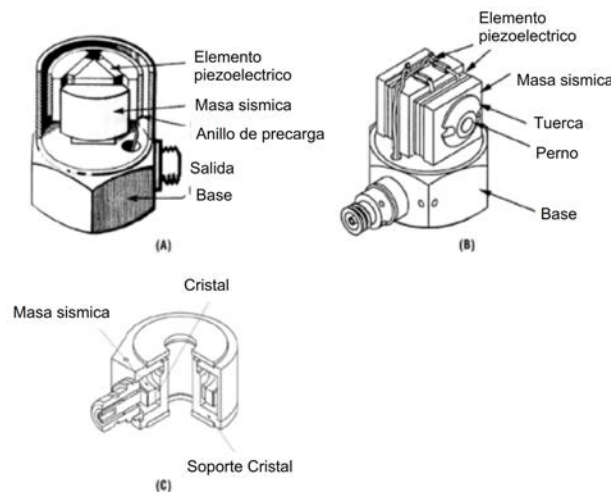


Figura 2.4: Tipos de acelerómetros; (a) de tipo cortante delta (b) de tipo isocortante (c) de tipo cortante nulo. Fuente: Paez; Piersol, 2010

2.3.3. Actuadores

En segmentos anteriores se definió el término sistema de control automático. Dentro de ese contexto, se involucraba un paso en el sistema, el cual correspondía al del actuador. Este vocablo se puede connotar como un dispositivo que toma energía mecánica, eléctrica, hidráulica o neumática y la aplica sobre un proceso automatizado, con el objetivo de garantizar la seguridad operacional del sistema de control automático. Este dispositivo tiene como objetivo restablecer los valores de las variables definidas por el usuario, o en caso de ocupar realizar una decisión condicionada, tomar las medidas necesarias para llevarlo a cabo de manera correcta. En esta ocasión se cuenta como actuador a una válvula solenoide, la cual se encargará de liberar completamente el paso del fluido, en este proyecto es un cartucho cargado con CO₂. Así mismo, existen gran cantidad de actuadores, no obstante en este caso se hará énfasis en los actuadores electromagnéticos, porque esta válvula solenoide corresponde a un actuador electromagnético, ya que mediante el envío de una señal digital del sistema de procesamiento, toma energía neumática del cartucho de CO₂ y la imprime en energía mecánica dentro del chaleco *airbag*. (Skousen, 2011)

Electroválvulas

En primera instancia se procede a contextualizar el concepto de válvula. Una válvula se define como un dispositivo mecánico diseñado con el objetivo de detener, retener, mezclar o regular el flujo de un fluido (ya sea gas o líquido), o también realizar los procesos anteriores pero con la presión o temperatura. Todo esto en función del paso de un fluido a través de este implemento mecánico. Las dimensiones, clases o usos de estos implementos son muy variados, aunque siempre son hechas con una función y tamaño específico. (Skousen, 2011). Así mismo, se puede mencionar el hecho que estos implementos pueden ser accionados de manera manual, o también mediante sistemas electrónicos, esto mediante el uso de un relay en la válvula. Una válvula es un actuador dentro de un sistema de control automático, porque puede controlar o obstruir el paso de fluidos a través de un circuito cerrado, con ello introducir energía externa al sistema para controlarlo y restablecerlo al punto ideal de operación, o también en caso de una decisión condicionada, ajustarse a los nuevos requerimientos. (Skousen, 2011)

Las válvulas tienen distintas categorías para clasificarse, ya sea con base en su servicio, su uso, función o grado de libertad. No obstante, una de las principales es la de función, y con base en esta se proceder a clasificar las válvulas. (Skousen, 2011).

- Válvulas de paso libre o cerrado
- Válvulas de antiretorno
- Válvulas reguladoras o de control

Como se mencionó en el punto anterior, existen válvulas de operación manual y electrónica, no obstante en este proyecto se hace énfasis en las electrónicas, porque se requiere de una de esta índole en el proyecto. En el punto anterior se habló acerca del

relay de la válvula electrónica, esto porque es gracias a este dispositivo que se abre el flujo del gas. Un relay es un interruptor electromagnético, esto porque este posee una bobina, la cual con un diferencial de potencial activa el interruptor y permite el paso del fluido a través del sistema, esto lo convierte en un actuador electromagnético. En esta ocasión, cuando haya una señal de cambio abrupto y repentino en la aceleración y vibración del motociclista (clara señal que está propenso a un inminente accidente), el acelerómetro mandará una señal digital al microprocesador, el cual enviará una señal digital al relay de la válvula electrónica. Esta señal se hará en forma de una diferencia de potencial, el cual activará de manera automática el relay y se liberará todo el cartucho de CO₂. (Skousen, 2011)

Este tipo de válvulas entran en la categoría de válvulas de encendido y apagado, o también conocidas como de paso libre o cerrado. En esta categoría hay muchos tipos de válvulas, entre las que se destacan; bola, compuerta, de alivio y mariposa. Este tipo de válvula electrónica de obstrucción y apertura del fluido es muy similar a una válvula electrónica de alivio, siguen los mismos principios, la única diferencia radica en que la válvula para el chaleco *airbag* para motociclistas es de gas, no es de líquido. El nombre de esta válvula es válvula solenoide. En la Figura 2.5 se muestra una válvula de esta índole montada sobre un cartucho de CO₂. (Skousen, 2011)



Figura 2.5: Válvula solenoide. Fuente: ebay, s.f

2.3.4. Sistemas de Procesamiento

El siguiente punto es el describir una de las principales herramientas del chaleco *airbag*, una sobre la cual se simplifica el circuito y logramos procesar la información de manera continua para activar la válvula cuando hay un choque. Este elemento utiliza la electrónica digital y analógica, no obstante para este proyecto se dará mucho más énfasis en la parte digital. Este dispositivo electrónico, es el encargado de procesar, almacenar y transmitir los datos y señales pertinentes a través todo el circuito mediante un sistema lógico programado. Dicho dispositivo es el un sistema de procesamiento, no obstante surge una interrogante. ¿Qué es un sistema de procesamiento y existe más de uno?. En este proyecto se hará énfasis en 3; Arduino, NI myRio y Stm F432.

Un sistema de procesamiento se connota como un microcontrolador, el cual corresponde a un circuito eléctrico cerrado programable, el cual posee 3 unidades fundamentales para su operación; CPU, memoria, unidad de entrada y salida de datos. Este sistema ocupa unos sistemas de control (CPU), el cual procesa los datos de entrada mediante operaciones aritméticas y lógicas, y los almacena de manera permanente en la memoria como un registro de almacenamiento. Finalmente, los manipula y procesa adecuadamente para entregar los datos de salida. En esta ocasión en particular, el sistema de procesamiento leerá los datos de presión y aceleración de manera continua, los cuales según su valor dispondrán valores de salida que activarán o no la válvula para la apertura y la liberación del tanque de CO₂. Así mismo, se tomarán en contexto 3 sistemas de procesamiento ideales para esta aplicación, estos son los de Arduino, NI myRIO y Stm F432. (Chin, 2018). En la Figura 2.6 se procede a mostrar un esquema general del funcionamiento de un microcontrolador.

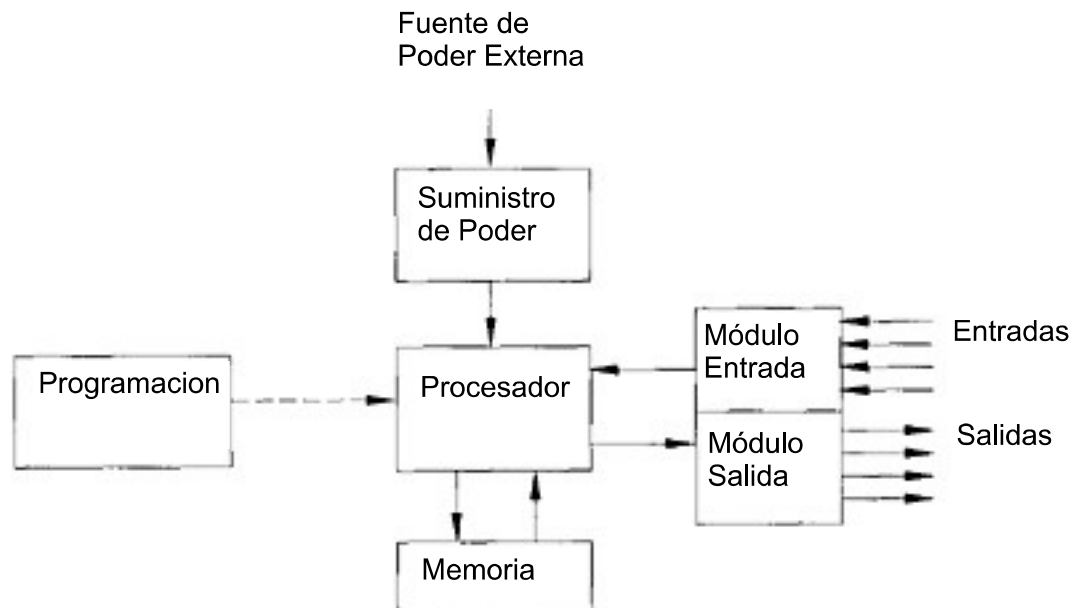


Figura 2.6: Esquema general del funcionamiento de un microcontrolador. Fuente: Zandín, 2001

Arduino

Arduino es un microcontrolador de software libre, este físicamente corresponde a una placa rígida, además es vital contextualizar el hecho de estar programado sobre C y C++, implementado con el objetivo de procesar, almacenar y transmitir datos y señales, tanto digitales como analógicas, por medio de un control interno, el cual está basado en una unidad de control de procesamiento (CPU). Cabe mencionar lo siguiente, Arduino al ser un microcontrolador, este posee 4 principios básicos de funcionamiento; Procesar, almacenar, transmitir datos, todo esto se lleva a cabo de manera estructurada por medio un CPU o unidad de control de procesamiento. Este microcontrolador vale resaltar que cuenta con su propio lenguaje de programación, además de ser un IDE de gran calidad. (Chin, 2018). La Figura 2.7 muestra un controlador Arduino Uno, un ejemplo de este tipo de microcontroladores.

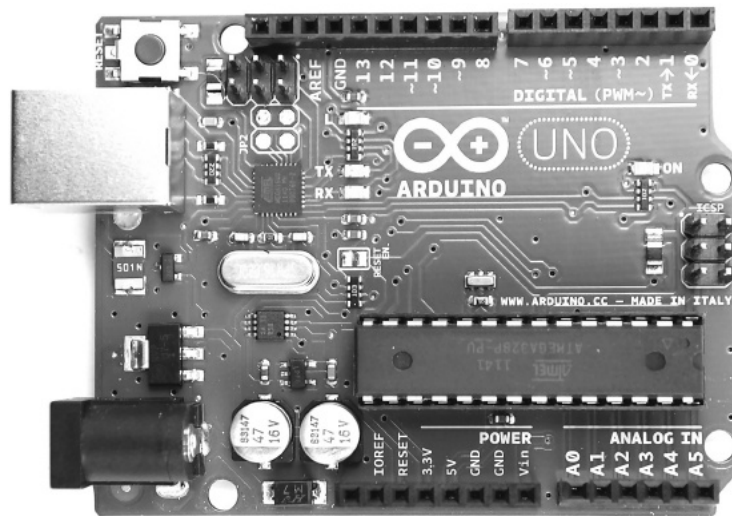


Figura 2.7: Representación de un un controlador Arduino. Fuente: Chin, 2018.

A este microcontrolador se le pueden adaptar múltiples sensores de diferentes aplicaciones, así como implementos que detectan múltiples tareas y logran activarse dependiendo de la aplicación. El más importante de todos es el acelerómetro, sobre el cual se pondrá un interés muy especial, porque es un implemento importante dentro del chaleco *airbag* porque mide aceleración y vibraciones. (Chin, 2018).

NI myRio

NI myRio es un microcontrolador basado en la plataforma de programación en bloques de LabVIEW, creado por la compañía National Instruments®. Este dispositivo electrónico físicamente corresponde a una placa con un núcleo interno. Suele ser muy usado dentro del contexto académico, implementado con el objetivo de procesar, almacenar y transmitir datos y señales, tanto digitales como analógicas, por medio de un control interno, el cual está basado en una unidad de control de procesamiento (CPU). Este microcontrolador es el más sencillo de programar gracias a la interfaz gráfica del

IDE, en este caso particular LabView, siendo así uno de los más caros. Así mismo, posee una gran capacidad su núcleo integrado y gran memoria, aunque el consumo de recursos es mayor en comparación a otros dispositivos de la misma clase. (NI, s.f). Finalmente es importante mencionar el hecho de que National Instruments cuenta con un convenio comercial con la Universidad de Costa Rica, por lo tanto el adquirir e implementar este sistema de procesamiento no resulta tan costoso, gracias a dicho convenio. En la Figura 2.8 se muestra un microcontrolador myRio como el que se describe.

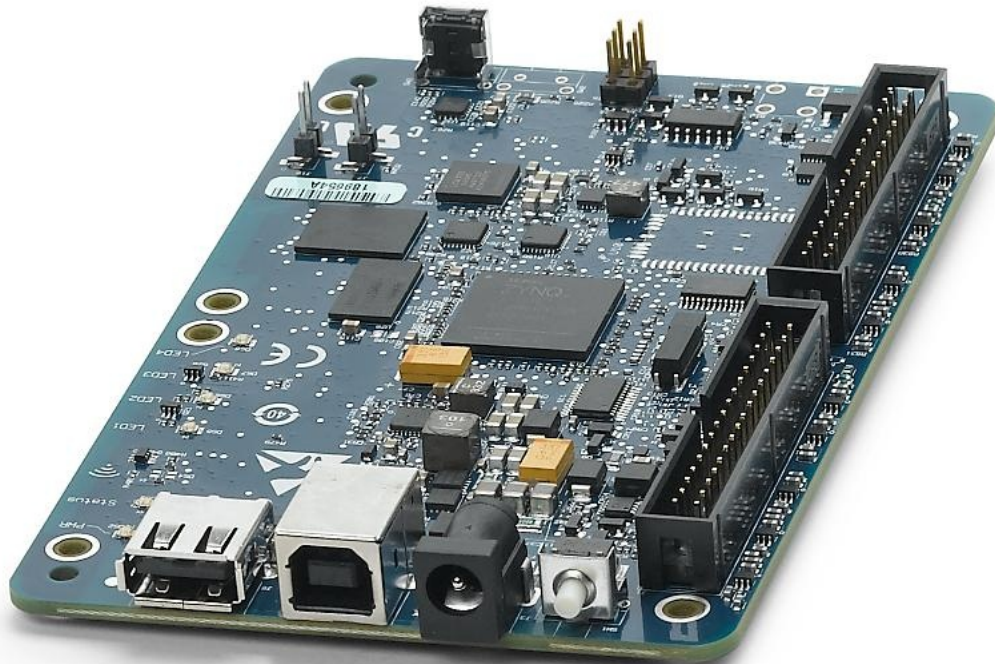


Figura 2.8: Representación de un controlador myRio. Fuente: NI, s.f.

A este microcontrolador se le pueden adaptar múltiples sensores de diferentes aplicaciones, así como implementos que detectan múltiples tareas y logran activarse dependiendo de la aplicación. El más importante de todos es el acelerómetro, sobre el cual se pondrá un interés muy especial, porque es un implemento importante dentro del chaleco *airbag*, porque mide aceleración y vibraciones. (Chin, 2018).

Stm F432

Stm es un microcontrolador de software libre, este físicamente corresponde a una placa con un núcleo interno, así mismo resulta vital contextualizar el hecho de estar programado sobre C y C++, implementado con el objetivo de procesar, almacenar y transmitir datos y señales, tanto digitales como analógicas, por medio de un control interno, el cual está basado en una unidad de control de procesamiento (CPU) de 32 bits. Al igual que acontece con Arduino, este microcontrolador está escrito sobre C y C++, no obstante no posee un IDE ni su propio lenguaje de programación, este dispositivo es programado directamente desde la plataforma de C y C++. Posee la capacidad de hacer conversiones analógicas a digitales, así como modular los pulsos de las distintas señales. Finalmente, este microprocesador posee una gran cantidad de memoria y un núcleo integrado de gran capacidad, consumiendo menos recursos físicos porque su procesador está basado en la plataforma C, por lo tanto es uno de menor costo y con mejores condiciones, no obstante su gran inconveniente es el hecho de que debe ser programado desde la plataforma C, por lo cual no todos los usuarios pueden programarlo y por ende no es tan comercial como otros microprocesadores. (Norris, 2018) En la Figura 2.9 se muestra un controlador Stem F432.

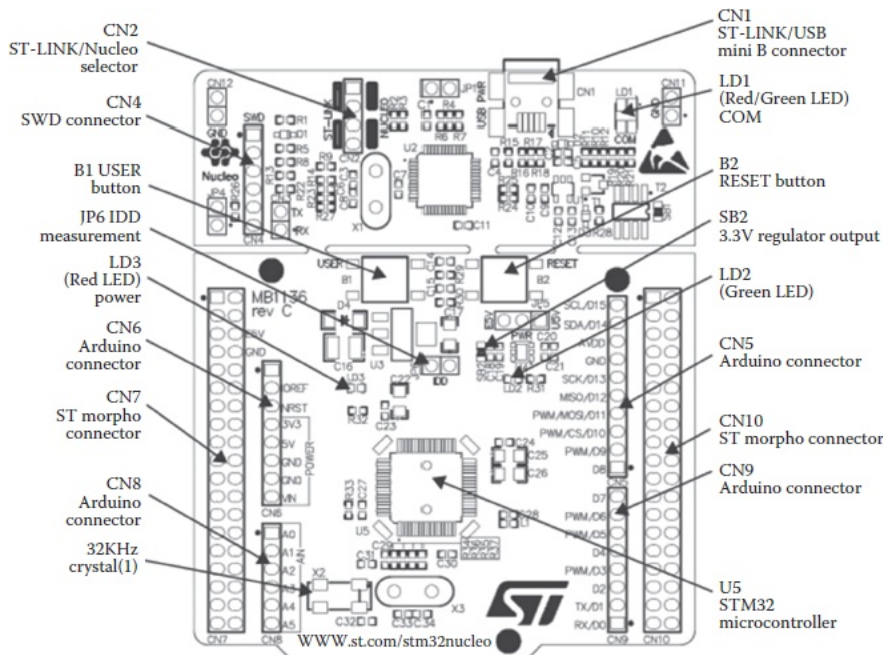


Figura 2.9: Representación de un un controlador Stm F432. Fuente: Norris, 2018.

A este microcontrolador se le pueden adaptar múltiples sensores de diferentes aplicaciones, así como implementos que detectan múltiples tareas y logran activarse dependiendo de la aplicación. El más importante de todos es el acelerómetro, sobre el cual se pondrá un interés muy especial, porque es un implemento importante dentro del chaleco *airbag*, porque mide aceleración y vibraciones. (Chin, 2018).

2.3.5. Comparativa entre los sistemas de procesamiento

En el punto anterior se detallaron algunos aspectos generales acerca de las alternativas posibles para el sistema de procesamiento, en donde se hacía énfasis en su capacidades y ventajas. El siguiente punto es realizar una comparación cuantitativa mediante algunos parámetros importantes, como el monto económico, la memoria, el lenguaje de programación y la velocidad del reloj. En el Cuadro 2.2 se procede a realizar una tabla comparativa con todas las características de los sistemas de procesamiento.

Cuadro 2.2: Tabla comparativa entre los sistemas de procesamiento. Fuente: Elaboración propia

Comparación entre los sistemas de procesamiento			
Variable	Arduino	NI myRio	Stm F432
Precio (CRC)	9500	86000	6200
SRAM (kB)	2	32	16
Lenguaje	IDE propio	Labview	C/C++
Velocidad del Reloj (MHz)	16	533	72
Voltaje de entrada DC (V)	7-12	6-16	7-12

2.4. Diseño de Experimentos

En la industria al igual como acontece en el ámbito académico, es necesario plantear experimentos para comprobar hipótesis o resolver distintos tipos de problema. Siempre resulta útil el elaborar pruebas experimentales, no obstante en muchas ocasiones estas pruebas terminan en un test de prueba y error, lo cual repercute en costos operativos importantes por tener que elaborar continuas pruebas de acierto y error. Así mismo, muchas de estos experimentos no resultan ser concluyentes y terminan por otorgar resultados insatisfactorios y no asociativos con respecto a las variables de entrada, por lo tanto, resulta vital el diseñar pruebas experimentales acertadas para arrojar resultados satisfactorios y con tendencias asociativas y correlacionadas con las variables de entrada, con el objetivo de solventar los problemas planteados o también comprobar hipótesis planteadas. (Gutierrez-Pulido; De la Vara-Salazar, 2008)

El buscar pruebas experimentales exitosas siempre es requerido en muchos campos, por lo tanto se desea implementar el diseño estadístico de experimentos, mediante el cual se obtienen datos cuantificados para ser analizados, con el objetivo de encontrar evidencias claras que respondan a las interrogantes planteadas. Existen muchos factores trascendentales al momento de realizar un diseño de un experimento, no obstante hay 6 que se destacan, los cuales corresponden a; la finalidad del experimento, cuantas variables se van a estudiar, cuantos niveles de prueba hay, los efectos que se desean analizar, el costo y el tiempo de la prueba experimental. Todos estos son detalles importantes para el análisis e implementación de un experimento. Hay muchas ventajas a la hora de diseñar un experimento, por lo cual cuenta con aplicaciones distintas al implementarlo, entre sus principales usos se encuentran; (Gutierrez-Pulido; De la Vara-Salazar, 2008)

- Comparación cuantitativa entre diferentes instrumentos de medición, para una comprobación efectiva acerca de la precisión y exactitud
- Establecer las mejores condiciones de operación para un sistema, mediante ensayos donde se simule el sistema y analizar de manera cuantitativa las variables de entrada y salida.
- Hacer diseños de nuevos productos o en su defecto, hacer rediseños de algunos productos
- Conocer y caracterizar materiales
- Reducir los tiempos de proceso

Un diseño de experimentos cuenta con diferentes fases para su desarrollo, lo cual sirve de guía para los investigadores que desean resolver una interrogante mediante una prueba experimental. La primera etapa es la de planeación y realización, en esta fase se procede a la comprensión del problema y la delimitación del mismo, así como determinar cuales son las variables que entran juego durante el experimento. La segunda etapa es la de análisis, en la cual se obtienen los datos experimentales cuantificados y se analizan

los mismos mediante muestras, aplicando de esta manera una estadística inferencial y un análisis de varianza (ANOVA). La siguiente etapa corresponde a la de interpretación, en esta se hace el estudio estadístico formal y se analiza si existe correlación entre las variables, con ello dar conjetura al problema planteado. Finalmente se procede con la conclusión, en la cual se detalla como se realizó el experimento, recomendaciones y como se solventó la problemática descrita originalmente. (Gutierrez-Pulido; De la Vara-Salazar, 2008)

Con todo lo anterior recopilado, resulta necesario el implementar un diseño de experimento para las pruebas de choque a las cuales será sometido el prototipo de chaleco *airbag* para motociclistas. Una prueba experimental física resulta muy costosa, no solamente en términos económicos, sino que también se debe contar con instalaciones aptas para realizar estas pruebas y los implementos tecnológicos para validar el experimento, por lo tanto se buscan alternativas para llevar a cabo un experimento en torno a una prueba de choque al chaleco *airbag*. Como alternativa se plantea el realizar pruebas experimentales mediante el uso de software, esto con el objetivo de contar con un experimento a menor costo, así como el tener un ambiente controlado sin el uso de instalaciones físicas ni el implementar equipo de medición para cuantificar variables.

2.5. Regulación Existente

Un punto trascendental para comprobar la legitimidad dentro del contexto legal del proyecto, gira en torno a la revisión de los estatutos orgánicos de los dispositivos de seguridad para motociclistas. Esto se hace con el objetivo no solamente de revisar si existen vacíos legales acerca del tema, si no que su intención es el establecer antecedentes a futuro en relación a proyectos futuros más avanzados en temas de seguridad vial y una recomendación dentro del contexto jurídico, con la finalidad de crear leyes en favor de la seguridad de los motociclistas y que estas se cumplan.

2.5.1. Seguridad Vial para Motocicletas

Con el objetivo de esclarecer el contexto jurídico acerca de la posibilidad acerca del uso en carretera, así como la construcción de prototipos de esta clase de dispositivos en un mercado comercial como el costarricense, es importante primero identificar la normativa que controla los implementos de seguridad para motociclistas, labor llevada a cabo por el ente de COSEVI. Esta se encuentra disponible en su página de internet y en la misma se detalle el marco legal de este clase de dispositivos: <https://www.csv.go.cr/normativa-de-transito>.

En esta página se puede encontrar toda la literatura sobre las normativas de seguridad vigentes en Costa Rica. Toda reglamentación sobre motocicletas en Costa Rica se encuentra delimitado en la "Ley de tránsito por vías públicas terrestres y seguridad vial", Ley N° 9078. En esta ley solo se identifican 2 requerimientos para motociclistas: casco y vestimenta retro-reflectiva. El capítulo IV, Artículo 117 inciso a, menciona los requerimientos.

"Llevar un casco de seguridad de acuerdo con los requisitos estipulados en el reglamento de esta ley" (Ley N° 9078, 2012)

Igualmente el inciso d del mismo Artículo se cita;

Utilizar prendas de vestir retrorreflectivas, tanto al estar el vehículo en movimiento como cuando se detengan a realizar alguna reparación en el espaldón o a la orilla de la carretera" (Ley N° 9078, 2012)

En la ley orgánica del COSEVI acerca de seguridad vial para motociclistas, no se encuentra ninguna regulación vigente asociada directamente con el uso de dispositivos del tipo chalecos *airbag*, por ende es válido jurídicamente llevar a cabo este tipo de proyecto, por lo cual su uso es completamente voluntario y no debe de cumplir con ninguna regulación. Esto representa un peligro para los conductores, porque no se establecen las características que deben de cumplir estos implementos para cumplir su función correctamente. Al dejar abierta la interpretación jurídica, se pone de manifiesto el peligro el implementar en el país equipos que no solo no protejan a los usuarios, si no que por sus característicos representen obstáculos a la correcta operación de una motocicleta (obstáculos de movimiento o visibilidad). Igualmente debido a la falta de

regulación no se tienen estándares de calidad sobre estos productos en específico. Este proyecto tiene la convicción de aprovechar un vacío legal para establecer proyectos con visiones a futuro en temas de seguridad vial.

Esta situación no es exclusiva de Costa Rica, en Estados Unidos el Departamento de Transporte (DOT por sus siglas en inglés) emitió un reporte en el 2018 titulado Resumen de Protección del ocupante del vehículo y Leyes de motocicletas”, en el que especificaba las leyes de tránsito aplicadas por estado (cada estado tiene sus propias leyes”). En ningún estado la protección requerida era más de un casco, incluso en algunos estados el uso de casco no es completamente obligatorio.

Por ejemplo ver los requerimientos del estado de California, según el National Highway Traffic Safety Administration.

Quando conduzca una motocicleta, un conductor o pasajero debe usar un casco de seguridad en cumplimiento de las normas nacionales. Código de vehículo de California 27803.” (National Highway Traffic Safety Administration, 2018)

Por el contrario el estado de Arizona los requerimientos son los siguientes.

Un operador o pasajero menor de 18 años no deberá operar un motocicleta a menos que esa persona use un casco protector.” (National Highway Traffic Safety Administration, 2018)

El reporte no especifica en ningún momento ninguna otra clase de implemento de seguridad para motociclistas, incluyendo chalecos *airbag*. Esto concuerda con la legislación de Costa Rica en el hecho de que estos implementos de seguridad son usados a voluntad del operador sin requerimientos legales. La revisión jurídica de otros tipos países más avanzados en la temática de seguridad vial es importante, porque permite establecer comparaciones y parámetros operativos, para comprobar la situación actual del país. Así mismo, el hecho de que cada usuario acceda a uno de estos dispositivos de seguridad por acción voluntaria permite una visión más amplia, más allá de la legislativa, sino también la comercial.

2.5.2. Latin NCAP y Otros Entes de Crash Test

Cuando cualquier vehículo nuevo sale al mercado, este debe de ser probado para comprobar la validez de ese vehículo en temas de seguridad, tanto para el conductor como para terceros (peatones u otros conductores), verificando si cumple con los estándares y normas de calidad requeridas, así como las normativas internacionales en temas de seguridad vial. Una de las maneras en las cuales se prueba es mediante una prueba destructiva de choque desde distintos ángulos. Estas pruebas deben de ser realizadas por entes certificados, siguiendo un procedimiento normalizado de manera que el resultado sea altamente confiable, con condiciones de repetibilidad y reproducibilidad, para asegurar la validez de la prueba experimental.

Uno de los principales entes certificados para llevar a cabo esta prueba es el NCAP: New Car Assessment Program. Este ente se encarga de realizar pruebas a todos los

vehículos nuevos para la venta en el mercado internacional. En todo el mundo hay diferentes estándares de calidad de vehículos, por ende el NCAP se divide en regiones para focalizarse en cada una según su régimen de calidad: Global NCAP, Euro NCAP, Latin NCAP entre otros. Para el mercado costarricense, el Latin NCAP es quien regula y certifica las pruebas de choque. El Latin NCAP nace en 2010 como una iniciativa por parte de la Federación Internacional del Automóvil. Luego en 2014 se convierte en una asociación que brinda a los consumidores información independiente y transparente acerca de los niveles de seguridad que ofrecen los diferentes modelos de vehículos del mercado latinoamericano. Latin NCAP basa sus pruebas en métodos internacionalmente reconocidos, y evalúa la versión más básica en seguridad de los modelos disponibles en el mercado. (Latin NCAP, s.f.).

El Latin NCAP tiene como objetivos fundamentales:

- Brindar a los consumidores evaluaciones de seguridad independientes e imparciales de los vehículos nuevos
- Impulsar a los fabricantes a mejorar el desempeño en seguridad de sus vehículos a la venta para el mercado latinoamericano
- Alentar a los gobiernos a aplicar las regulaciones exigidas por la ONU referentes a los ensayos de choque para los vehículos de pasajeros

El Latin NCAP basa los resultados de sus pruebas en 3 factores: la seguridad de pasajeros adultos, la seguridad de pasajeros infantil y la seguridad del peatón. Las pruebas siempre siguen los protocolos establecidos en el documento: *Assessment protocol-adult occupant protection* publicado por la Latin NCAP en el 2019. Este protocolo analiza los datos de respuesta registrados en tres configuraciones de prueba diferentes: impacto frontal en solapamiento compensado, barrera deformable móvil de impacto lateral, impacto de poste lateral. El puntaje se define por separado para cada área importante del cuerpo. Estos puntajes se pueden ajustar después de la prueba en función de cualquier requisitos adicionales. Por ejemplo si la puntuación original debe ajustarse para reflejar la sensibilidad a pequeños cambios en la ubicación del contacto. (Latin NCAP, 2019)

Esto se hace para eliminar cualquier cambio que se pueda dar en la protección de ocupantes de diferentes tamaños en diferentes posiciones dentro del vehículo. La evaluación también considera el rendimiento estructural del automóvil, teniendo en cuenta aspectos tales como el desplazamiento del pilar A y la simetría estructural. Los ajustes a la calificación, se basan tanto en la inspección visual como en consideraciones geométricas que se aplican a las evaluaciones. (Latin NCAP, 2019). Para el impacto frontal, la puntuación para cada área del cuerpo se basa en los datos del ocupante el cual presenta más daño (solo se evalúa ese ocupante no ambos). Los resultados de impacto lateral e impacto de poste se refieren solo al ocupante del lado golpeado. Finalmente, para el valor final de evaluación los puntajes de frontal, lateral y poste se suman. El puntaje de protección de ocupante adulto resultante se expresa como un porcentaje del número máximo de puntos alcanzables. (Latin NCAP, 2019).

Cada parámetro de evaluación tiene dos límites: un límite superior (más allá del cual se obtiene una puntuación máxima) y un límite inferior (por debajo del cual no se obtienen puntos). La puntuación máxima para cada región del cuerpo es de cuatro puntos. Cuando un valor cae entre los dos límites, la puntuación se calcula por interpolación lineal. Para las regiones críticas del cuerpo (cabeza, cuello y pecho) se establece un valor tope, exceder este valor tope indica un riesgo inaceptable de lesiones, llevando a la pérdida de todos los puntos relacionados con las pruebas. Este valor tope puede ser diferente (mayor) que el límite inferior. (Latin NCAP, 2019).

Otros entes que realizan pruebas de impacto como método de evaluación incluyen NHTSA e IIHS. La administración nacional de seguridad vial (NHTSA por sus siglas en inglés) es el instituto a cargo de velar por la seguridad vial en los Estados Unidos. Esta institución al igual que el Latin NCAP realiza una prueba de choque a la mayoría de los nuevos vehículos que se introducen al mercado de esta nación. El IIHS es el Instituto de Seguros para la Seguridad Vial, esta es una organización independiente que también realiza pruebas de impacto a vehículos con el fin de establecer un parámetro para fines legales en caso de heridas. (Lam, 2014). El NHTSA realiza dos pruebas: la prueba de superposición pequeña RMDB y la prueba de superposición oblicua. Para la prueba de superposición pequeña RMDB el objeto de impacto se encuentra superpuesto un 35% con el vehículo y tiene un ángulo de 15° . La prueba de superposición oblicua varía la superposición a 20% y se cambia el ángulo a 7° . La superposición se calcula como un porcentaje del ancho total del vehículo. En ambos casos el vehículo se encuentra sin movimiento y la barrera es la que impacta el vehículo a 90 km/h (56 mph). Estas pruebas se realizan utilizando una barrera móvil deformable. (Lam, 2014) En la figura 2.10 se puede observar la representación gráfica de esa prueba.

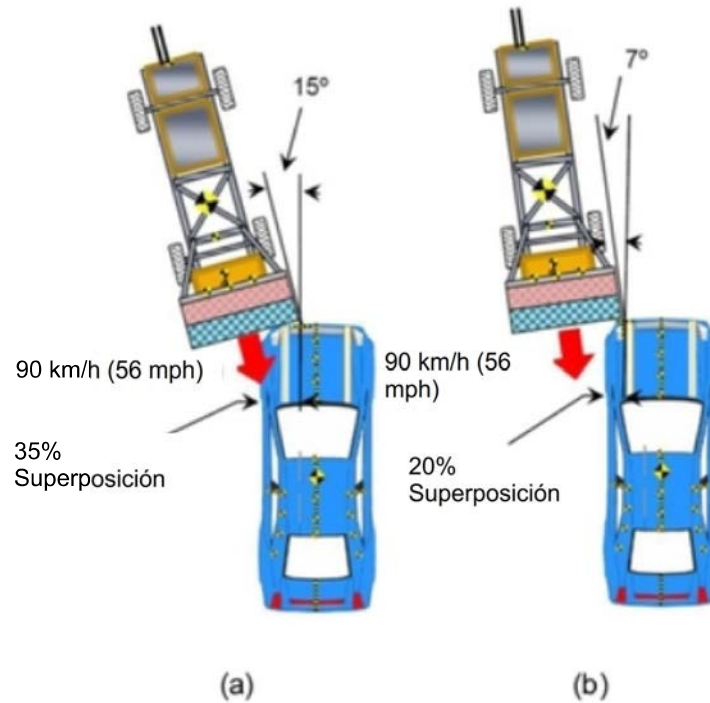


Figura 2.10: (a) Configuración de la prueba de superposición pequeña RMDB realizada por la NHTSA para evaluar la seguridad de los vehículos. (b) Configuración de la prueba de superposición oblicua realizada por la NHTSA para evaluar la seguridad de los vehículos; Fuente: Lam, 2014.

Por otro lado, las pruebas del IIHS también son frontales. Estas pruebas se denominan pruebas de superposición moderada y prueba de superposición pequeña. En la prueba de superposición moderada el vehículo a probar se desplaza a 64.4 km/h (40 mph) cuando impacta una barrera deformable. En este caso particular, el ángulo al cual se encuentra la barrera es de 0° con una superposición del 40 % del ancho del vehículo. Para la prueba de superposición pequeña el vehículo se mantiene en movimiento a 64.4 km/h pero en este caso impacta contra una barrera rígida fija con una superposición de 25 % y un ángulo de 0° . (Lam, 2014) En la figura 2.11 se muestra la prueba del IIHS en representación gráfica.

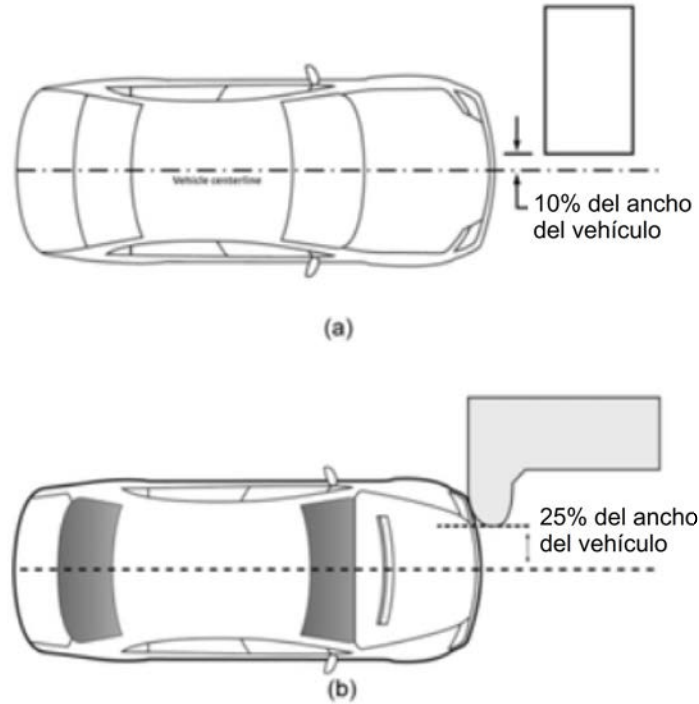


Figura 2.11: (a) Configuración de la prueba de superposición moderada realizada por la IIHS. (b) Configuración de la prueba de superposición pequeña realizada por la IIHS; Fuente: Lam, 2014.

2.6. Crash Test

2.6.1. Pruebas de Campo

Como se mencionó anteriormente, el ente Latin NCAP realiza pruebas de impacto para poder cuantificar cual es el desempeño de un vehículo ante un accidente. Para el Latin NCAP se utilizan tres pruebas basicas:

- Prueba Frontal
- Prueba Lateral
- Prueba Lateral de Poste

Cada prueba se realiza en una configuración especifica (normalizada por la Latin NCAP) y los resultados se evalúan con base en los criterios estandarizados del Latin NCAP.

Prueba de Impacto Frontal

Esta prueba se realiza con el carro en movimiento a una velocidad de 64 km/h. La barrera deformable se encuentra superpuesta un 40% del ancho total del carro del lado del conductor. Las lecturas tomadas de los maniquíes se utilizan para evaluar la protección dada a los ocupantes frontales adultos. El impacto se realiza en un bloque inamovible equipado con una cara de aluminio deformable. Este impacto tiene la intención de replicar el efecto causado en el automóvil al chocar frontalmente a 55 km/h con un automóvil de igual masa. Como la mayoría de los choques frontales involucran solo una parte del frente del automóvil, la prueba se compensa haciendo que el 40% del frente del automóvil impacte la barrera. En la Figura 2.12 se puede observar la configuración del vehículo y el obstáculo para esta prueba.

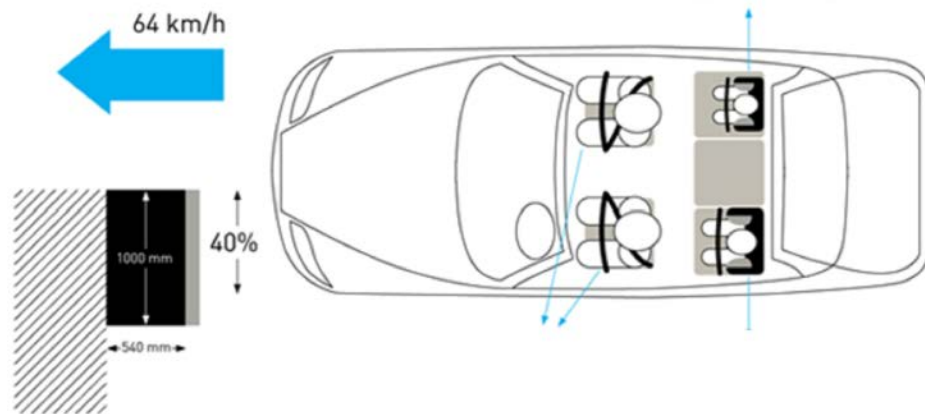


Figura 2.12: Configuración de prueba frontal de impacto utilizada por la Latin NCAP. Fuente: Latin NCAP, s.f.

Prueba de Impacto Lateral

La prueba de impacto lateral se realiza con el vehículo detenido, la barrera es lo que impacta el vehículo. En este caso la barrera se mueve a 50 km/h y se encuentra alineada con con la cadera del maniquí. El bloque de impacto se mantiene igual con una cara de aluminio deformable como se puede observar en la Figura 2.13.

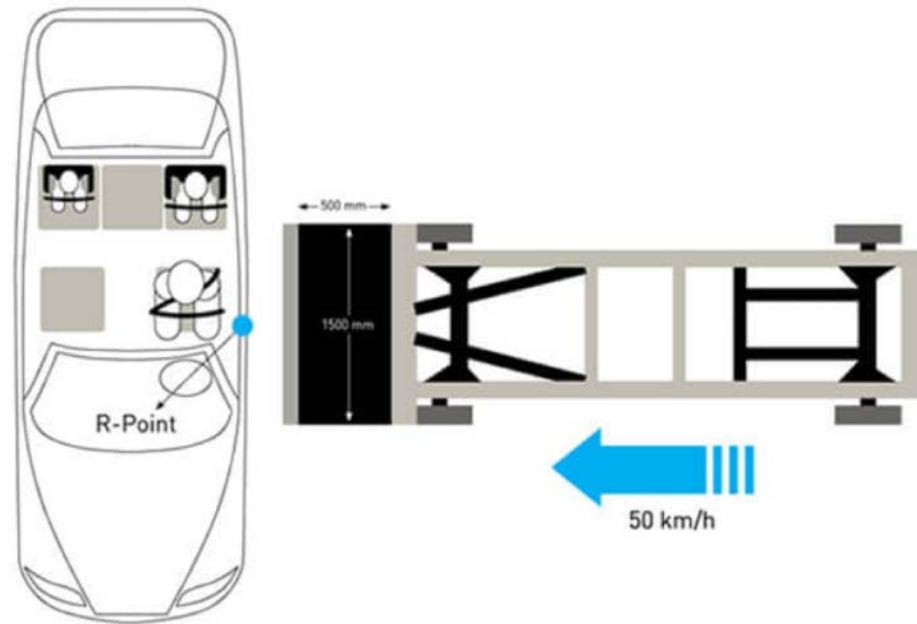


Figura 2.13: Configuración de prueba lateral de impacto utilizada por la Latin NCAP. Fuente: Latin NCAP, s.f.

Prueba de Impacto Lateral de Poste

La prueba de impacto lateral de se realiza con el vehículo detenido, pero este se encuentra montado sobre una plataforma que se mueve tal cual se observa en la Figura 2.14. Esta plataforma impulsa el vehículo perpendicularmente hacia el bloque de impacto a una velocidad de 29 km/h. En este caso, el bloque de impacto se compone de un poste rígido y estrecho con un diámetro de 254 mm. Esta es una prueba muy severa de la capacidad de un automóvil para proteger la cabeza del conductor. Como la carga está tan localizada, la deformación puede ser muy alta y el poste puede penetrar profundamente en el compartimiento de pasajeros. Sin una protección efectiva, el poste golpearía la cabeza y provocaría lesiones graves.

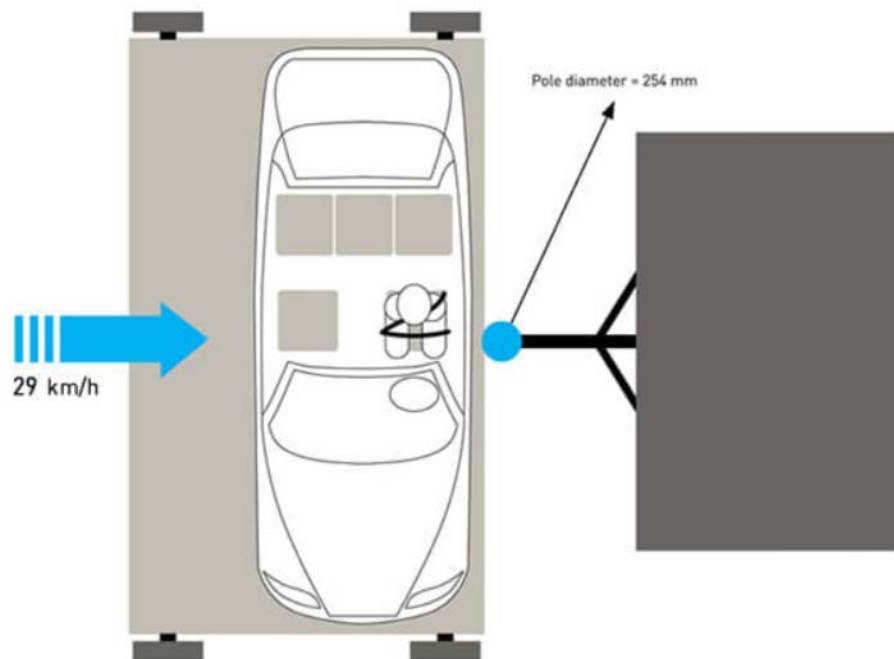


Figura 2.14: Configuración de prueba lateral de poste de impacto utilizada por la Latin NCAP. Fuente: Latin NCAP, s.f.

2.6.2. Pruebas Computacionales

Las pruebas computacionales son métodos muy útiles de realizar experimentos ya que no involucran materiales físicos. En pruebas de choque se deben de utilizar vehículos completos en espacios muy grandes y con equipos altamente especializados y costosos (plataformas de movimiento, sensores). Esto hace que las pruebas de choque sean altamente costosas y muy difíciles de replicar. Las pruebas computacionales son una alternativa a estas pruebas ya que son mucho más baratas y es más fácil abarcar un mayor rango de situaciones. Existen diferentes software que se pueden utilizar para simular pruebas de impacto. Uno de ellos es ANSYS, este programa de CAE se utiliza para realizar análisis de elementos finitos y así lograr simulaciones de eventos físicos.

Otro programa es Virtual Crash. Este es un programa especializado que permite simular colisiones de vehículos. Este software realiza la simulación basándose en el modelo de colisión impulsiva de Kudlich-Slibar. El software EDSMAC4 también se especializa en simulación de impactos de vehículos. Este software fue desarrollado por Engineering Dynamics Corporation. El software fue desarrollado a partir del programa de dominio público SMAC producido por Calspan para NHTSA. El programa SMAC es un programa que predice el resultado de una colisión vehicular a partir de las variables de entrada. (Deyerl, 2008)

Desarrollado en Holanda, también se puede utilizar el programa MADYMO. El modelo MADYMO consiste en cuatro sistemas distintos; la carretera, la moto, el objeto

de impacto y el conductor. El objeto de impacto se puede simular como una versión simplificada del objeto, es decir un automóvil se puede simular como una barrera de hormigón y una barrera de cable. El camino debe de ser asignado como el espacio inercial en el que operaban la moto, la barrera y el conductor. (Berg, 2005). El programa ANSYS contiene varios módulos especializados para simular la respuesta de los materiales a cortos períodos de carga severa. Estos módulos se utilizan para solucionar problemas de dinámica no lineal. Un problema no lineal se da en casos cuando se tiene grandes deformaciones. Esto debido a que el cambio en la geometría del objeto hace que las interacciones entre 2 objetos cambien (cambios en área de contacto, y módulos de elasticidad). (Kostopoulos, 2002).

En una prueba computacional de impacto la carrocería del automóvil se analiza mediante en cambios de posición más pequeños en pasos de tiempo pequeños y discretos (para representar el movimiento continuo del vehículo. La discretización implica la subdivisión de la superficie en un gran número de regiones cuadriláteras cuyas esquinas se llaman nodos. Cada elemento tiene masa, que se distribuye como masas concentradas y como momentos de inercia de masa a sus nodos de conexión. Cada nodo tiene 6 grados de libertad (un nodo puede moverse en tres direcciones lineales y puede girar alrededor de tres ejes). (Haug, 1981). Si los nodos se mueven durante una simulación de choque, los elementos conectados se estiran y se doblan con sus nodos. Esto lleva a que se transmitan fuerzas y momentos a sus conexiones nodales. Las fuerzas en los nodos corresponden a las fuerzas transmitidas por la resistencia del material estructural de los elementos a medida que se deforman. (Haug, 1981)

Capítulo 3

Metodología

En esta sección se va a abarcar el capítulo de la metodología, en donde se van a detallar los principales puntos a tomar en consideración para el diseño mecánico, la construcción del prototipo, las pruebas computacionales, el análisis de rentabilidad económica y documentación.

3.1. Contexto General

En primera instancia se debe mencionar de donde surge la idea de crear un prototipo de chaleco *airbag* para motociclistas. Esta idea surgió a partir de un programa de televisión, Shark Tank Colombia, en donde se exponía un producto de esta índole, la presentación resultó ser muy atractiva e innovadora. Con base en esta idea se consultó con los ingenieros Israel Cháves Arbaiza, Raziel Sanabria Sandí y David Alfaro Víquez donde consultar información acerca de este producto y la parte de investigación. El punto de partida para la investigación del proyecto fue revisar los anuarios estadísticos del COSEVI y la legislación vial de Costa Rica con respecto a este tipo de tecnologías, porque con base en estos datos se daría una justificación al proyecto y respondería a una acción social de la universidad.

Después de lograr resolver este detalle, se procedió a buscar antecedentes históricos del producto (Courant, 1943) y patentes relacionadas a esta invención, se vio la viabilidad del proyecto y un proyecto de gran interés para el país, porque pone un precedente en innovación tecnológica para la seguridad vial de los motociclistas en Costa Rica, buscando una alternativa de menor costo al de artículos similares de otras marcas los cuales son de alto costo económico. Con los anuarios estadísticos del COSEVI y revisando la legislación vial de Costa Rica, al esclarecer si todavía existían patentes sobre el producto y cuales eran sus precedentes históricos, se debía investigar acerca de seguridad vial en Costa Rica, no solo en términos cuantitativos sino también cualitativos. Al indagar acerca de este tema, se descubre un ente como Latin NCAP, el cual se encarga de realizar pruebas de seguridad sobre los nuevos automóviles que entran al mercado latinoamericano, no obstante dan las guías sobre los ensayos destructivos que se deben

realizar para verificar si un medio de transporte es seguro o no.

Con un panorama más claro acerca de como se desarrolla el contexto general acerca del producto, se debía proseguir con la búsqueda de información sobre como funciona esta tecnología, algunos detalles constructivos y como lograr amortiguar impactos graves sobre un motociclista para cumplir su objetivo, el cual es el salvaguardar la integridad de los motociclistas. Investigando en diferentes plataformas, se consigue información valiosa en la página del fabricante Hit Air, empresa Japonesa la cual fabrica estos productos desde el año 2010 y las implicaciones positivas para los usuarios en temas de seguridad. Así mismo, se explican detalles generales acerca de como se construye y algunos de sus componentes principales, esto es de vital importancia para tener una idea de como se debe desarrollar un prototipo de este producto.

Después de llevar a cabo este punto, se debe abordar los objetivos específicos del proyecto, en donde se debe llevar a cabo un diseño mediante herramientas de CAD y CAE, la construcción de un prototipo funcional, una prueba computacional de choque para verificar la funcionalidad del artículo desarrollado y finalmente un estudio de factibilidad económica. En las siguientes secciones del capítulo se van a abordar de manera general los objetivos específicos del proyecto y cual fue la línea tomada en cuanto al desarrollo de la investigación. Esta investigación siguió una cronología lineal, comenzando por la elaboración del marco teórico, posterior a ello se elaboró el diseño del chaleco con herramientas de CAD y CAE, a posteriori se procedió con la confección del prototipo, luego la prueba de choque computacional y como último punto de estudio el análisis de rentabilidad económica.

La idea del proyecto es sentar un precedente en Costa Rica acerca de tecnologías innovadoras en materia de seguridad vial, en este caso particular se enfoca en los motociclistas, porque representan el grupo más vulnerable en las carreteras de nuestro país y muchos de ellos utilizan este medio de transporte para realizar labores profesionales, por ende se vuelve aún más importante brindarles herramientas que les garantice su seguridad. Así mismo, se quiere dar un punto de partida en el tema de crash test, ya sea para que otros investigadores tomen la idea de desarrollar un proyecto de investigación de los automóviles nuevos que entran al mercado nacional, cuales son los resultados de estos automóviles en un ente como Latin NCAP y porque entran automóviles inseguros a nuestro país, porque no existe un marco jurídico como en Europa en donde todos los automóviles nuevos que entran en ese mercado deben cumplir con resultados satisfactorios en seguridad en el ente de Euro NCAP.

3.2. Diseño Mecánico

En un contexto general acerca del abordaje del diseño mecánico, se debe mencionar en primera instancia el sector sobre el cual se desea hacer énfasis, el cual corresponde al de los motociclistas del territorio nacional. Cuando se analiza este sector en carretera, se observa como estos en su mayoría son de una complección delgada y estatura mediana, por ende el prototipo debe ser diseñado para atacar las necesidades de estos usuarios. Con base en el criterio anterior, se determinó como lo más oportuno que la talla del prototipo de chaleco *airbag* sea talla M (Medium), no obstante, la metodología y estructura funcional se adaptan a otras tallas comunes, esto con el objetivo de no dejar de lado a ningún usuario potencial.

Así mismo hay un detalle adicional sobre el cual se quiere dar un abordaje, es el hecho de que la legislación vial en Costa Rica le exige a los motociclistas utilizar un casco de manera obligatoria, así como elementos retroreflectivos para cuando los usuarios conducen de noche, por lo tanto el prototipo requiere de manera obligatorio elementos retroreflectivos, esto es un factor a tomar en consideración para la elaboración del prototipo, para cumplir con la parte jurídica. Estas deben estar colocadas en lugares donde no resulten incómodas para los tripulantes y sean llamativas para ser funcionales en las noches, por ende se opta por dos cintas retroreflectiva de la marca 3M colocada en manera vertical cerca de la parte central, tanto en la parte frontal como trasera.

Finalmente se debe mencionar como una bolsa *airbag* de un automóvil común, funciona mediante una explosión química de dos elementos, los cuales al interactuar entre sí dan como resultado una detonación que llena de aire las bolsas para salvaguardar la vida de los tripulantes. En el caso particular de un chaleco *airbag*, como lo va a portar en su cuerpo una persona, no se va a poder utilizar este tipo de método de accionamiento mediante reacción química. Con base en investigaciones realizadas, revisando los detalles funcionales del chaleco de Hit Air, se determinó como lo más conveniente utilizar cartuchos de CO₂ para inflar el chaleco en caso de sufrir un impacto el usuario.

3.2.1. Diseño de Chaleco *Airbag* con CAE y CAD

El punto de partida para el diseño mediante herramientas computacionales, es uno el cual en muchas ocasiones se pasa por alto. Un buen diseño mecánico involucra un aspecto más allá del estético o funcional, debe ser factible de construir, en este caso particular se envían los planos constructivos a un sastre, el cual lleva a cabo la labor de su confección, esto se abordará con más detalle a posteriori. En cuanto al diseño, el primer punto a mencionar es el software con el cual se diseñan los primeros bocetos y el modelo final en CAD es Solidworks ®. Mediante esta herramienta se analiza un punto importante a tomar en consideración, el cual corresponde a donde colocar la caja con los componentes electrónicos. Revisando otros modelos de chalecos *airbag*, se ve como la mejor opción el colocar estos en la parte frontal del chaleco, para comodidad de los usuarios.

Uno de los primeros problemas que surgen a la hora de realizar un diseño compu-

tacional, es el de las dimensiones, mas si se considera elaborar un prototipo en talla M. Estas, se obtienen de un patrón de costura talla M para varón otorgado por la costurera Martha Rojas Alfaro (Confecciones Grego BMG). Este patrón fue necesario, porque mediante este se logran obtener las medidas necesarias para darle forma al chaleco *airbag*, además de darle forma a un plano constructivo para el sastre, mediante esto se hace factible la construcción. No obstante, al realizar el diseño con herramientas CAD, surgen dos dudas importantes. La primer duda que es necesario plantearse es cual tela tiene las características requeridas para cumplir con la funcionalidad del chaleco: resistencia a abrasión, impermeable y liviana. La segunda duda es cual es el método a utilizar para contener el gas CO_2 dentro del chaleco.

Estas preguntas se abordaron desde una visión investigativa e interrogativa, primero buscando información acerca de ensayos destructivos en materiales textiles, en donde se descubrieron dos telas muy útiles para esta invención; army y mezcilla. Posterior a ello, se le consultó a la costurera Martha Rojas Alfaro la viabilidad de estas telas para el chaleco, desde un ámbito constructivo, en donde ambas resultaron ser buenas opciones para la fabricación del chaleco. No obstante, la señora Martha Rojas Alfaro dio como sugerencia la tela army, por una relación precio-calidad, comodidad para el usuario en fresca y peso, así como su funcionalidad en exteriores, especialmente si se presenta lluvia. Este criterio resultó valioso, dada la experiencia de la sastre y conocimiento en temas de telas.

La otra interrogante acerca de como contener el aire dentro del chaleco, se abordó mediante un enfoque investigativo e interrogativo. La sastre Martha Rojas Alfaro dio la recomendación de consultar al sastre Milton Cháves, el cual ha laborado con proyectos similares. En consulta con el sastre, este dio la idea de poner un forro en el interior en la tela tafeta, la cual se sella mediante calor y no permite la fuga de aire. Mediante esta idea se hizo una investigación desde una perspectiva ingenieril, para comprobar la viabilidad de esta tela y su desempeño, en donde se comprobó como una buena opción para solventar el problema del aire en el interior. Con ello el diseño final involucraba el utilizar una tela en el exterior, army, y en el interior usar un forro sellado en tafeta para evitar la fuga de aire.

El siguiente punto de abordaje es el de diseño eléctrico, porque se requiere elaborar un circuito eléctrico para la liberación del contenido del cartucho del CO_2 . Esto se hace mediante el software Fritzing®, una herramienta de CAE la cual permite simular un circuito eléctrico y ver si este es funcional o no. Este circuito se compone de una batería LIPO, un sistema de procesamiento, una válvula solenoide, un acelerómetro y un GPS. La idea básica consiste en que el acelerómetro detecte un cambio abrupto en la aceleración, el acelerómetro al detectar esto mandará una señal a la válvula solenoide, la cual abrirá el paso del contenido del cartucho de CO_2 y este contenido irá a través de pequeñas mangueras que inflarán el chaleco *airbag*. Así mismo, cuando se libere el contenido del cartucho, el GPS mandará una señal, de preferencia a una línea de emergencia para informar el impacto y buscar ayuda inmediata si se requiere. Finalmente, por un tema de presupuesto, el GPS utilizado tiene una incertidumbre de 10 metros.

3.3. Construcción de Prototipo

En primera instancia, se debe retomar un punto tratado en secciones anteriores, y este es la factibilidad constructiva del modelo dado, específicamente en planos. Por lo tanto, el primer punto luego de crear el diseño mediante herramientas de CAD, es consultar al sastre que lleva a cabo la confección la viabilidad constructiva enseñada en planos. El sastre, en este caso particular Milton Cháves, da visto bueno a los planos mostrados y procede con la construcción del chaleco *airbag*. Se especifica así mismo, el uso de army como recubrimiento exterior y en el interior el uso de tafeta. Con el objetivo de contener el aire en la tafeta, es necesario el sellar esta tela con calor, y de la misma manera se une el recubrimiento exterior (army) con el recubrimiento interior.

Posterior a ello, se consiguen los "gusanos" de hule para pegar a la tafeta, esto con la finalidad de contar con un implemento seguro para la conexión de las mangueras y llenar el chaleco *airbag* con el contenido de los cartuchos de CO₂. En un primer intento, al no quedar bien sellado térmicamente los bordes de la tafeta y los gusano de hule a la tafeta, se escapaba aire, esto se comprobó de manera simple a insertar la tafeta con aire en un recipiente grande con agua. El segundo intento, al sellar de mejor manera la tafeta en sus bordes y los gusanos de hule, ya no se escapa aire y se tuvo mayor precaución al unir el recubrimiento exterior e interior. Finalmente, se debe mencionar un factor importante, las cintas retroreflectivas se colocan al army directamente con costura, no obstante estas se cosen antes de unir la tafeta con el army, esto con el objetivo de evitar un daño a la tafeta.

El siguiente punto de abordaje, va asociado a una prueba desarrollada localmente para ver si el chaleco contiene el aire de manera adecuada. Esto se hace de manera simple, al ir a una estación de gasolina, en estos establecimientos poseen compresores para distribuir aire comprimido para inflar llantas de medios de transporte, en este caso particular se utiliza esta tecnología para llenar de aire el chaleco *airbag*, para comprobar el funcionamiento del mismo, antes de implementar el sistema electrónico en conjunto con el cartucho de CO₂. Cuando se llena de aire comprimido el chaleco, este se infla y no presenta fugas, con lo cual el resultado es exitoso. Mediante una prueba experimental local en sitio, se determina como 8 psi el valor adecuado de presión de aire dentro del chaleco *airbag*. Se recomienda no sobrepasar este valor de presión nominal.

Después de este suceso, se procede con la compra de los implementos electrónicos y los cartuchos de CO₂, los cuales corresponden a una batería LIPO, un acelerómetro, una válvula solenoide, un arduino MEGA, un GPS y una antena de localización. Todos estos implementos se compran por medio de la tienda online Micro JPM, esto para tener facilidad a la hora de adquirir componentes electrónicos. En uno de los costados frontales del chaleco, se coloca una bolsa para cubrir los implementos electrónicos, por un aspecto estrictamente estético. El como se configura este circuito se verá con mayor detalle en el capítulo 4 del proyecto.

3.4. Pruebas con Software

El punto sobre el cual inicia el abordaje de este inciso, corresponde a los dos softwares utilizados para llevar a cabo esta prueba experimental computacional, estos softwares corresponden a;

- Ansys Workbench ®
- Virtual Crash ®

Con base en estas herramientas, se procede a realizar el diseño de un experimento computacional. El diseño de este experimento requiere un criterio de repetibilidad y reproducibilidad, por ende se deben documentar de manera clara todas las consideraciones establecidas para realizar la prueba experimental en software y los criterios técnicos. Las condiciones ambientales son a presión y temperatura estándar, en un terreno plano sin lluvia, carretera de asfalto en buen estado y poco tránsito. A pesar de que nuestro país en carretera no cuenta con estos factores ambientales y situacionales de manera pertinente, la prueba se va a realizar bajo el escenario más fácil de contemplar, esto porque se requiere una simulación efectiva que consuma los menores recursos computacionales posibles y sea lo más simple de analizar.

A priori, se debe dar un lineamiento general sobre como se realizan estas pruebas experimentales de choque mediante herramientas de CAE. En el capítulo 2, en la sección 2.6 se detallan como se realizan los crash test, específicamente con los criterios técnicos de Latin NCAP, los cuales pueden ser aplicados para automóviles como motocicletas, con el objetivo de comprobar la seguridad del medio de transporte, aunque en esta ocasión se harán uso de estos criterios técnicos con respecto a un chaleco *airbag*, con la misma finalidad, comprobar si es funcional a nivel de seguridad. Como se mencionó en la sección 2.6, para América Latina NCAP solamente realiza 3 pruebas destructivas en vez de 10 como acontece en otras latitudes.

Las tres pruebas llevadas a cabo son; impacto frontal, impacto lateral e impacto lateral de poste. Para la prueba experimental se utilizará el software de Virtual crash ® en primera instancia, en donde se colocará un choque común, un automóvil contra una motocicleta, en las posiciones y velocidades establecidas en los ensayos de Latin NCAP. Con los ensayos computacionales, el software arroja resultados de impacto y suministra información para ser tratada a posteriori en otro software. Después de obtener los insumos suministrados a través de la prueba hecha en Virtual Crash ®, se procede a tratar estos datos mediante la herramienta CAE Ansys Workbench ®. Con esta herramienta, se toma el diseño computacional del chaleco *airbag* hecho en SolidWorks ®, y se le aplica una prueba de elemento finito, para analizar los posibles impactos sufridos y con ello determinar la deformación en el tórax del usuario y analizar de manera cuantitativa si el chaleco es funcional o no en temas de seguridad.

3.5. Estudio de Rentabilidad

Este inciso sintetiza de manera general los lineamientos utilizados para llevar a cabo el estudio de rentabilidad económica para el chaleco *airbag* y un futuro programa de desarrollo comercial. Este proyecto aunque surge de una iniciativa académica con una visión social, para el beneficio de un grupo vial abundante en Costa Rica, no deja de ser una propuesta comercial atractiva para grupos inversionistas, los cuales ven el proyecto potenciales compradores y más si se toma ese producto en un marco jurídico, como un casco o cinta retroreflectiva. Por ende, este proyecto se debe justificar viable desde un marco económico, para poder abarcar un sector grande de consumidores en nuestro país que son aquellos que usan la motocicleta de manera comercial (para generar ingresos a si mismos y comercios) como aquellos que la utilizan de manera recreativa.

El primer punto sobre el cual se debe hacer incapie es la suma de costos totales, tanto de de insumos como de costos indirectos, tales como transportes o mano de obra. Al cuantificar la suma total de costos, se debe poner un porcentaje de ganancia neta sobre el producto, la cual se proyecta en un 30 %, con ello al evaluar en datos monetarios los costos y la proyección de ganancia, se estipula cuando debe ser el costo final para el consumidor. Para poder cumplir con la meta final del proyecto de contar con un prototipo económico respecto a artículos similares importados desde el extranjero, se espera un costo final al consumidor de alrededor de entre 100 000 y 150 000 colones. Un precio adecuado para el mercado nacional en busca de proteger al sector más vulnerable en carretera.

Capítulo 4

Diseño de Chaleco

4.1. Funcionalidad del Chaleco

En los objetivos se planteo diseñar un prototipo atractivo y funcional. Para lograr la funcionalidad adecuada para el diseño se estudiaron algunos de los modelos actualmente disponibles en el mercado. Concretamente se estudiaron 5 diseños, cada uno de un fabricante diferente. Específicamente:

- Vest MV6 (Hit-Air)
- Turtle 2 (Helite)
- D-air (Dainese)
- Tech Air (Alpinestar)
- Protect Air (Bering)

Estudiando los diseños se identificaron dos diferentes mecanismos de activación. Algunos de los diseños se activan mediante un cordón. Éste cordón conecta el chaleco con el cuerpo de la motocicleta. Durante un accidente el motociclista se separa de la motocicleta, causando que el cordón se tense y active la liberación del CO₂. Por otro lado otros modelos contienen sensores y sistemas de procesamiento que al detectar un accidente por parte del motociclista libera el CO₂ mediante una válvula solenoide.

Fuera del sistema de activación del chaleco, todos los diseños tienen un funcionamiento muy similar. Como se mencionó anteriormente en el marco teórico todos los modelos estudiados usan cartuchos de CO₂ para inflar el chaleco y brindarle protección al usuario por lo que el diseño se debe basar sobre este componente. Una vez se detecta el impacto y se libera el gas este se desplaza llenando uniformemente los *airbags* de poliuretano. Este material ^atrapa el gas inflando el *airbag* para que este tome su forma final y le brinde la protección necesaria al usuario frente a su impacto. El tamaño y distribución del *airbag* varía de modelo a modelo pero todos los modelos estudiados

utilizan un cartucho de gas de 50 cm³ por lo que el volumen de gas es igual para todas las diferentes configuraciones.

Para proteger efectivamente al conductor el chaleco debe de ser capaz de proteger las áreas del torso frontal y trasero del conductor. De esta manera si se toma en cuenta que el conductor ya debe de portar el casco (debido a la regulación vigente en Costa Rica y otros países del mundo), el uso de este dispositivo asegura que el motociclista esta protegido de recibir impactos y golpes fuertes por encima de la cintura, protegiendo áreas críticas como la cabeza, el cuello, el pecho (el área de las costillas). El área de protección "óptima" del chaleco se muestra en la Figura 4.1.

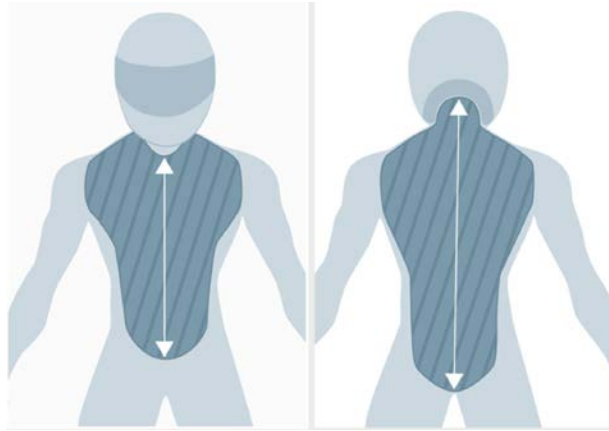


Figura 4.1: Área de protección asegurada mediante el uso de chaleco *airbag* marca Bering. Fuente: Bering

Para asegurar esta protección completa el chaleco debe de contar con una "placa" que cubra toda la parte trasera del torso del motociclista. En la parte frontal del chaleco se deben de tener *airbags* para cubrir. La parte frontal no puede ser una única placa igual que la parte dorsal ya que la parte frontal del chaleco contiene el *zipper* y otros accesorios.

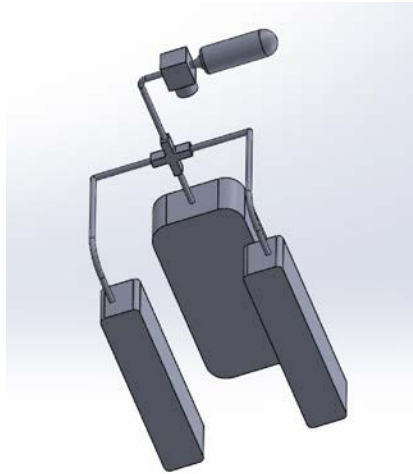


Figura 4.2: Distribución de *airbags* para una protección completa. Fuente: Elaboración propia

Mediante la distribución de *airbags* especificada en la Figura 4.2 el chaleco es capaz de brindarle protección al usuario frente a diferentes tipos de impactos y accidentes que este pueda sufrir en carretera. Un chaleco efectivo debe de proteger al usuario frente a colisiones traseras (cuando la motocicleta esta estacionada y es impactada por un vehículo), colisiones delanteras (cuando la motocicleta en movimiento impacta otro vehículo estacionario o en movimiento), deslizamientos de la motocicleta y el conductor.

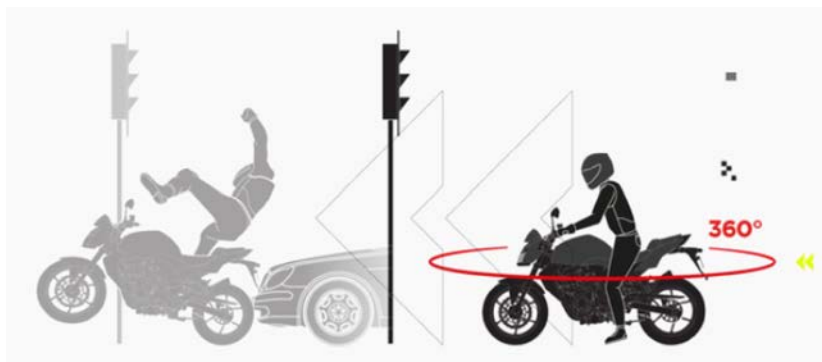


Figura 4.3: Diagrama de colisión trasera de un vehículo con una motocicleta Fuente: Dainese Product Information

Los diagramas en la Figuras 4.3, 4.4 y 4.5 los define la marca Dainese como los impactos frente a los cuales su producto ofrece protección. Estos impactos representan los diferentes escenarios de accidentes que se puede encontrar en la carretera los motociclistas.

Para realizar un diseño completo que corresponda a un chaleco funcional se identificaron cuatro subsistemas que debe de contener el chaleco. Cada subsistema corresponde a varias partes y debe de ser diseñado para que cumpla con las características de un

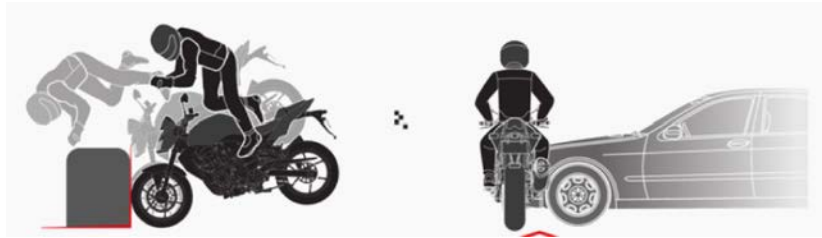


Figura 4.4: Diagrama de colisión frontal de una motocicleta con un vehículo u otro objeto. Fuente: Dainese Product Information



Figura 4.5: Diagrama de un deslizamiento por parte del motociclista. Fuente: Dainese Product Information

chaleco *airbag* funcional. Cada sistema corresponde a diferentes partes y componentes.

- Sistema Electrónico
- Sistema de Neumático
- Sistema Mecánico
- Sistema Lógico

Anteriormente se describieron algunos de los componentes que debe de formar parte de cada subsistema del chaleco. Para completar el diseño se definió concretamente las características requeridas de cada componente para poder hacer la elección. Igualmente se identificaron componentes adicionales que se requieren para cada subsistema.

4.1.1. Sistema Mecánico

El sistema Mecánico corresponde al ensamble de todos los componentes en el chaleco físico en sí. Estos componentes pueden ser puramente estéticos y que no afectan el funcionamiento del chaleco (*zipper* frontal, accesorios visuales). Pero otros componentes (tela externa del chaleco, material de los *airbags*) si son claves para el funcionamiento del chaleco en el caso de un impacto.

Durante el estudio de los modelos actualmente disponibles en el mercado se observó que los modelos de alta gama (por ejemplo Dainese y Alpinestar) fabrican sus modelos a partir de cuero. El cuero es una tela de alta gama que ofrece alta protección frente a la fricción y a la rasgadura. Igualmente es una tela de alto costo haciéndola exclusiva para los modelos más avanzados y caros.

El cuero es una tela que se obtiene a partir de la piel de algunos animales, en especial vacas o terneros. Este material tiende a ser muy cotizado debido a sus propiedades para vestimenta. El uso del cuero en vestimenta no es exclusivo en equipo de protección, como tela el cuero ofrece impermeabilidad así como otros beneficios. Sin embargo para equipo de seguridad el cuero también es muy utilizado ya que cuenta con una fuerza de tensión de 39.5 MPa y una resistencia al desgarro de 82.9 N/mm. (Meyer, M; Dietre, S; Schulz, H; et al. 2021)

Por otro lado los modelos de menor costo utilizan como tela el poliéster 600D. El denier es una unidad de medida de la densidad de masa lineal del hilo de la tela. Los deniers se calculan a partir del peso (en gramos) de 9 km de la tela especificada (ASTM D1907, 2018). Mientras más fuerte y grueso sea el material textil más alto es su valor en deniers ya que el hilo pesa más. En la práctica, medir 9000 metros lleva mucho tiempo y es poco realista. Por lo que se permite hacer una prueba más sencilla a una muestra de 900 metros y el resultado se multiplica por diez para obtener el valor del denier (Mounir, J. 2007).

De esta manera se clasifican los diferentes tipos de tela según su valor en la escala denier:

- Micro fibras

Son fibras que tienen un valor debajo de 1 denier. Esto las hace telas muy finas y no muy resistentes. El valor en denier de la seda es de 1 denier por lo que las micro fibras son telas con diámetros muy pequeños.

- Tejidos Ultraligeros

Son tejidos que tienen valores entre 10D-20D. Estas telas se usan en aplicaciones de bajo peso y que no ocupen alta resistencia mecánica. El pelo humano en promedio tiene un valor aproximado de 20d.

- Tejidos de peso estándar.

Son tejidos que tienen valores entre 40D-80D. Como su nombre lo menciona son muy comunes en aplicaciones estándar (no se requiere un peso extremadamente bajo ni una resistencia mecánica alta).

- Tejidos resistentes

Son utilizados en aplicaciones especializadas (telas resistentes a la abrasión y el desgarro). Pueden tener valores entre 100D y 600D. Un ejemplo es la tela "balística" Nylon que tiene un valor de 600D (ENWILD, s.f.)

Como se puede observar a partir de la escala especificada anteriormente la tela poliéster 600D está clasificada como un tejido resistente a la abrasión y el desgarro, lo que la hace ideal para la aplicación de chaleco *airbag*.

Para el diseño del chaleco se buscó una tela que pudiera tener un desempeño similar al de la tela de poliéster que se utiliza en los modelos comerciales, ya que la idea es tener un chaleco *airbag* que cumpla con los mismos criterios técnicos pero que este en

un rango de precio menor. La opción más acertada es la tela tipo ARMY. Esta tela es una combinación de algodón con poliéster de alta calidad. Esto le brinda una buena resistencia junto con una textura suave, ideal para algo que sea usado por las personas.

4.1.2. Sistema Neumático

El sistema neumática corresponde a los *airbag* inflables que se encuentran en el chaleco que se encargan de amortiguar el impacto recibido por el motociclista en caso de accidente. También se deben de tomar en cuenta todas las vías (mangueras) que se debe de utilizar para conectar todo el sistema. El objetivo del chaleco es que este de una protección completa al motociclista sin importar el ángulo o la dirección del impacto. Es por esto que el gas una vez liberado debe de esparcirse uniformemente por el sistema.

Como se mencionó anteriormente el sistema de *airbag* corresponde a 3 *airbags*: el principal cubre toda el área de la espalda del motociclista como se muestra en la Figura 4.6. Por otro lado también hay 2 *airbags* auxiliares que cubren el área frontal. Debido a que el chaleco tiene un sistema de *zipper* en el centro del área frontal por lo que la protección se debe de hacer a cada lado.

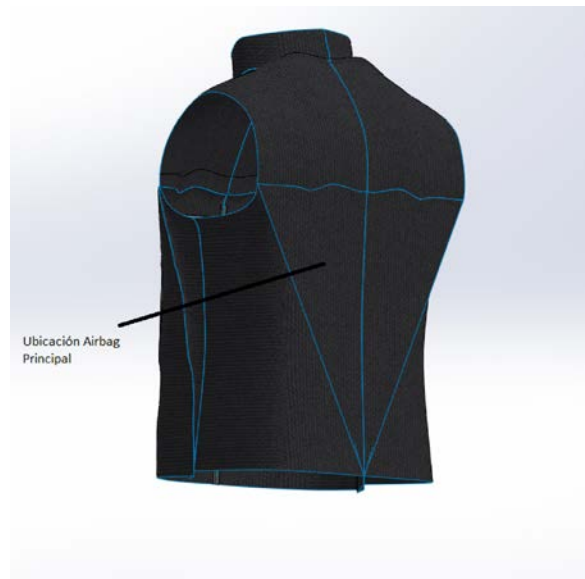


Figura 4.6: Diagrama de ubicación del *airbag* principal en modelo 3d del chaleco *airbag*. Fuente: Elaboración Propia

El panel trasero, como se puede ver cubre toda la espalda, ya que no hay ningún elemento externo que interfiera con él. Por otra parte el panel frontal si debe de ser dividido en 2 paneles simétricos a cada lado del centro según se observa en la Figura 4.7.

Con base en la investigación realizada a modelos de *airbag* comerciales se encontró que el material ideal para realizar el *airbag* es poliuretano. El poliuretano es un termoplástico comúnmente utilizado en aplicaciones de gas o aire comprimido. Esto debido



Figura 4.7: Diagrama de ubicación de los *airbags* frontales en modelo 3d del chaleco *airbag*. Fuente: Elaboración Propia

a que él no permite que el gas escape, pero aún así puede trabajar en aplicaciones flexibles (como lo es el chaleco inflable).

El poliuretano se puede encontrar en diferentes presentaciones. Esto lo hace un material muy común en muchas industrias. Entre sus presentaciones y aplicaciones más comunes se encuentran:

- Espuma flexible de baja densidad

Cómo su nombre lo indica esta espuma es suave, altamente compresible para amortiguar vibraciones u impactos. Debido a sus características es utilizada ampliamente en tapicería, ropa de cama, asientos de automóviles y camiones ya que es flexible para amoldarse a la geometría del usuario, pero mantiene su forma de manera que vuelve a su geometría original una vez que deja de ser utilizada (cuando la persona se levanta del asiento). Otra aplicación es como sustratos de plantas para jardines de techos o paredes, gracias a su bajo peso y el espacio que permiten para que las plantas desarrollen raíces.

- Elastómeros de baja densidad

Similar a la espuma los elastómeros de baja densidad permiten una deformación y compresión del material haciendo que este se adapte mejor a cualquier geometría que ejerza presión sobre él. Los elastómeros por otro lado (como el caucho) proveen mas rigidez, haciéndolos más resistentes para aplicaciones de impacto. Se utiliza por ejemplo en calzado deportivo.

- Plásticos sólidos duros

Contrario a las aplicaciones anteriores el poliuretano esta presentación no permite la deformación del material. El plástico duro es muy rígido, lo que le quita

deformación pero le agrega firmeza. Se encuentra cómo marcos de instrumentos electrónicos y piezas estructurales.

- Plásticos flexibles

Tal y como se da a entender en su nombre esta presentación es altamente flexible, sin embargo no tiene la compresibilidad que si tiene la espuma o los elastómeros. Esto hace que este tipo de plástico flexible sea muy utilizado para piezas que deben de amoldarse a una geometría variada pero deben de resistir otros tipos de esfuerzos. Muy comúnmente utilizados como correas y bandas que se encuentran a altas tensiones así como en aplicación de aire comprimido y gas cómo mangueras y ductos.

- Componentes fundidos y moldeados por inyección

Se utilizan para varios mercados: agricultura, militar, automotriz, industrial, etc. Su proceso de manufactura de fundido o moldeado por inyección le permite tomar cualquier forma que sea requerido por el usuario. (Casabona, S. 2015)

Como se mencionó anteriormente el poliuretano en su presentación de plástico flexible se utiliza para hacer mangueras y ductos para aire comprimido y gas. Hecha de poliuretano termoplástico puede trabajar en un rango de temperaturas de -20 hasta 80 grados Celsius. Soporta hasta 60 bar de presión antes de la rotura. Su acabado liso mejora el flujo a través de las mangueras. Un manguera de poliuretano pesa hasta un 40 % menos que la manguera de aire de PVC, y tiene una resistencia a la abrasión 30–50 veces más que la goma. También resiste más al envejecimiento que otros materiales como el caucho. (QIANLI, s.f.)

Es importante también definir el gas que se va a utilizar para inflar el chaleco. En el caso de los chalecos comerciales que se estudiaron todos utilizan gas CO₂. Se encontró que otro gas utilizado para aplicaciones similares (inflado de llantas de bicicleta) es el argón. Al realizar una comparación entre ambos gases se puede ver que son muy similares como se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Comparación de las propiedades de los gases argón y dióxido de carbono. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de la página Airproducts.com

	Argón	Dióxido de carbono
Peso Molecular (lb/mol)	39.9	44.0
Densidad @ 70°F – 1atm(lb/ft ³)	0.10	0.11
Volumen Específico @ 70°F – 1atm(ft ³ /lb)	9.67	8.74
Gravedad Específica	1.4	1.5

Cómo se puede observar ambos gases tiene características similares, lo que hace que su desempeño sea muy parecido. Los cartuchos de argón son, por lo general más difíciles de conseguir y por lo tanto más caros para su uso, por lo que al tener desempeños iguales es mejor utilizar cartuchos de CO₂ los cuales son los usuales en los chalecos *airbag*.

4.1.3. Sistema Electrónico

El sistema electrónico corresponde al sistema que se encarga de la detección del accidente y liberación del gas para proteger al motociclista. Este sistema es importante que tenga un tiempo de reacción rápida para asegurar que el sistema este inflado y listo antes que el motociclista impacte contra la carretera o contra otro vehículo. Este sistema corresponde a varios componentes que se conectan entre ellos de manera que permiten transmitir y recibir señales y otros datos.

- Acelerómetro
- Giroscopio
- Microprocesador
- Electroválvulas
- Baterías
- GPS

Si el chaleco va a cumplir con la funcionalidad deseada el debe de ser capaz de captar la señal enviada por los sensores, interpretarla y liberara el CO₂ en un espacio de tiempo muy corto. Por ejemplo en la Figura 4.8 se muestra que el sistema tech-air de la marca Alpinestar indica que en menos de 100 ms desde el momento en que detecta el impacto el sistema se encuentra completamente inflado y listo. Igualmente la marca Bering indica que su sistema dura menos de 0,1 s (equivalente a 100 ms) en estar completamente inflado.

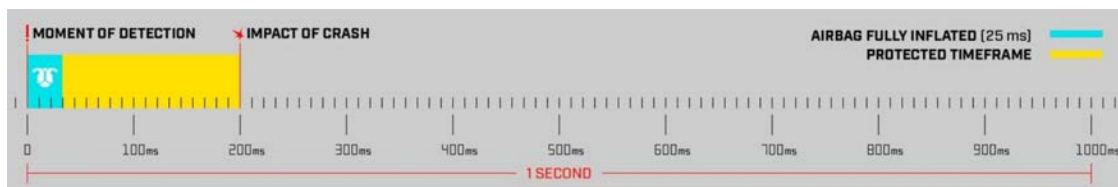


Figura 4.8: Tiempo de inflado del modelo Tech-air de la marca Alpinestar. Fuente: Alpinestar

Los primeros componentes en elegir deben de ser los sensores: acelerómetro para cambios en velocidad y giroscopio para cambios en orientación. Para ambos sensores es importante su resolución: si esta no es lo suficientemente baja entonces el sistema no captará cambios en aceleración y dirección que indican impactos. Igualmente es importante tomar en cuenta el tiempo de muestreo, este debe de ser lo suficientemente bajo para permitir al chaleco un tiempo de respuesta correcto. En el Cuadro 4.2 se muestra una comparación de las características de los acelerómetros evaluados para el chaleco *airbag*.

Cuadro 4.2: Comparación de las características de los acelerómetros. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

Marca	Modelo	Resolución del sensor (%)	Tiempo de muestreo (s)	Alimentación Eléctrica (V)	Precio (\$)	Tipo de señal
Spark Fun	MMA8452Q	2.64	0.001	2.50	11.95	Digital
Spark Fun	ADXL377	6.5	0.001	3.00	25.95	Analógico
Spark Fun	MMA8452Q	2.64	0.001	2.50	10.49	Digital
Spark Fun	LIS3DH	2.00	0.001	2.50	5.5	Digital
Ktonic	KX134-1211	2.00	0.001	2.50	12.49	Digital
Ktonic	KX132-1211	2.00	0.001	2.50	9.19	Digital

Cómo se puede observar para los acelerómetros el tiempo de muestreo es igual en todos: 0.001 s. Este tiempo permitiría al chaleco funcionar dentro de los tiempos especificados por otras marcas en el mercado. Por otro lado la resolución si varía entre los diferentes modelos. Mientras más baja la resolución mejor será la lectura por parte del sensor de los cambios de aceleración por parte del motociclista, tanto en un recorrido normal cómo en caso de impacto. Al hacer un análisis incluyendo el precio se puede observar que el modelo LIS3DH ofrece los mejores valores de resolución y tiempo al precio más bajo, por lo que es la mejor opción para el chaleco.

Cuadro 4.3: Comparación de las características de los giroscopios. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

Marca	Modelo	Resolución del sensor (%)	Tiempo de muestreo (s)	Alimentación Eléctrica (V)	Precio (\$)	Tipo de señal
Spark Fun	MPU-9250	3.00	0.035	2.50	14.95	Digital
Spark Fun	LSM6DS3	1.00	0.001	1.80	10.95	Digital
Spark Fun	ICM-20948	2.00	0.0023	2.50	16.95	Digital
Ktonic	IAM-20380	1.80	0.001	1.80	12.11	Digital
Ktonic	BMG250	3.00	0.08	2.50	3.52	Digital

Para el caso de los giroscopios se puede observar en el Cuadro 4.3 que basados en los dos parámetros más importantes (resolución y tiempo de muestreo) sólo el LSM6DS3 y el IAM-20380 son lo suficientemente buenos para servir en el chaleco sin afectar negativamente la funcionalidad del mismo. ambos tienen un tiempo de muestreo de 0.001 segundos pero el sensor LSM6DS3 tiene una resolución levemente menor (1.00 contra 1.80) por lo que es mejor para poder reconocer cambios más finos en el motociclista. Debido a esto se elige el LSM6DS3 cómo el óptimo para el chaleco *airbag* diseñado.

Ambos sensores envían las señales captadas al microprocesador que las registra, las analiza y envía una señal hacia la electroválvula en caso de ser requerido. El microprocesador es el "cerebro" del chaleco. Cuando el microprocesador recibe las señales por parte de los sensores el las analiza, si los valores se encuentran dentro de parámetros no es necesario inflar el chaleco. En caso de que los sensores envían señales anómalas el microprocesador se encarga de enviarle la señal a la electroválvula de inflar el chaleco. En el Cuadro 4.4 se muestra una comparación de las características de los microprocesadores evaluados para el chaleco *airbag*.

Cuadro 4.4: Comparación de las características de los microprocesadores. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

Marca	Modelo	Velocidad reloj (MHz)	Tiempo de muestreo (s)	Alimentación Eléctrica (V)	Precio (\$)	Tipo de señal
Arduino	UNO REV 3	16.00	0.0018	5.00	22.95	Analógica
Arduino	Mega 2560 REV 3	16.00	0.0033	5.00	41.95	Analógica
Arduino	Leonardo	16.00	0.0033	5.00	23.95	Analógica
STM32	F103x8	72.00	0.0045	3.60	4.73	Digital
National Instruments	my Rio 1900	4.00	0.002	5.00	330	Digital
STM32	F4					

Para evaluar los microprocesadores es importante evaluar tanto su velocidad reloj como el tiempo de muestreo. La velocidad reloj es la frecuencia a la que el generador de reloj de un procesador puede generar pulsos, que se utilizan para sincronizar las operaciones de sus componentes, se utiliza como indicador de la velocidad del procesador. Mientras más alta la velocidad reloj, más rápido funciona el procesador, lo que en este caso significaría menor tiempo de espera entre que el sensor reconoce el impacto y la electroválvula recibe la señal de liberar el gas.

Igualmente es importante evaluar el tiempo de muestreo ya que este tiempo también impacta la velocidad con la que el procesador envía la señal de liberación en caso de ser necesaria. En la tabla se puede observar como el F103X8 tiene una velocidad reloj muy alta, lo que ayuda a compensar el tiempo de muestreo alto que tiene. Por otro lado todos los arduino tienen la misma velocidad reloj pero difieren algunos en el tiempo de muestreo.

En el caso de las electroválvulas es importante definir que la válvula seleccionada sea capaz de ser utilizada para gases (no solo líquidos). En el Cuadro 4.5 se muestra una comparación de las características de las electroválvulas evaluadas para el chaleco *airbag*.

Cuadro 4.5: Comparación de las características de las electroválvulas. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

Marca	Modelo	Material	Trabaja con Gas	Alimentación Eléctrica (V)	Precio (\$)	NPT (in)
Spark Fun	AQT15S	PET	Sí	12.00	7.95	0.5
ZE	4F180	Plástica	No	12.00	10.95	0.5
AdaFruit	2W-160-15	Bronce	Sí	12.00	37.9	0.5

En este caso únicamente la 4F180 no puede ser utilizada por gas. Las otras tiene valores iguales de alimentación así como NPT. La diferencia esta en el material del que están hechas las electroválvulas. Mientras la AQT15S esta hecha de plástico PET, la SW-160-15 esta hecha de bronce. Esta última es más robusta debido a su material más solido, sin embargo el CO₂ no es un material altamente abrasivo ni se esta trabajando a presiones tan altas que requieran de un material como el bronce. Debido a esto la válvula AQT15S es mejor debido a su mejor precio.

El circuito requiere siempre de estar alimentado con una batería de LIPO. Estas son baterías recargables de polímero de iones de litio. Estas baterías son altamente compactas y utilizadas comúnmente en aplicaciones electrónicas como drones, robots y proyectos similares. Si bien es cierto que la batería debe de tener una capacidad alta para asegurar que el chaleco pueda ser usado en trayectos largos, también es importante

mantener el tamaño compacto. En el Cuadro 4.6 se muestra una comparación de las características de las baterías evaluadas para el chaleco *airbag*.

Cuadro 4.6: Comparación de las características de las baterías LIP. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

Marca	Modelo	Capacidad (mAh)	Calibre del cable	Alimentación Eléctrica Celda (V)	Precio (\$)	Velocidad de Descarga Continua
Gens Ace	752-00017	5300	12 AWG	3.70	95.95	30 C
Hunan Sounddon New Energy	503562	1200	26 AWG	3.75	6.95	0.2 C
King Max	-	2200	12 AWG	3.70	22	30 C
Union Fortune	85060	2400	24 AWG	3.70	12.95	0.2 C

En este caso la batería con mayor capacidad es la Gens Ace, sin embargo debido a su alto precio puede ser demasiado cara para el chaleco diseñado. Por otro lado la batería Union Fortune tiene la mayor capacidad luego de esta, con un precio mucho más bajo. Para saber cuanta capacidad se va a requerir en el sistema aún se ocupa calcular la demanda que va a tener el sistema por lo que la selección de la batería se debe de hacer cuando ya se hayan definido todos los otros componentes del sistema.

Por ultimo el aunque el GPS se encuentra aislado del circuito principal (sensores y electroválvula) aún así se debe de asegurar que el GPS seleccionado se adecue a los valores de alimentación eléctrica y capacidad del sistema. En el Cuadro 4.7 se muestra una comparación de las características de los sistemas de GPS evaluados para el chaleco *airbag*.

Cuadro 4.7: Comparación de las características de GPS. Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

Marca	Modelo	Frecuencia de la señal (MHz)	Tiempo de respuesta (ns)	Alimentación Eléctrica (V)	Precio (\$)	Tipo de señal
Spark Fun	SAM MSQ	10	30	3.00	39.95	Digital
Spark Fun	ZOE MSQ	10	30	3.00	44.95	Digital
Pulse Electronics	GPSGMSMA	1575	60	3.50	15.71	Digital
Pulse Electronics	GPSMOD1333	1575	60	3.50	10.04	Digital

Utilizando la información sobre los componentes electrónicos que se requieren se realizó un diseño del sistema electrónico requerido para el funcionamiento del chaleco. El diseño cuenta con una batería de 12 V ya que observando los componentes la electroválvula es la que requiere el mayor voltaje de alimentación (12 V). La batería se conecta a la electroválvula y mediante un Relé se controla la apertura y cierre de la misma. En este caso esa apertura y cierre se ve controlado por el microcontrolador. El relé se mantiene en posición normalmente abierto de manera que no abre la electroválvula hasta recibir la señal por parte del microcontrolador.

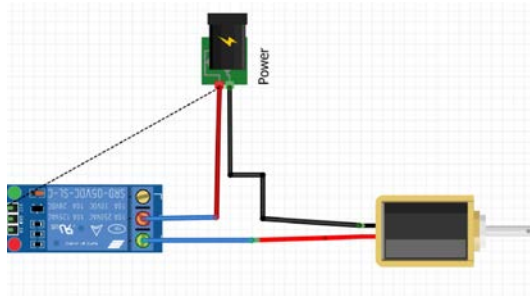


Figura 4.9: Conexión de la electroválvula y la fuente de poder . Fuente: Elaboración propia

El acelerómetro se conecta de manera que reciba el poder de la batería. Este también se conecta con el microcontrolador de manera que las señales que envía de posición y giro sean recibidas y analizadas por el mismo. Las Figuras 4.9, 4.10 y 4.11 muestran el planteo del diseño electrónico para el chaleco *airbag*.

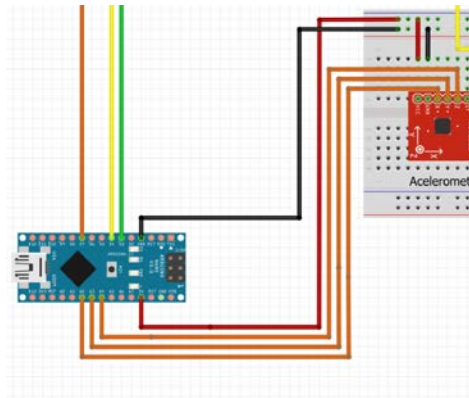


Figura 4.10: Conexión de la electroválvula y la fuente de poder . Fuente: Elaboración propia

El microcontrolador es el centro del circuito ya que el analiza las señales del acelerómetro y si detecta una anomalía (un impacto o una caída) el envía la señal de activación a la electroválvula y al GPS para que ambos se activen y protejan al conductor.

4.1.4. Sistema Lógico

El último subsistema del chaleco *airbag* corresponde a la lógica que debe de seguir el chaleco para asegurar que funcione para lo que fue diseñado: evitar heridas graves al motociclista en caso de accidente. La lógica se programa en el microprocesador de manera que una vez que este reciba las señales de los sensores y las interprete el microprocesador sepa que hacer con estos datos. Para mostrar la lógica se creó un algoritmo que es el que el microprocesador debe de seguir mediante programación.

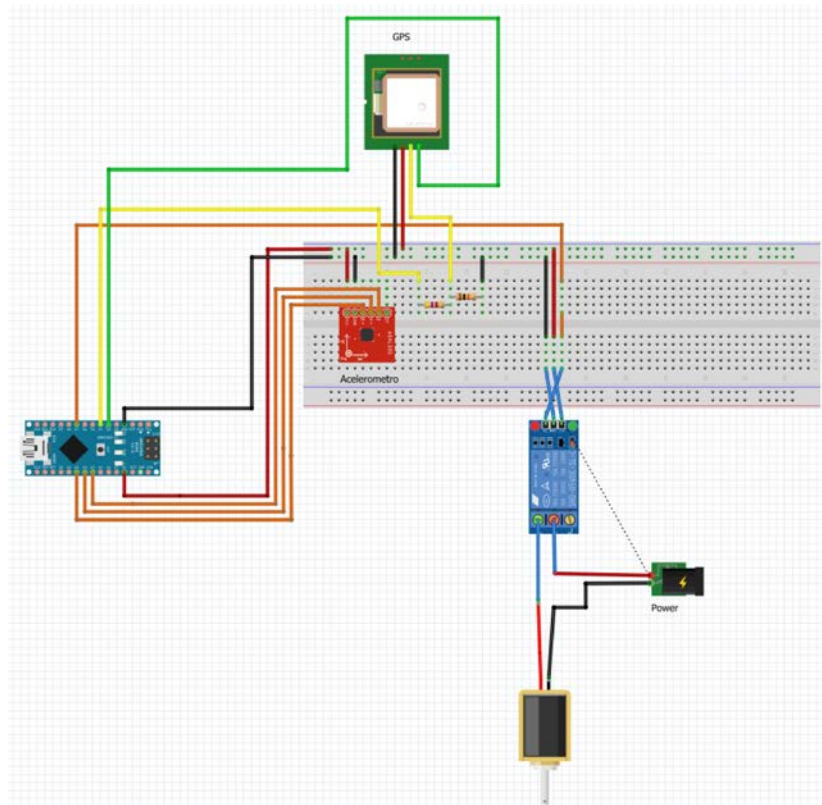


Figura 4.11: Conexión de la electroválvula y la fuente de poder . Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura en la Figura 4.12 el microprocesador es el encargado de analizar la señal enviada por el acelerómetro. Cuando esta señal se mantiene dentro del rango de la conducción regular el programa se mantiene corriendo sin cambios al chaleco. En el momento que la señal del acelerómetro se encuentra fuera de la conducción regular se envía la señal para activar la válvula solenoide e inflar los *airbags* del chaleco.

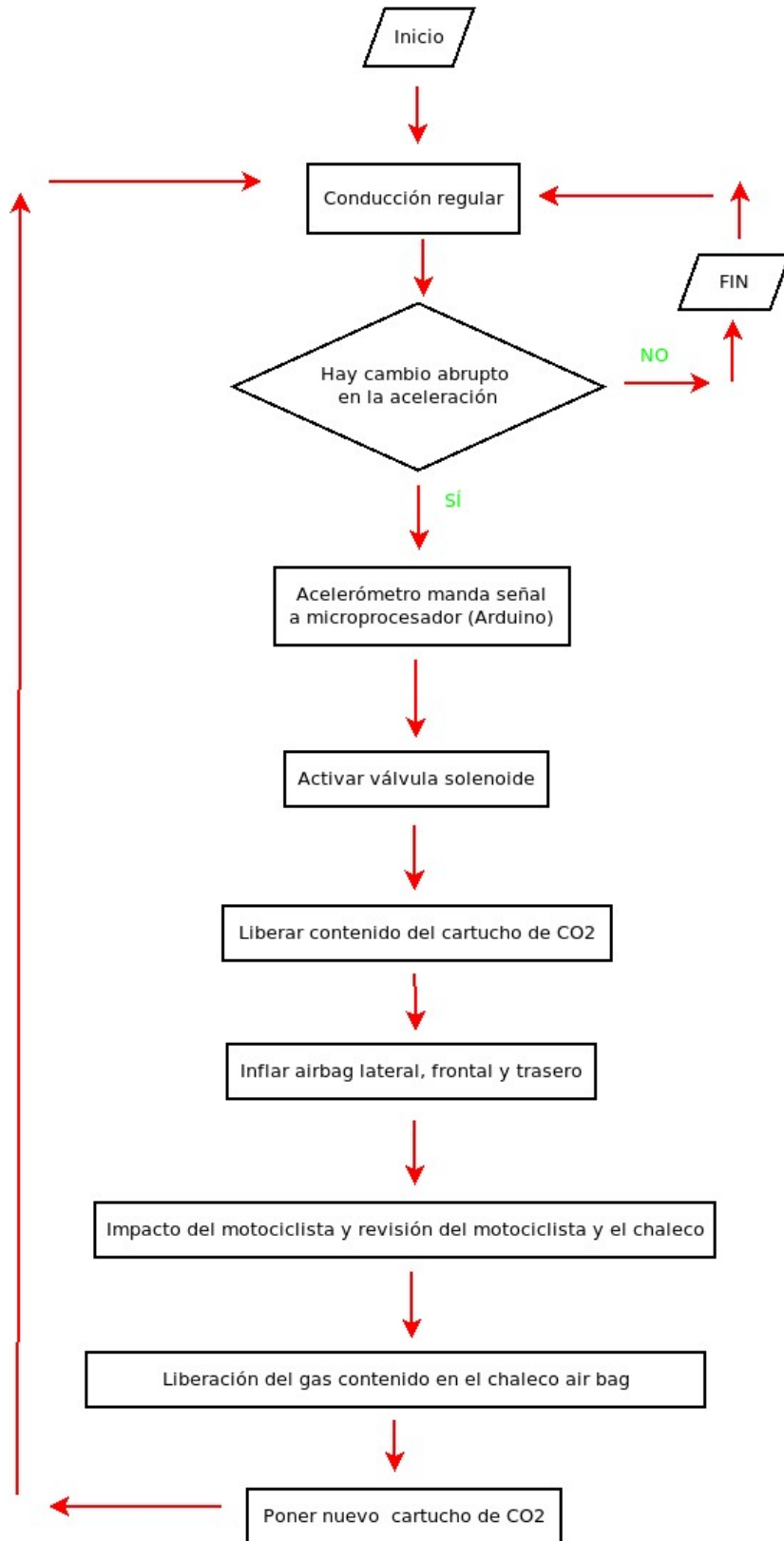


Figura 4.12: Diagrama de flujo del chaleco *airbag*. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 5

Construcción de Prototipo

Como punto de partida para este capítulo, se debe referenciar el capítulo anterior, porque con base en los planos constructivos y con las especificaciones técnicas se manda a construir el prototipo. Una recopilación breve de las descripciones generales acerca del diseño del prototipo para su construcción; los planos constructivos se encuentran en el anexo 1, la talla del chaleco es medium, se requieren cintas retroreflectivas en la parte frontal y posterior del chaleco, el color es en tela oscura (se hizo consenso con el sastre para utilizar un azul oscuro), el recubrimiento exterior es army, el recubrimiento interior es tafeta y se debe sellar con calor el recubrimiento interior y su unión con el gusano de hule para conectar las mangueras que van al sistema electrónico. En el Cuadro 5.1 se muestra una tabla resumen con las especificaciones técnicas entregadas al sastre para la confección del prototipo;

Cuadro 5.1: Resumen de especificaciones técnicas para construcción de prototipo

Variable	Especificación
Planos Constructivos	Ver Anexo 1
Talla	M
Cinta retroreflectiva en el frente	Sí lleva
Cinta retroreflectiva en la espalda	Sí lleva
Color	Azul oscuro
Recubrimiento exterior	Army
Recubrimiento interior	Tafeta
Sello con calor	Sí lleva

Con base en esta información, el sastre Miltón Alvarez procede a realizar la construcción del prototipo en su maquila en el cantón de Vásquez de Coronado en la provincia de San José de Costa Rica. Los investigadores no desarrollan la confección del prototipo porque se sale del alcance de los mismos, porque no cuentan con las habilidades técnicas para confeccionar un proyecto de esta índole, por eso se procede a contratar un sastre para llevar a cabo la confección de este prototipo. Los valores ingenieriles de

este prototipo radica en la investigación de materiales, el diseño mecánico por medio de herramientas de CAD y CAE, así como darle la lógica al sistema electrónico y mecánico. Otra limitante importante del porqué los investigadores contratan un sastre, es porque no cuentan con las herramientas de costura para llevarlo a cabo, por eso deben requerir el servicio de un tercero.

El primer paso para la construcción física del prototipo del chaleco *airbag* es el cortar la tela army para hacer el recubrimiento exterior, así como la tafeta para el recubrimiento interior, para lo cual se hace uso de un patrón de talla M, el cual se encontraba disponible en la maquila del sastre Milton Alvarez. El sastre Milton Alvarez suministró un par de imágenes mientras realizaba los cortes del army para adjuntar al trabajo, como parte de la documentación, con el objetivo de ir viendo un avance paulatino en el chaleco *airbag*. En la Figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 se puede observar el desarrollo de la construcción del prototipo.



Figura 5.1: Cortes con el patrón de costura



Figura 5.2: Cortes de tela army y tafeta

Después de completar el proceso de corte de ambas telas, se procedió con el paso de pegar las cintas retroreflectivas en ambos frentes del chaleco *airbag*, esto porque se debe realizar mediante costura y para evitar daños en la tafeta, se pega directamente al army antes de unir este mediante calor a la tafeta. Como se mencionó en otros capítulos, por un efecto de precio-calidad y disponibilidad en el país, se utilizó una cinta reflectiva de color gris de 3M ®, además esta combinaba de buena manera en el ámbito estético con el color de tela army, esto con el objetivo de que sus usuarios sintieran comodidad y atracción al producto. Se procede a mostrar dos imágenes, una con la tela army y el lugar donde se colocarán las cintas reflectivas y otra ya con las cintas colocadas ya con la costura;



Figura 5.3: Localización de cintas retroreflectivas



Figura 5.4: Localización de cintas retroreflectivas

Al culminar este punto, se procede con el sellado de la tafeta. El primer punto con respecto a este inciso, es el sellar mediante calor la tafeta, esto se hace mediante una selladora térmica que une los bordes de la tela. El primer intento de realizar esta tarea resultó infructífero, porque tanto la unión entre los bordes de la tafeta como la unión con el gusano de hule para el llenado de la tafeta, no quedaron bien hechos y se salía el aire por varios puntos, por lo tanto se tuvo que volver a realizar este punto, no obstante en esta ocasión se realizó con más detalle y detenimiento, para realizarlo correctamente. En la Figura 5.5 se muestra una imagen con la tafeta sellada de buena manera para llenarla con aire comprimido de una estación de gasolina cercana a la maquila;



Figura 5.5: Tafeta sellada con aire comprimido

Luego, se debe continuar con el último paso del ensamblaje mecánico. Este corresponde a la unión de la tafeta con el recubrimiento exterior, el cual corresponde al *army*, esto de igual manera se realiza mediante una selladora térmica. En la Figura 5.6 se procede a mostrar la imagen del modelo final del prototipo de chaleco *airbag*.



Figura 5.6: Modelo final con aire comprimido

Capítulo 6

Pruebas con Software

6.1. ANSYS WorkBench 2020 R2

Para comprobar la funcionalidad del chaleco y evaluar si este funciona para la protección de un motociclista en caso de un choque se utilizaron pruebas computacionales para determinar si la geometría actual del chaleco y el diseño resisten los impactos necesarios. Las pruebas computacionales son útiles para realizar estudios de productos sin la necesidad de utilizar el producto físico. De esta manera se pueden realizar pruebas destructivas o muy caras de una manera más sencilla y económica. En este caso para determinar si el chaleco diseñado es funcional se requiere probar que el resiste a los impactos y que protege al motociclista de una lesión. Para poder realizar esta prueba en físico se requiere tener una gran cantidad de chalecos ya que la prueba puede ser destructiva si el chaleco no soporta las cargas. Igualmente, en este caso al ser pruebas de impacto se ocupan equipos de alta tecnología que requieren una inversión muy alta. Debido a esto el alcance de este trabajo se definió utilizando únicamente pruebas computacionales para comprobar el diseño del chaleco.

Como se mencionó en la sección 2.6 hay varios diferentes softwares que se pueden utilizar para este tipo de análisis (ANSYS, EDSMAC4, entre otros). Para realizar las simulaciones de impactos se utilizó el software ANSYS, en específico se utilizó el complemento de ANSYS MECHANICAL y ANSYS Fluid Flow para estudiar el chaleco. Se decidió utilizar este software ya que es el que permite al usuario definir la mayor cantidad de variables a través de los parámetros de entrada de la simulación (per ejemplo: materiales, densidades, fuerzas, etc.). Igualmente, la capacidad de realizar diferentes tipos de simulaciones: mecánicas y de flujo permite estudiar más completo el chaleco.

La empresa ANSYS es una compañía desarrolladora de software para "diseño de producto, testeo y operación" (ANSYS, 2019). La compañía tiene una gran variedad de complementos y aditamentos que se puede utilizar para realizar muchos diferentes tipos de análisis: mecánicos, eléctricos, acústicos, de materiales, etc. ANSYS Fluid Flow es un complemento especializado para estudiar el flujo de un fluido (gaseoso o líquido) a través o alrededor de un cuerpo. En este caso utilizando el diseño del chaleco se realizó un estudio del flujo del gas argón dentro del chaleco para determinar el tiempo de

llenado y estudiar la forma en que se llena el chaleco.

El otro complemento que se utilizó fue ANSYS Mechanical. Este complemento es un software desarrollado por la empresa ANSYS. El se especializa en el estudio de estructuras mecánicas utilizando un análisis de elementos finitos. Este programa permite realizar una gran variedad de análisis de estructuras, entre los cuales se encuentran:

- Modelado avanzado de materiales (materiales compuestos o nuevos materiales)
- Análisis de vibraciones
- Análisis de mecánica explícita
- Contacto linear y no linear (impactos elásticos e inelásticos)

Debido a estas características el software ANSYS Mechanical es de gran funcionalidad para la simulación del chaleco, ya que permite modelar materiales avanzados (por ejemplo diferentes tipos de telas, igualmente permite ingresar materiales creados por el usuario con características específicas) así como permite simular contacto entre varios solidos para observar los resultados.

Según se mencionó anteriormente ANSYS usa el método de elementos finitos para resolver problemas complejos. El método de elementos finitos se basa en la descomposición de un sistema complejo en partes más pequeñas y simples que se llaman elementos finitos. Esta subdivisión se hace mediante una discretización espacial implementada mediante la construcción de una malla del objeto. Esta malla es el dominio numérico para la solución, que tiene un número finito de puntos (o nodos). La formulación del método de elementos finitos de un problema da como resultado un sistema de ecuaciones algebraicas. El método aproxima la función desconocida sobre el dominio. De esta manera logra resolver un sistema complejo con varias interacciones. (Logan, D. 2011)

6.2. Pruebas realizadas

Para determinar la funcionalidad del chaleco se realizaron 3 tipos de pruebas, cada una con la intención de determinar la capacidad del chaleco en caso de un impacto. La primera prueba que se realizó fue una prueba de llenado, mediante el programa ANSYS Fluid Flow se investigó cual era el tiempo que se requiere para que el dióxido de carbono llene toda la estructura interna del chaleco. Este valor luego se comparó con el tiempo de llenado de otros modelos para determinar si el tiempo de llenado es suficiente para proteger al usuario en caso de un impacto. Luego de la prueba de llenado se realizaron pruebas de impacto puntuales con toda la carga especificada en un punto. Estas pruebas se realizaron en distintos puntos del chaleco para determinar cual era la deformación que sufría el chaleco debido a estas cargas. Por último se realizaron pruebas de impacto distribuidas, simulando como en un impacto de vehículo como la carga se distribuye a lo largo de todo el área de contacto entre el vehículo y el chaleco.

Para las pruebas de impacto (o las pruebas de carga) se determinó que es importante estudiar la respuesta del chaleco en diferentes puntos para saber si esta era uniforme

en todos los lugares o si existen puntos críticos dentro del chaleco. Las pruebas de analizaron en 6 puntos en el chaleco:

- El área Frontal Superior
- El área Frontal Inferior
- El área Posterior Superior
- El área Posterior Inferior
- El área Lateral Derecho
- El área Lateral Izquierdo

En la fase de diseño de chaleco se construyó un diseño en 3D que se consideró el diseño final. Todas las pruebas se realizaron utilizando este modelo 3D del chaleco para que los resultados de estas fueran válidas para el prototipo físico.

6.3. Pruebas de llenado

La primera prueba que se realizó fue la prueba de llenado. En esta se simuló la entrada del gas argón dentro del chaleco. La prueba se desarrollo a partir de los parámetros de entrada que se definieron para el sistema. La presión del gas argón dentro del cartucho se definió que era de 5.86 MPa o 850 psi. Luego a partir de este valor y utilizando la ecuación de Bernoulli se obtuvo una velocidad de salida de 2450 m/s para el gas argón del cartucho. Al estar el cartucho pegado a la entrada del chaleco esta velocidad se convirtió en la velocidad de entrada del chaleco. Utilizando el software ANSYS Fluid Flow se ingresaron ambos valores y se obtuvieron los resultados del llenado.

Para el llenado el software indicó que el tiempo de llenado completo del chaleco es de 0.23 s. En este tiempo el gas argón llega a todos los puntos del chaleco. El gas ingresa por la parte frontal superior izquierda ya que ahí se diseño la colocación del cartucho. En los primeros instantes luego de que se libera el gas se llena el cuadrante superior izquierdo tanto por delante como por detrás, como se puede ver en la Figura 6.1 en la primer imagen.

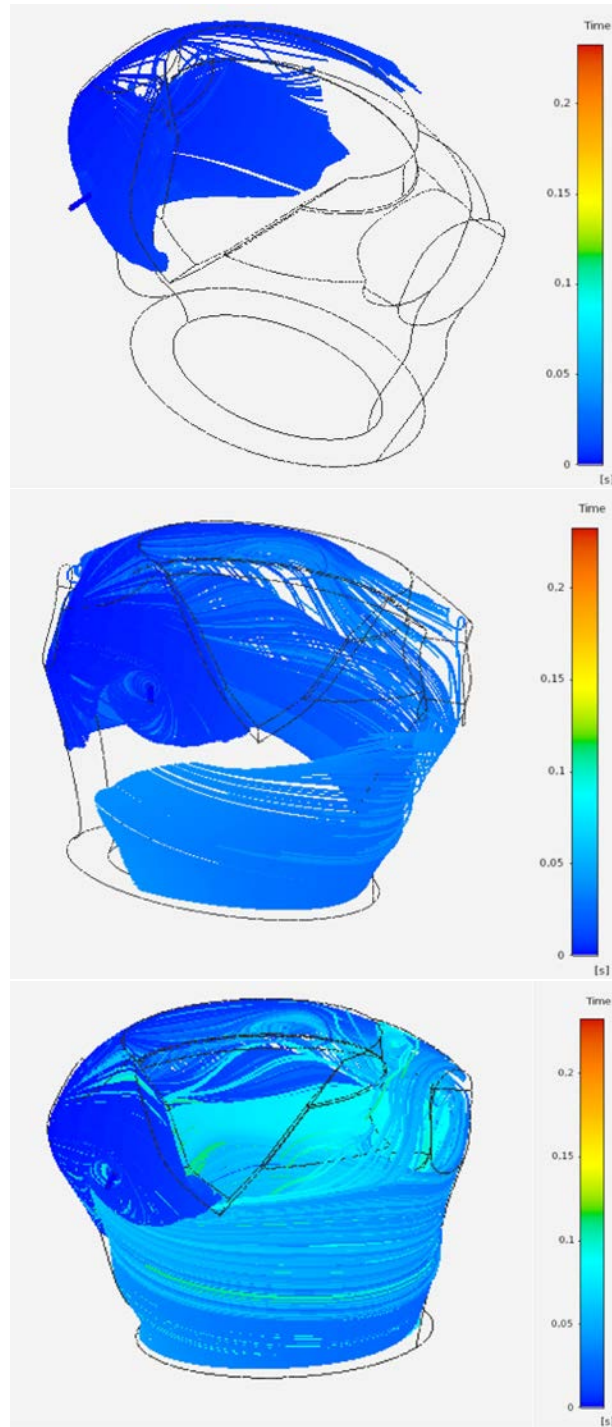


Figura 6.1: Resultado ANSYS Fluid Flow pruebas de llenado, llenado inicial luego de 0.01, 0.05 y 0.1s. Elaboración Propia

Como se puede observar en la segunda imagen de la Figura 6.1 luego de 0.05 s el chaleco ya se encuentra en su mayoría lleno (mas de un 80 % del área interior) se encuentra con gas argón. Este ya brinda al motociclista un cierto nivel de protección

sin embargo esta no es una protección suficiente ante un impacto de vehículo.

En 0.05 s ya se encuentra el gas argón tanto delante como por detrás del chaleco. Sin embargo aún faltan ciertas áreas por cubrir, por ejemplo la parte de atrás inferior y el hombro izquierdo. Se puede observar como luego de 0.1 s ya estas áreas se encuentran cubiertas por lo que ya el gas argón alcanzó todas las áreas del chaleco tal y como se puede ver en la última imagen de la Figura 6.1.

Aunque luego de 0.1 s ya el argón alcanzó todos los puntos interiores del chaleco se requiere que este este inflado en su totalidad para que brinde la protección óptima al motociclista, esto sucede 0.23 segundos después de iniciar el inflado. En la Figura 6.2 se puede ver el chaleco en su estado de llenado completo.

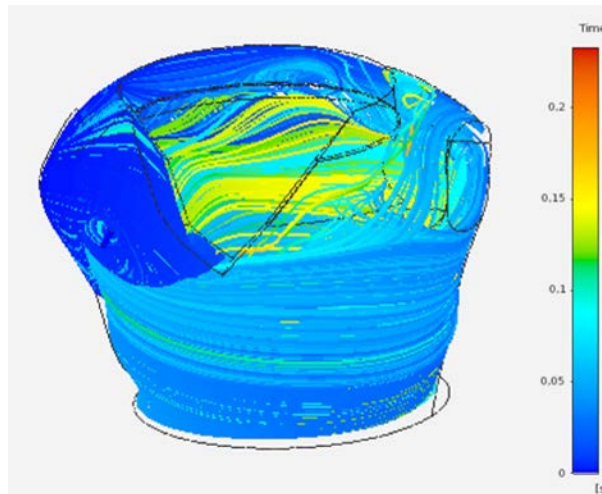


Figura 6.2: Resultado ANSYS Fluid Flow pruebas de llenado completo. Elaboración Propia

Mediante este software se pudo simular y evaluar el desempeño del chaleco en el inflado con gas argón. Más adelante en el Capítulo 7 se va a ver cómo este valor de 0.23 segundos para el llenado completo se compara con otros fabricantes de chalecos actualmente en el mercado.

6.4. Impacto Puntual

Como se mencionó anteriormente las pruebas de impacto puntual se analizaron en 3 casos: un vehículo viajando a 80 km/h; un vehículo viajando a 100 km/h y un vehículo viajando a 120 km/h. La idea era determinar si el chaleco permite al motociclista protección adecuada para evitar heridas en los 3 casos.

Al introducir la simulación se definió el material dentro del chaleco como un material personalizado. Esto debido a que debía de ingresarse un material que tuviera las características del argón presurizado. A ese material se le definió una densidad de 9.5 kg/m^3 . Utilizando ese valor se realizaron las simulaciones de impacto.

Para realizar la prueba se utilizó un vehículo con un peso de 1400 kg, ya que este representa un promedio del peso de un vehículo de carretera. Con este dato se calculó que la fuerza ejercida por un vehículo al impactar el chaleco es de aproximadamente 1100 kN.

La primer prueba que se realizó fue con un impacto puntual en el área frontal del chaleco.

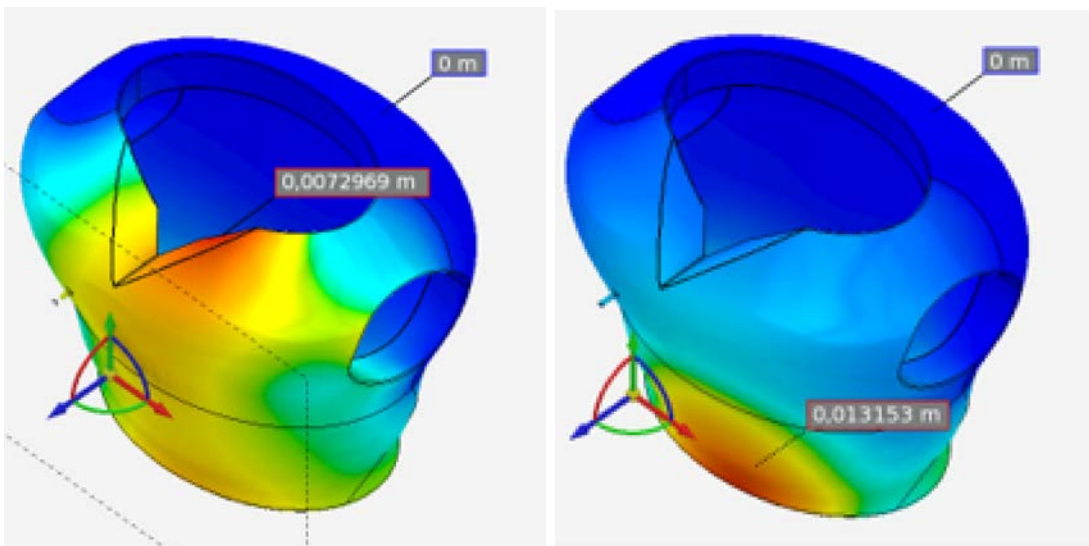


Figura 6.3: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal del chaleco a 80 km/h. Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 6.3 el programa ANSYS analiza la fuerza de entrada del impacto y da como resultado la deformación que sufriría el chaleco a partir de esa fuerza. Para el impacto frontal superior un impacto en esa área genera una deformación en el chaleco de 7,3 mm. Igualmente en la Figura 6.3 se observa como el área frontal inferior presenta un comportamiento similar, con una deformación de 13 mm. En este caso esta deformación es mayor a la deformación del impacto en el área frontal superior por lo que este caso es más crítico para el chaleco.

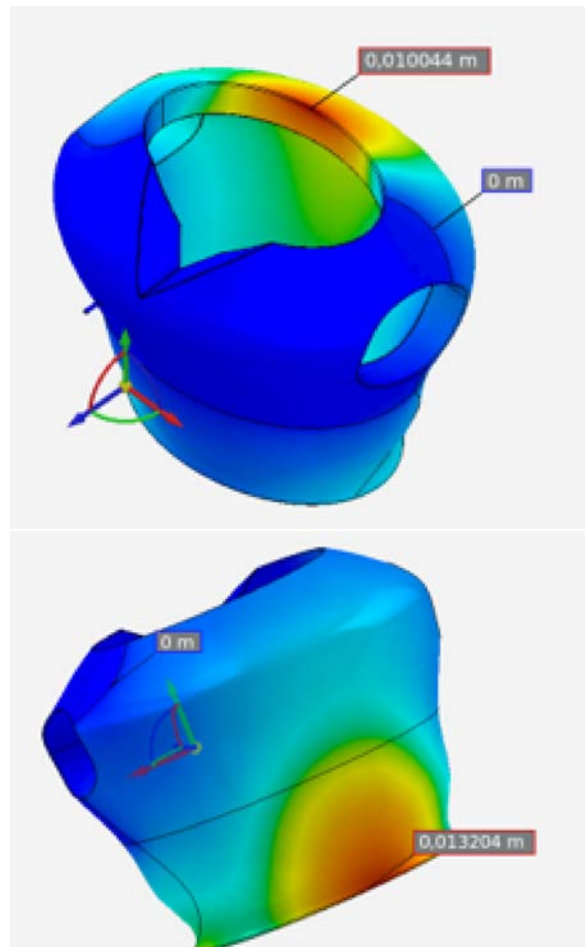


Figura 6.4: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Posterior del chaleco a 80 km/h. Elaboración Propia

En la parte posterior del chaleco se observaron igualmente resultados similares con una deformación de 10 mm para la parte superior y una deformación de 15 mm para la parte inferior ante un impacto de 80 km/h, como se puede observar en la Figura 6.4.

Por último se realizó la prueba de impacto utilizando una fuerza puntual en las áreas laterales del chaleco. En este caso se analizó una fuerza de impacto igual a la de las áreas frontal y posterior pero se ubicó la fuerza en las áreas laterales del chaleco para estudiar la deformación máxima del mismo.

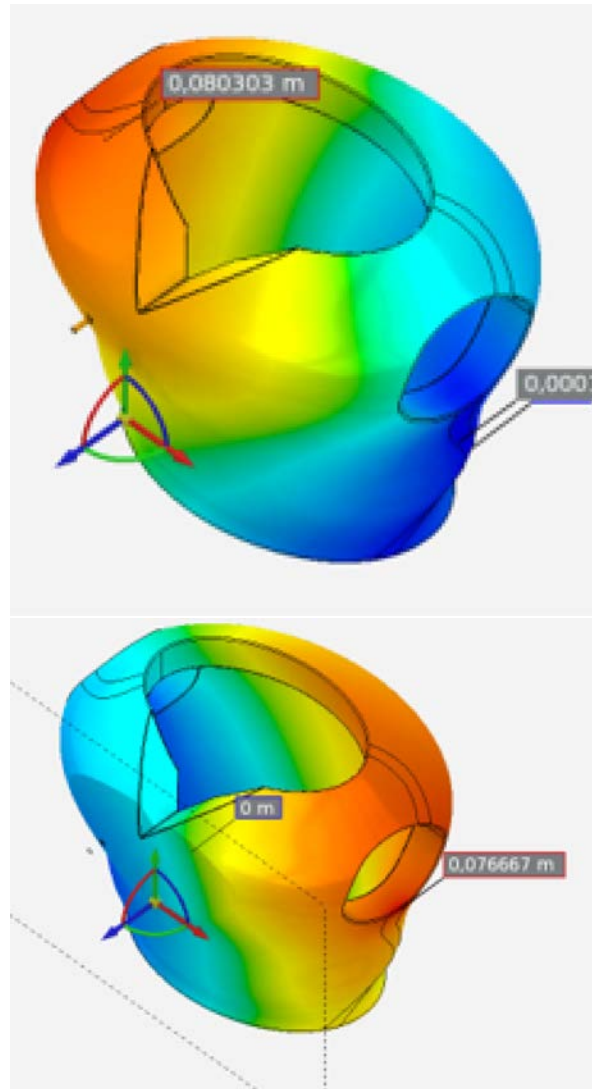


Figura 6.5: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las áreas laterales del chaleco a 80 km/h. Elaboración Propia

Cómo se puede observar en la Figura 6.5 la deformación máxima del chaleco en estas áreas es superior a la de las áreas frontal y posterior por lo que estas se consideran las áreas más críticas del chaleco. Las deformaciones en estos puntos fueron de 80 mm (derecho) y 76 mm (izquierdo).

Estas pruebas se realizaron similarmente para el impacto que genera un vehículo viajando a 100 km/h. En este caso los valores de la densidad del gas dentro del chaleco así como el peso del vehículo permanecieron con el mismo valor que se asignó inicialmente sin embargo cambió el valor de la fuerza de impacto del vehículo debido al cambio en la velocidad a la que viaja el vehículo. Se espera que las deformaciones sean mayores al caso anterior ya que la fuerza de impacto pasó de 1 100 kN a 1 700 kN.

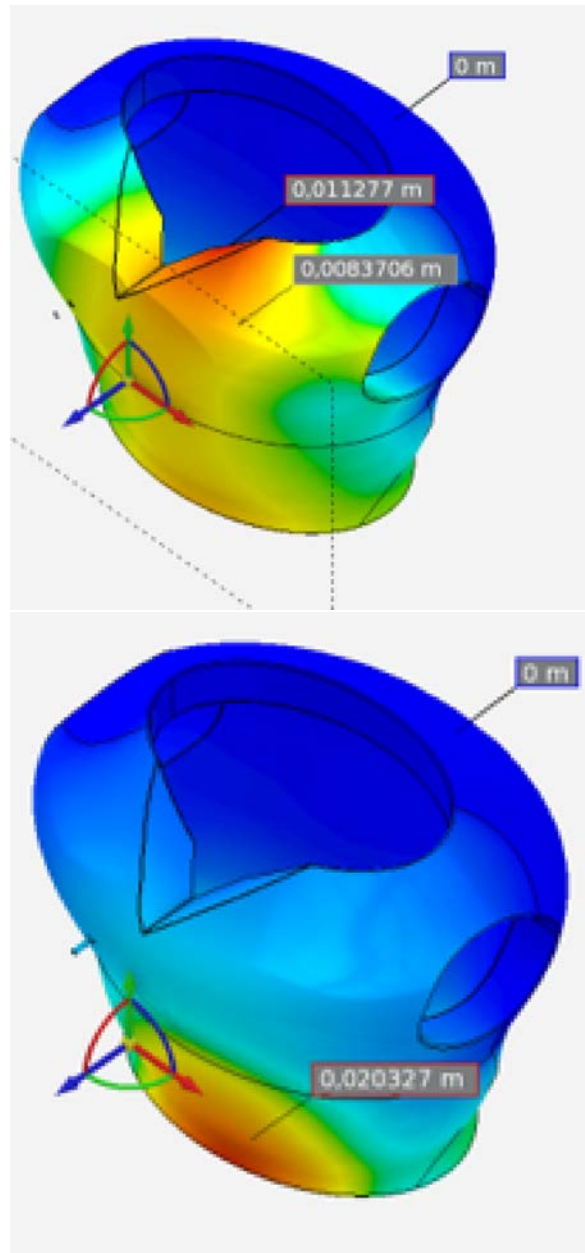


Figura 6.6: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal Superior a 100 km/h. Elaboración Propia

Cómo se puede observar en la Figura 6.6 la deformación para el caso del vehículo moviéndose a 100 km/h es mayor al caso de 80 km/h ya que obviamente al impactar el vehículo la velocidad adicional genera un impacto más fuerte con deformaciones de 11 mm (superior) y 20 mm (inferior) que son mayores respectivamente a 7 mm y 13 mm obtenidos en las pruebas computacionales para el vehículo moviéndose a 80 km/h.

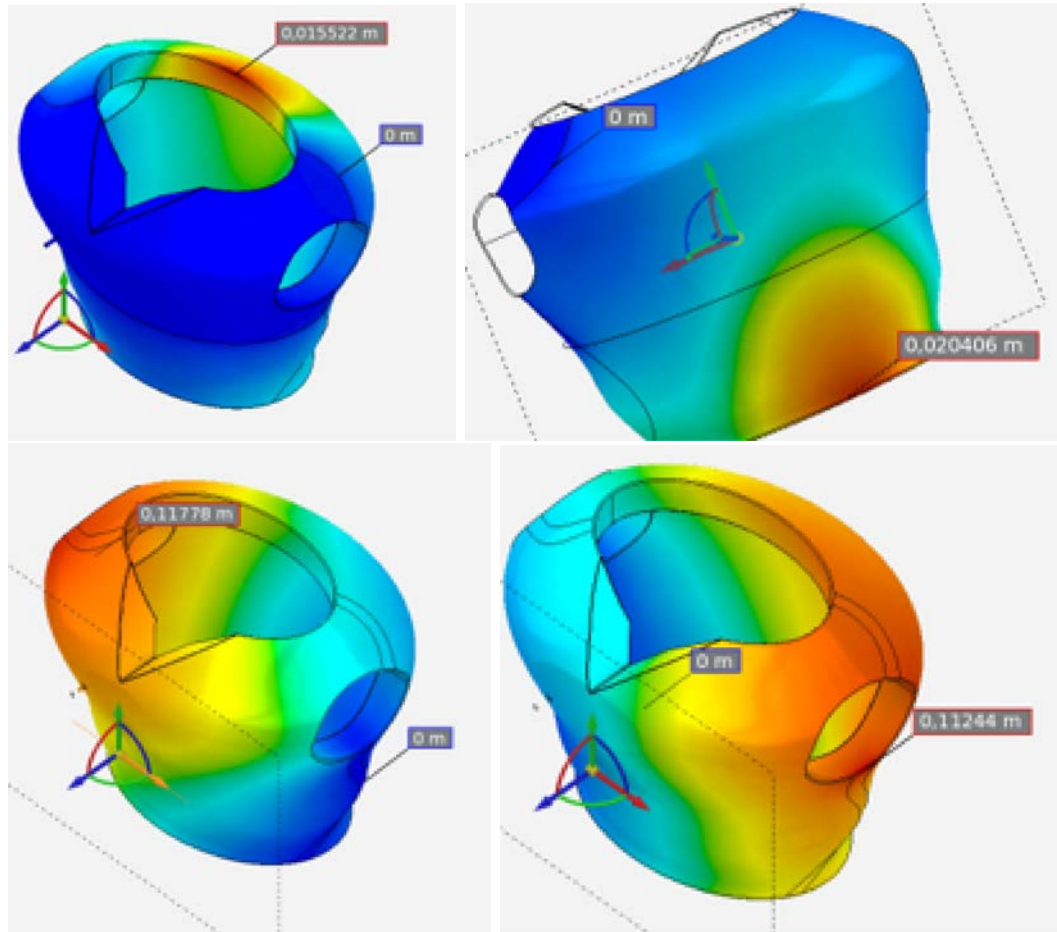


Figura 6.7: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en varias áreas del chaleco airbag con el vehículo moviéndose a 100 km/h. Elaboración Propia

En la Figura 6.7 se puede observar que en los impactos tanto posteriores superior e inferior como lateral izquierdo y derecho, la deformación para el caso de $v=100$ km/h es mayor en todos los puntos de impacto del chaleco a las deformaciones del caso $v=80$ km/h. Esto concuerda con lo visto anteriormente en los resultados de la Figura 6.6

Otra observación es que para el caso del vehículo a 100 km/h las áreas laterales permanecen siendo las más críticas con los valores de deformación mayores.

El último caso de impacto puntual se realizó aumentando la velocidad del vehículo a 120 km. Para este caso la fuerza de impacto del vehículo aumentó a 2 500 kN. Para este caso se analizaron los mismos 6 puntos de impacto que en los casos anteriores, esto para mantener una uniformidad en cuanto a las condiciones de las pruebas realizadas. Los resultados de las pruebas para el caso del vehículo moviéndose a 120 km/h a la hora de impactar al motociclista se muestran en las Figura 6.8, 6.9 y 6.10

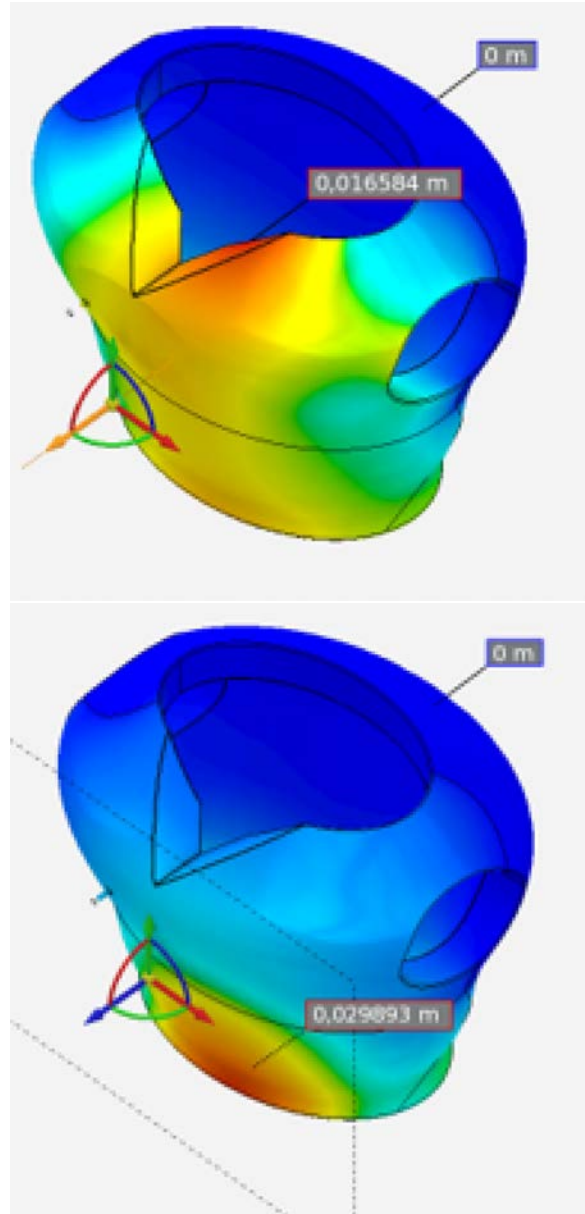


Figura 6.8: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal del chaleco con el vehículo moviéndose a 120 km/h. Elaboración Propia

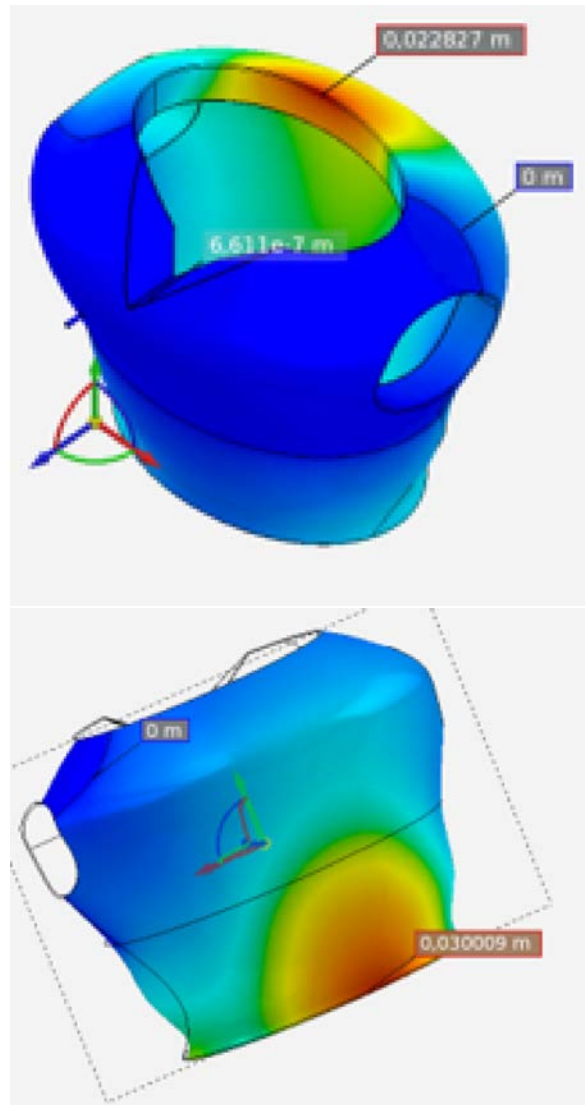


Figura 6.9: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Posterior del chaleco con el vehículo moviéndose a 120 km/h. Elaboración Propia

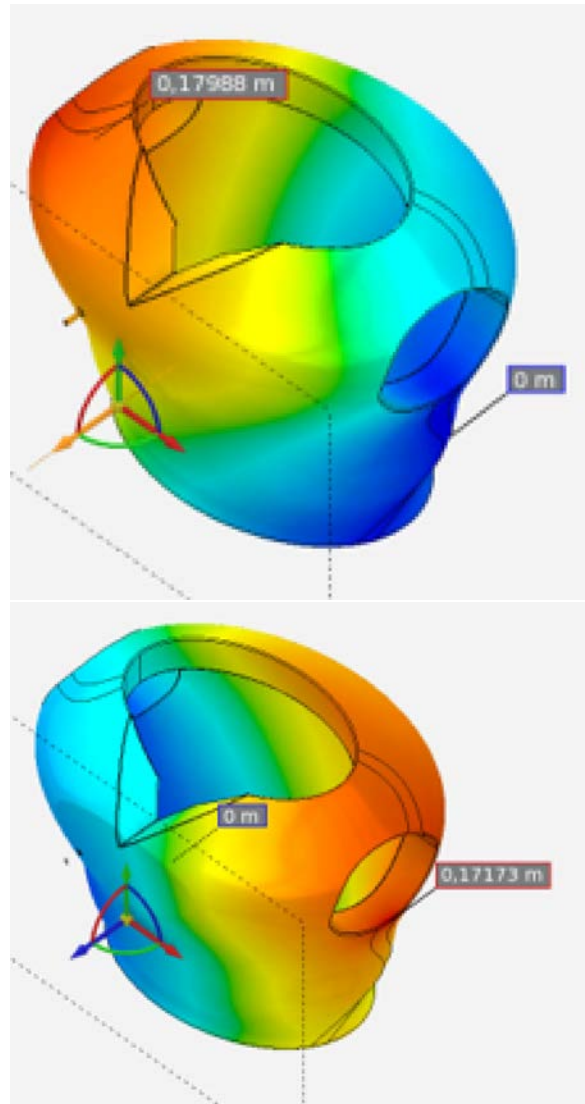


Figura 6.10: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las áreas laterales con el vehículo moviéndose a 120 km/h. Elaboración Propia

En este caso se presentan las situaciones más críticas con la velocidad del vehículo de 120 km/h en las áreas laterales del chaleco ya que tienen deformaciones muy elevadas por encima de los 17 mm. Es importante recalcar que todo el análisis y los resultados mostrados en la sección 6.4 corresponden a situaciones en las cuales el Impacto del vehículo se modelo como puntual es decir todo el impacto del vehículo concentrado en un punto central en el área de estudio del chaleco.

6.5. Impacto Distribuido

Luego del análisis utilizando las cargas puntuales se decidió realizar un análisis similar para el caso de cargas distribuidas. En este caso se utilizaron criterios similares a los de las cargas puntuales. Únicamente se varió que para los primeros análisis se especificó un punto sobre el chaleco para que se ejerciera la carga, en el segundo análisis se especificó un área en cada parte del chaleco para que la fuerza de impacto del vehículo se ejerza sobre esa área. Al igual que con las cargas puntuales se inició con el impacto de un vehículo viajando a 80 km/h.

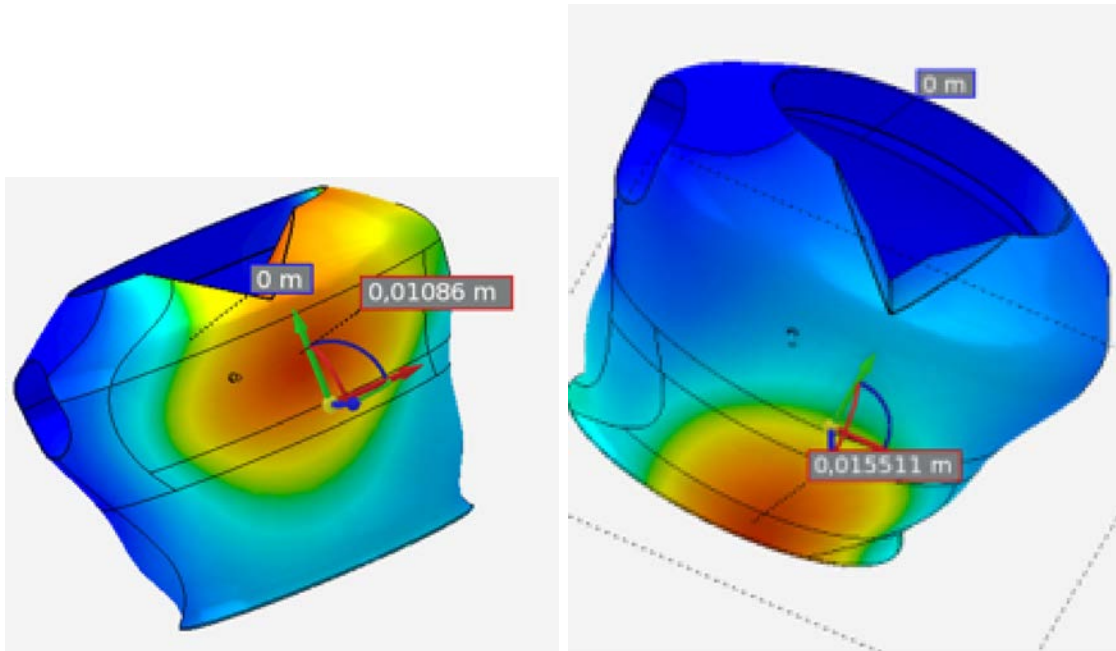


Figura 6.11: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal del chaleco para una carga distribuida de un vehículo viajando a una velocidad de 80 km/h. Elaboración Propia

Como se puede observar en la Figura 6.11 la deformación para el chaleco en esta condición fue de 10 mm para el área superior frontal del chaleco, una deformación muy similar sin embargo levemente mayor al caso de la carga puntual en el mismo caso que el vehículo se encuentra viajando a 80 km/h.

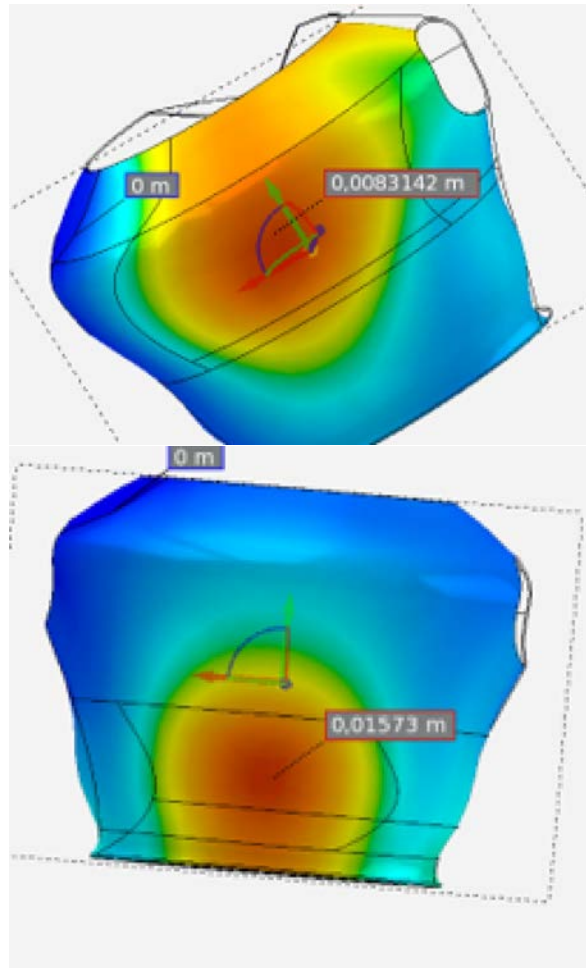


Figura 6.12: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Posterior del chaleco para una carga distribuida de un vehículo viajando a 80 km/h. Elaboración Propia

Como se puede observar en la Figura 6.11, para los análisis de impacto en el área frontal del chaleco este presenta una deformación levemente superior sin embargo para el área posterior superior la deformación del chaleco para la carga distribuido es levemente inferior tal cual se muestra en la Figura 6.12. Esto muestra la importancia de realizar el análisis para ambos casos tanto en carga puntual como en carga distribuida ya que no se sabe si existe un comportamiento distinto del chaleco para diferentes tipos de cargas. En el caso del chaleco airbag siempre es importante analizar diferentes casos y utilizar el caso más crítico a la hora de diseñar ya que de esa manera se puede asegurar que la funcionalidad del chaleco es completa para todos los posibles casos que podrían suceder.

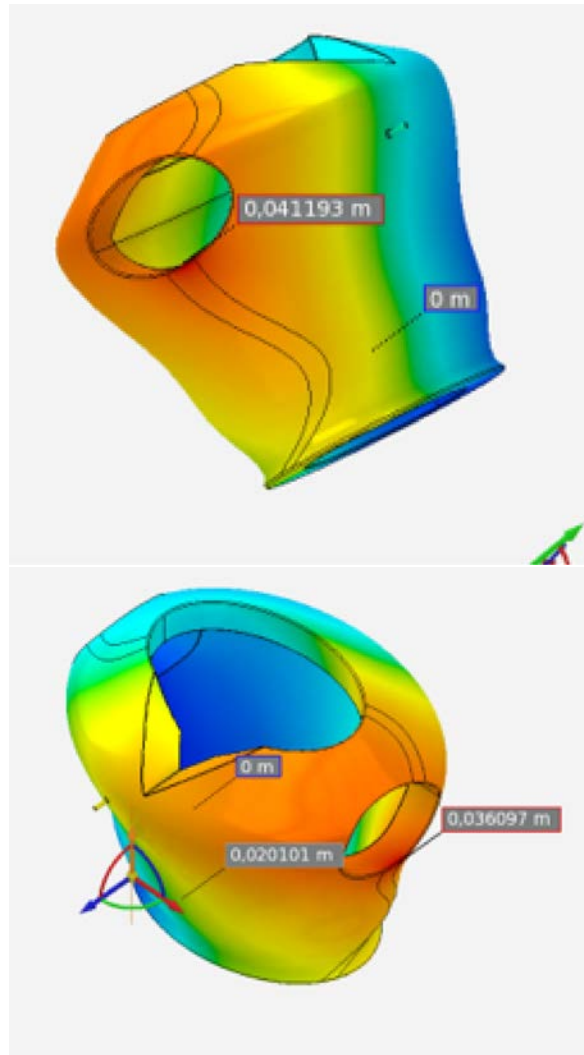


Figura 6.13: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las áreas laterales del chaleco para una carga distribuida de un vehículo viajando a 80 km/h. Elaboración Propia

Para el análisis de las cargas distribuidas se ve un comportamiento similar en las áreas laterales tal cual se ve en la Figura 6.13: estas son las que presentan una mayor deformación y por ende las áreas mas críticas del chaleco *airbag* ante un impacto.

Igual que con las cargas puntuales se eligió realizar el estudio de cargas distribuidas para 3 casos: un vehículo viajando a 80 km/h, un vehículo viajando a 100 km/h y un vehículo viajando a 120 km/h. El resultado de este análisis fue muy similar al que se realizo anteriormente cuando se tomó la carga puntual: mientras mayor es la velocidad del vehículo mayor es la deformación que sufre el chaleco.

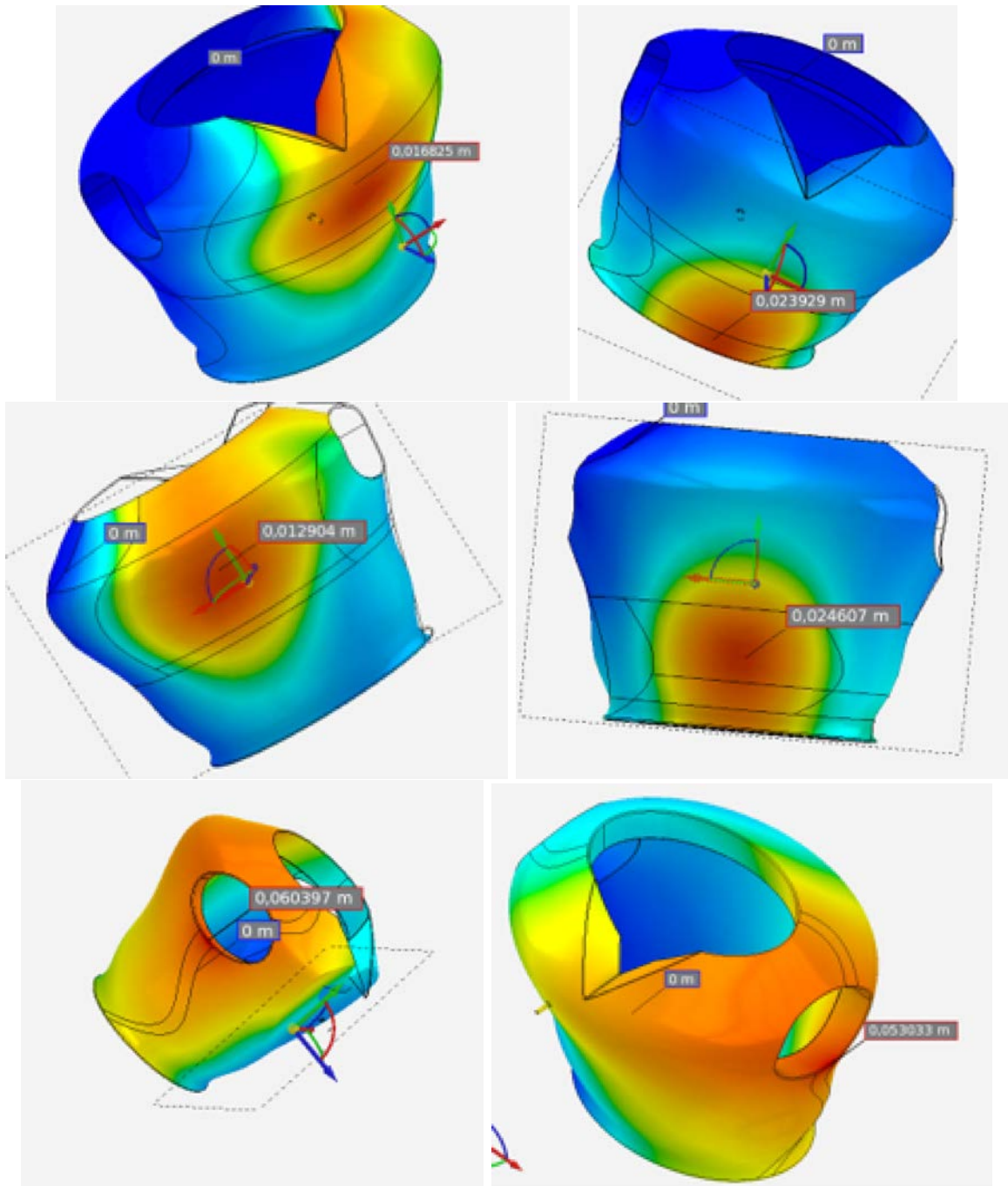


Figura 6.14: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las diferentes áreas del chaleco (frontal, posterior y laterales) para una carga distribuida de un vehículo viajando a 100 km/h. Elaboración Propia

Tanto en la Figura 6.14 como en la Figura 6.15 las áreas laterales son las que tienen un comportamiento único ya que solamente las áreas laterales presentan una disminución significativamente menor en el caso de la carga distribuida contra la carga puntual para los 3 valores de velocidad estudiados. Sin embargo estas continúan siendo el área crítica al tener la deformación más alta para cada caso de estudio.

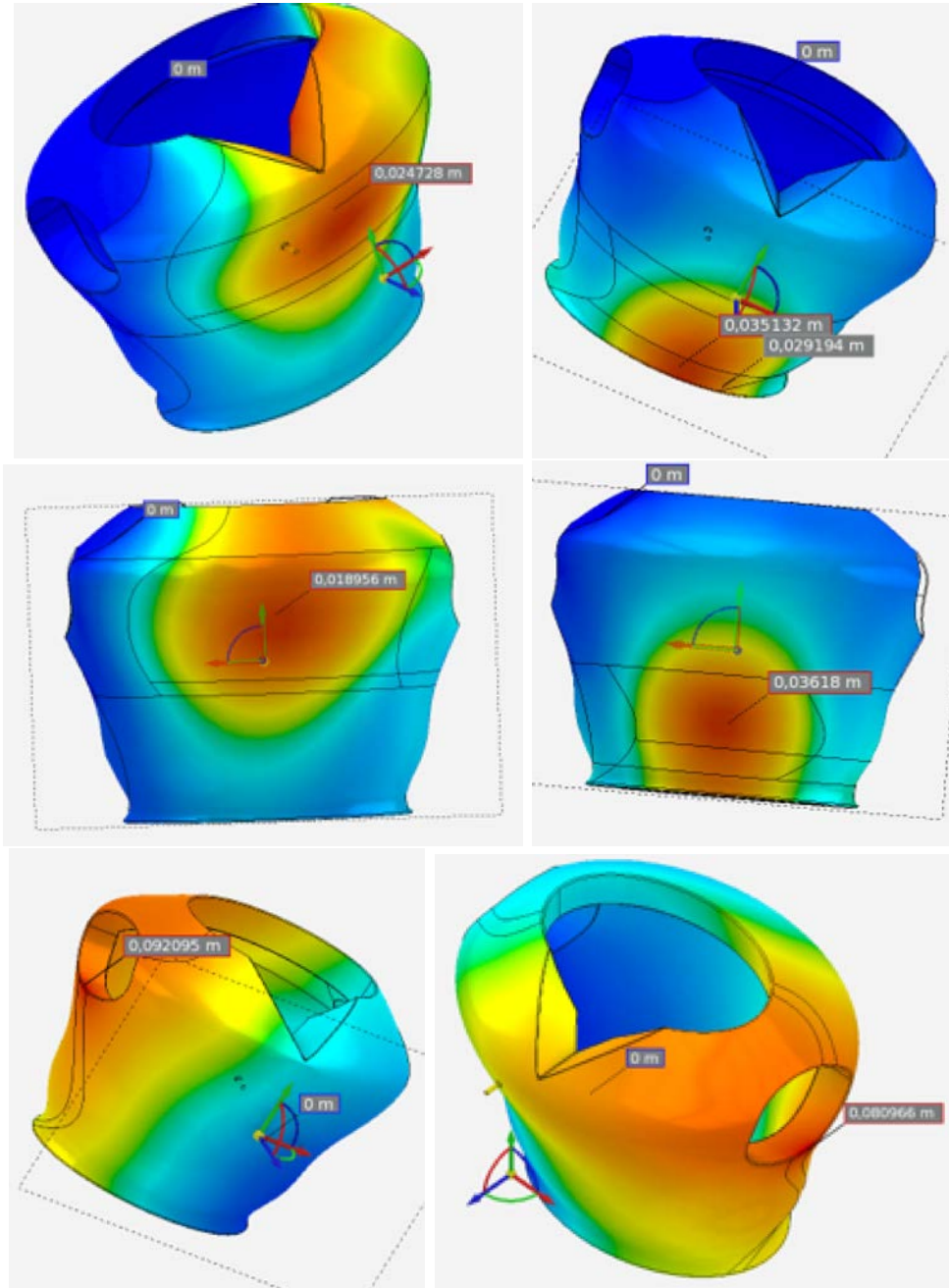


Figura 6.15: Resultado ANSYS Pruebas de Impacto en las diferentes áreas del chaleco (frontal, posterior y laterales) para una carga distribuida de un vehículo viajando a 120 km/h. Elaboración Propia

El análisis detallado de los resultados obtenidos para todas las pruebas realizadas en computadora se encuentra en el capítulo 7 del documento.

Capítulo 7

Análisis de Resultados

Como se vio en el capítulo 6, cuando se realizan las pruebas de impacto computacionales se obtuvieron como resultados la deformación máxima del chaleco ante una fuerza aplicada (en este caso por el choque). De esta manera se puede evaluar el desempeño del chaleco observando si la deformación es muy grande o si por el contrario es una deformación pequeña. La manera de definir esto es definiendo que una deformación grande es cualquier deformación que sea mayor al espesor del chaleco cuando este se encuentre inflado. Esto se define así debido a que si esta deformación es más pequeña entonces todo el impacto es recibido y amortiguado por el chaleco. Por el contrario si la deformación es mayor entonces parte del impacto se va a ver transmitido al motociclista y este podría sufrir alguna lesión o herida.

En el Cuadro 7.1 y 7.2 se presenta un resumen general de los resultados de deformación en todos los casos estudiados en el Capítulo 6.

Cuadro 7.1: Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas para la carga puntual a las 3 velocidades estudiadas. Elaboración propia (2021).

	Deformación Máxima (mm) a $v=80$ km/h	Deformación Máxima (mm) a $v=100$ km/h	Deformación Máxima (mm) a $v=120$ km/h
Frontal Superior	7.3	11.3	16.6
Frontal Inferior	13.1	20.3	30.0
Posterior Superior	10.0	15.5	22.8
Posterior Inferior	13.2	20.4	30.0
Lateral Derecho	80.3	117.8	179.9
Lateral Izquierdo	76.7	112.4	171.7

Cuadro 7.2: Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas para la carga distribuida a las 3 velocidades estudiadas. Elaboración propia (2021).

	Deformación Máxima (mm) a v=80 km/h	Deformación Máxima (mm) a v=100 km/h	Deformación Máxima (mm) a v=120 km/h
Frontal Superior	10.9	16.8	24.7
Frontal Inferior	15.5	23.9	35.1
Posterior Superior	8.3	12.9	19.0
Posterior Inferior	15.7	24.6	36.2
Lateral Derecho	41.2	60.4	92.1
Lateral Izquierdo	36.1	53.0	81.0

Observando los resultados del chaleco se puede concluir que el caso crítico para un usuario de motocicleta en el caso de un impacto es si el choque se da de manera lateral, de manera que impacte los costados del motociclista. En ambos Cuadros (Cuadro 7.1 y Cuadro 7.2) se puede observar que para cada caso de velocidad los impactos simulados en los laterales presentan una mayor deformación. En el caso de la carga puntual los impactos laterales presentan una deformación hasta 10 veces mayor que el mismo impacto en un área frontal o posterior (7.3 mm vs 77 m) tal cual se muestra en la Figura 7.1.

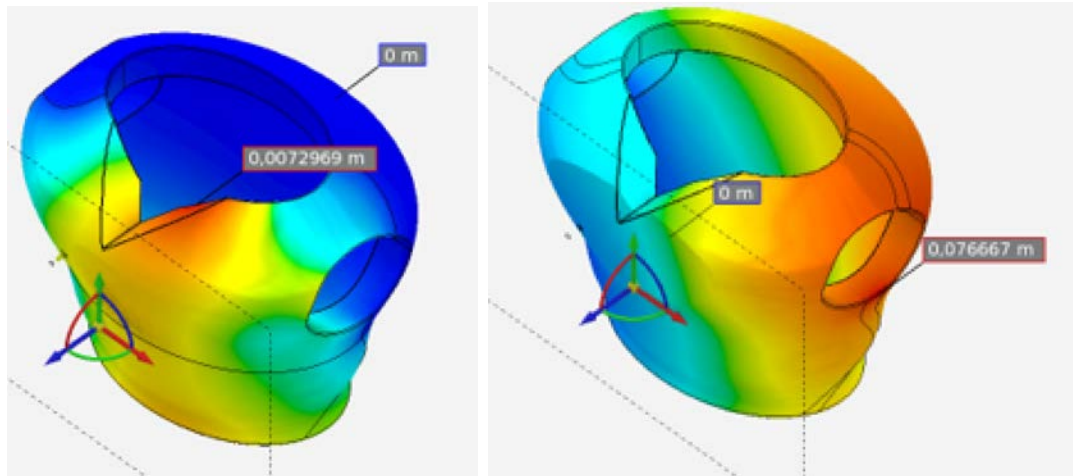


Figura 7.1: Comparación de resultado ANSYS Pruebas de Impacto en el área Frontal Superior a 80 km/h y el área lateral izquierda a 80 km/h. Deformación máxima en el área frontal es de 7.3 mm, mientras que la deformación máxima en el área lateral es de 77 mm. Elaboración Propia

Analizando la geometría del chaleco como se muestra en la Figura 7.2 se puede observar que esto es debido a que en esas partes del chaleco el área es mucho menor a las áreas frontales o inferiores. Se realizó una estimación del área en estas partes laterales y resultó ser de 0.098 metros cuadrados. Por el contrario en las áreas frontales y posteriores (tanto superior como inferior) es de 0.134 metros cuadrados. Aunque el impacto sea puntual el chaleco al recibir esta fuerza distribuye la deformación a lo largo de la superficie tanto de la tela como del gas, al haber más superficie en las áreas frontales y posterior se distribuye mejor el impacto y se genera una deformación máxima más pequeña. Cómo en las áreas laterales hay menos área se genera una deformación máxima más grande.

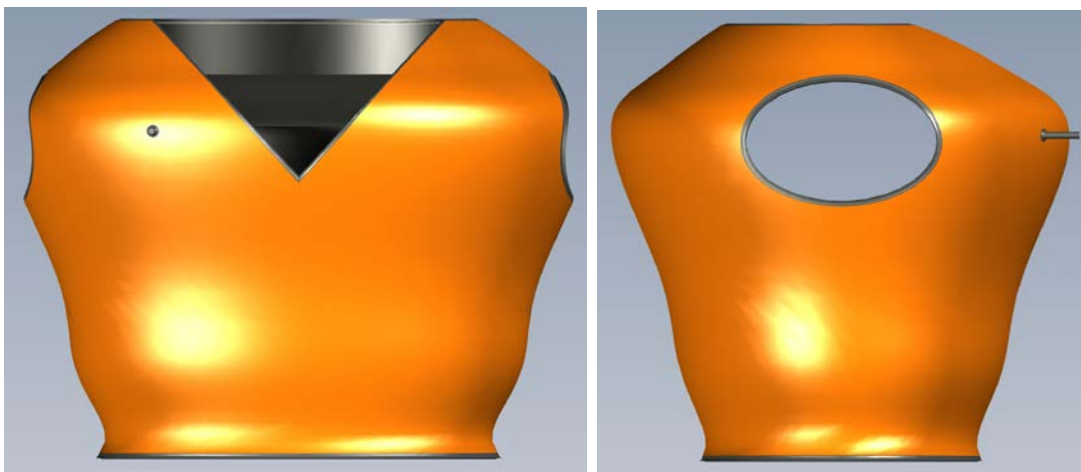


Figura 7.2: Comparación de los perfiles frontal y lateral del chaleco. Elaboración Propia

Otra observación que se puede realizar analizando los datos es que en general ambos tipos de cargas tienen importancia a la hora de analizar el chaleco. En los resultados de todas las diferentes áreas del chaleco para todos los casos evaluados (3 velocidades diferentes) se puede ver cómo la distribución de cuál deformación es mayor (carga puntual o carga distribuida) está dividida. En el Cuadro 7.3 se puede observar cuál tipo de carga tiene la deformación máxima más alta para cada tipo de impacto.

Cuadro 7.3: Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas para la carga distribuida a las 3 velocidades estudiadas. Elaboración propia (2021).

	Tipo de impacto para la Deformación Máxima a $v=80$ km/h	Tipo de impacto para la Deformación Máxima a $v=100$ km/h	Tipo de impacto para la Deformación Máxima a $v=120$ km/h
Frontal Superior	Distribuida	Distribuida	Distribuida
Frontal Inferior	Distribuida	Distribuida	Distribuida
Posterior Superior	Puntual	Puntual	Puntual
Posterior Inferior	Distribuida	Distribuida	Distribuida
Lateral Derecho	Puntual	Puntual	Puntual
Lateral Izquierdo	Puntual	Puntual	Puntual

En el Cuadro 7.3 se observa cómo en 9 casos la carga puntual tiene una deformación máxima mayor y en 9 casos la carga distribuida tiene una deformación mayor. Mediante esto se puede concluir que el tipo de carga no es el factor más determinante para saber cómo se va a comportar el chaleco. Otra observación importante en el Cuadro 7.3 es que la ubicación de la carga pesa más que el tipo de carga. Se puede observar que el tipo de carga con la deformación máxima más grande (puntual o distribuida) es igual para los 3 valores de carga para una ubicación. Esto se da en todos los casos: para una ubicación en el chaleco el mismo tipo de carga tiene la deformación máxima más grande para los 3 valores de carga.

Esto es significativo ya que se puede concluir que el aspecto crítico para evaluar la eficacia y la protección que brinda el chaleco no es el tipo de carga ni el valor de la misma sino el área de impacto dentro del chaleco. Esto debido a que dependiendo de donde se sitúe el impacto el chaleco una carga va a generar una deformación mayor o menor (más adelante se va a analizar si esta deformación es lo suficientemente pequeña para concluir que el motociclista va a estar seguro en ambos casos).

Una conclusión muy importante que se puede sacar a partir de los Cuadro 7.1 y 7.2 es que una carga puntual representa una situación más crítica para el chaleco y el motociclista que una carga distribuida. Esto se puede concluir observando los valores de deformación máxima que tiene el chaleco. De todos los valores de deformación el más alto corresponde a 179.9 mm: una carga puntual en el área lateral derecha del chaleco.

La situación mencionada anteriormente corresponde a la situación de mayor deformación del chaleco, sin embargo es importante evaluar todas las situaciones para determinar cual o cuales podrían significar un peligro para el motociclista o si todas las situaciones se pueden mitigar completamente mediante el uso del chaleco *airbag*. Para llegar a esa conclusión se debe de tomar en cuenta que para que un impacto no llegue a generar ningún daño o lesión al motociclista la deformación causada por esta debe de ser menor al espesor del chaleco inflado. Si el valor de deformación es menor entonces el chaleco es capaz de absorber el choque y el motociclista no sentiría ninguna impacto

ante el accidente. Si la deformación es mayor entonces el chaleco no mitigaría toda la fuerza del impacto y el motociclista aun se vería afectado por el choque.

Basados en el modelo 3D del chaleco diseñado se puede observar que el espesor del chaleco una vez inflado es de 62 mm. Cualquier impacto que produzca una deformación superior a este valor en el chaleco afectaría al motociclista.

Evaluando esta información y la que se tiene en los Cuadros 7.1 y 7.2 se puede observar que los únicos casos con deformaciones más altas que este valor es en el caso de cargas puntuales en las áreas laterales (tanto derecha como izquierda) para los 3 parámetros de impacto que se evaluaron.

Cuadro 7.4: Resumen de los resultados de las pruebas de choque simuladas a las 3 velocidades estudiadas cuyo caso la deformación es mayor a 62 mm. Elaboración propia (2021).

	Deformación Máxima (mm) a v=80 km/h	Deformación Máxima (mm) a v=100 km/h	Deformación Máxima (mm) a v=120 km/h
Lateral Derecho	80.3	117.8	179.9
Lateral Izquier- do	76.7	112.4	171.7

En el Cuadro 7.4 se observan los valores que se obtuvieron para las deformaciones máximas del chaleco en el caso de cargas puntuales. Todas estas se encuentran por encima de 62 milímetros por lo que el motociclista se vería afectado por estos impactos aún si esta utilizando el chaleco *airbag*. En ocasión anterior se mencionó cómo las áreas laterales del chaleco correspondían a las áreas mas propensas a deformaciones altas (para carga puntual y carga distribuida).

Debido a esto y a los resultados obtenidos en el Cuadro 7.4 se identifica que el chaleco debe de tener algún refuerzo adicional en esta área que le permita aumentar la capacidad de absorber estos impactos y que permita que el usuario (el motociclista) no se vea afectado por impactos en estas áreas.

Una propuesta es la utilización de placas delgadas de aluminio sobre el chaleco cómo una protección física adicional ante impactos en esas áreas. El aluminio es un material liviano y que tiene una media resistencia a los impactos y la abrasión. El aluminio es un metal altamente versátil que puede ser usado para muchas aplicaciones. Este viene en diferentes presentaciones y grados. Los grados se encuentran diferenciados por los materiales con los que se encuentra la aleación, como se puede observar en el Cuadro 7.5.

Cuadro 7.5: Grados de aluminio y sus propiedades. Elaboración propia a partir de la información de la página Thmasnet (2021). [1]

Grado	Elementos aleados	Proceso de fortalecimiento	Fuerza	Conformabilidad.
1000	Sin aleación (99 % Al)	por deformación	5	1
2000	Cobre	tratamiento térmico	1	4
3000	Manganeso	por deformación	3	1
4000	Silicio	depende de la aleación	3	1
5000	Magnesio	por deformación	2	1
6000	Magnesio y Silicio	tratamiento térmico	2	2
7000	Zinc	tratamiento térmico	1	4
8000	otros elementos	limitado	-	-

Cuadro 7.6: Características del Aluminio 6061. Elaboración propia a partir de la información de la página Thmasnet (2021). [1]

Densidad	2700 kg/m ³
Dureza (Brinell)	95
Resistencia a la tracción máxima	310 MPa
Resistencia al tracción	276 MPa
Módulo de elasticidad	68.9 GPa

Cómo se puede observar en el Cuadro 7.5 aluminio varía mucho dependiendo del elemento con el que esta aleado. La serie más común de aluminio (por su precio y por sus características) es el aluminio grado 6000, específicamente el 6061. Ese aluminio es muy fácil de conseguir (tanto a nivel nacional como internacional), y tiene buenas propiedades mecánicas (fuerza) y de uso (conformabilidad). Se puede ver en el Cuadro 7.5 cómo la serie 6000 es la más balanceada de los aluminios. En el Cuadro 7.6 se presentan las características del aluminio 6061.

Se puede observar que mientras este material tiene una alta resistencia y fuerza este es muy liviano. Si se toma el área del lateral del chaleco que se calculó anteriormente (0.098 metros cuadrados), y una platina de 2 mm, se tiene que cada protector lateral hecho de aluminio pesa únicamente 0.5 kg. Si se usan protectores en ambos costados el peso del chaleco subiría únicamente 1 kg. Esto es importante ya que se busca aumentar la confiabilidad y seguridad del chaleco sin comprometer el atractivo que este pueda tener con los clientes.

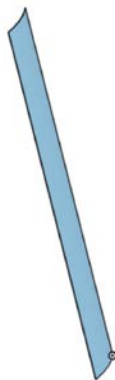


Figura 7.3: Ejemplo placa lateral de aluminio para chaleco *airbag*. Elaboración Propia

Las placas de aluminio son utilizadas actualmente por algunas compañías de jackets para motociclistas (sin *airbag*), por lo que la elección de material es usada en la industria para otros dispositivos similares.

Igualmente la inclusión de esta placa no generarían un incremento sustancial en el precio ya que como dijimos el aluminio 6061 es material muy común y por ende es muy barato. Estas placas de aluminio incrementarían únicamente dos mil colones el precio de cada unidad del chaleco (según precios obtenidos para el aluminio de aceros cartago (s.a. 2021)) por lo que esto sigue siendo un precio cómodo.

El diseño de estas placas sería curvo para que se amueble a la geometría actual del chaleco y de la persona. Como se puede observar en la Figura 7.3 la propuesta para el modelo cubre ambos laterales de manera que ayudan al chaleco *airbag* a soportar impactos puntuales y distribuidos en el área lateral.

Capítulo 8

Estudio de Rentabilidad Económica

Si bien es cierto el chaleco *airbag* es un dispositivo de seguridad altamente eficiente y con una gran variedad de aplicaciones en la seguridad vial de Costa Rica este no se ha comercializado de manera masiva en el territorio nacional. Cómo se mencionó en la sección del marco teórico así como en el capítulo 4 existen productos de este tipo ya en el mercado internacional. Marcas reconocidas de accesorios para motocicletas como Dainese y Alpinestar tienen a la venta versiones de alta gama del chaleco *airbag*. otras empresas como Hit-Air, Helite y Bering tienen versiones más económicas disponibles sin embargo manteniendo un alto nivel de calidad.

Para determinar si la propuesta de chaleco *airbag* es indicada se debe de evaluar tanto sus resultados técnicos cómo sus costos. De esta manera se puede identificar si el chaleco es una posible solución al problema de inseguridad en la carretera para motociclistas. En el Cuadro 8.1 se puede ver una tabla con los precios de venta de los chalecos actualmente en el mercado. Es importante recalcar que al ser productos internacionales a este precio se debe de sumar el costo de importación y nacionalización del producto.

Cuadro 8.1: Resumen de precio de chalecos *airbag* en el mercado. Elaboración propia con datos de las páginas oficiales (2021).

Marca	Modelo	Precio (\$)
Helite	Turtle 2	600
Alpinestar	Tech Air	2000
Hit Air	MV6	500
Bering	C-Protect	500
Dainese	D-Air	1600

Cómo se puede observar (y tal y cómo se había indicado en capítulos anteriores), hay dos clases de productos. Los modelos de las marcas Dainese y Alpinestar son modelos de alta gama. Ambas marcas son marcas reconocidas en el mundo del motociclismo por ser marcas de vestimenta para motociclistas. Ambas marcas se han posicionado en el mercado con la venta de indumentaria y accesorios para motociclistas tanto aficionados

cómo deportistas (pilotos de diferentes categorías de carreras). Ambas marcas se especializan en el desarrollo y venta de indumentaria para motociclistas (casco, pantalones, jackets, casco, etc.). En este caso los chalecos *airbags* son dirigidos hacia usuarios de motocicletas de mucho poder y alta velocidad que buscan protegerse mejor durante sus traslados en moto. El Cuadro 2.1 muestra como estos modelos de alto precio tienen características similares: están hechos de cuero y cuentan con un sistema de accionamiento de dióxido de carbono automático (mediante sensores y un sistema de procesamiento). Otra característica de estos modelos es que ambos son modelos tipo chaqueta, es decir que también ofrecen protección al usuario en el área de los brazos (aunque esta área no se infla).

Por otro lado se tienen los modelos de bajo costo. Estos modelos son desarrollados por marcas menos reconocidas y que se dedican únicamente al desarrollo y venta de chalecos *airbag*. Las marcas Hit-Air, Helite y Bering no tienen una línea de indumentaria y accesorios tan amplia sino que se dedican únicamente a los chalecos *airbag*. Estos chalecos también se inflan usando dióxido de carbono sin embargo el sistema de accionamiento es manual (mediante un cordón que une al motociclista con la motocicleta). El material de estos chalecos es poliéster ya que tiene un rendimiento similar al cuero a un menor costo. Por último estos estilos todos son de tipo chaleco sin protección en los brazos.

El objetivo del prototipo de chaleco *airbag* no es únicamente que el cumpla con los requerimientos y objetivos técnicos y de seguridad para ser un aditamento funcional y efectivo sino que también tenga un costo moderado de manera que pueda ser una opción para la mayoría de los motociclistas costarricenses.

Para realizar el estudio de costos se hicieron varios ejercicios. Primero se realizó un cálculo del precio de un chaleco basado en el material y equipo utilizado así como el proceso de manufactura. Luego se realizó una comparación con modelos actuales y otros equipos de protección para identificar si el precio del chaleco permite que este sea una opción competitiva en el mercado de protección a motociclistas.

El primer ejercicio que se realizó fue un estudio de costos del chaleco. Para esto se completó el Cuadro 8.2 con los costos de los componentes que se utilizaron en la confección del prototipo.

Cuadro 8.2: Resumen de costo de los materiales del chaleco. Elaboración propia (2021).

Componente	Costo (colones)
Arduino Mega	27 720
MPU-6050 Acelerómetro	4 517
Válvula solenoide	22 717
GPS Módulo	8 417
Cable	1 300
Cartucho de CO ₂	1 300
Tela poliéster	6 500
Mano de obra cosido	13 000
Mano de Obra ensamble	10 000
Sub total	95 471
Ganancia	28 641
Total	124 112

En la tabla anterior se puede observar que los materiales utilizados para la construcción del chaleco y su costo. Como se puede observar los componentes electrónicos son los más costosos. Esto es debido a que estos componentes son los más complejos del chaleco.

El cálculo de precio se hizo en Colones ya que esta es la moneda que se utilizó para realizar las compras y los pagos. Igualmente al ser un producto pensado para comercializar en Costa Rica es importante mantener el cálculo en Colones moneda de uso en Costa Rica. Para poder realizar una comparación directa con los productos actualmente en el mercado se hizo una conversión a Dolares usando el tipo de cambio en 640 colones (tipo de cambio al 24 Agosto 2022). Se puede resaltar que todos los componentes utilizados para el prototipo así como los elegidos a lo largo del análisis realizado en los capítulos anteriores se puede comprar de proveedores locales en Costa Rica. Esto representa una ventaja muy importante ya que de esta manera no se debe de agregar ningún costo para transporte internacional de materiales. Igualmente lo que son costos por impuestos de aduanas, o cualquier otro tipo de proceso de importación no se debe de considerar.

Cómo parte de la elección de materiales se priorizó que los materiales fueran universales así como fáciles de conseguir. Para esto se tuvo un balance entre el rendimiento de estos materiales (ya que siempre lo más importante que se tuvo en cuenta con el chaleco fue que este fuera funcional y efectivo), con el costo de estos mismos. La idea fue construir un chaleco que cumpliera los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para proveer la protección adecuada al motociclista sin comprometer el aspecto económico y que este se volviera muy caro. Esto debido a que se quiere que el chaleco sea una opción viable para motociclistas de Costa Rica (tanto en precio como en seguridad).

Como se puede observar en el Cuadro 8.2 el costo del chaleco se encuentra en los 124 112 colones, convertido a 195 Dolares. Este precio incluye todos los materiales y procesos utilizados así como el porcentaje de ganancia. Comparando este valor con los que se muestran en el Cuadro 8.1 se puede observar que el precio es menor a

todos los chalecos comerciales actualmente. Esto hace que el chaleco sea una opción económicamente cómoda manteniendo un alto estándar de seguridad para usuarios.

Mediante una búsqueda en internet de compras de accesorios de seguridad para motociclistas se encontró que el precio de un casco para motociclistas varía entre \$ 65 y \$ 300 dolares. Igualmente el precio de una chaqueta de protección para motos (no inflable) varía entre los \$ 95 y los \$ 400. [2]. Observando estos datos se puede observar que el chaleco tiene un precio similar a otros componentes de seguridad para motociclistas. Esto lo coloca en un rango adecuado para su objetivo y lo convierte en una alternativa para el consumidor que pueda estar interesado en protegerse de accidentes.

Capítulo 9

Conclusiones y Recomendaciones

Basados en toda la información recolectada a través de la investigación y de las pruebas que se realizaron, en conjunto con el diseño y prototipo del chaleco que se construyó a lo largo del trabajo se lograron obtener una serie de conclusiones que se pueden aplicar al chaleco y al trabajo en general. Igualmente se identificaron una serie de recomendaciones que se deben aplicar para determinar de una manera concluyente que el chaleco es un producto efectivo y que puede ser comercializado para su uso intencionado. Estas conclusiones se obtuvieron a través del análisis de los resultados realizado en el capítulo 8. Sin embargo también se obtuvieron conclusiones y recomendaciones de la información que se recopiló a lo largo de todo el trabajo, incluyendo el análisis económico y la investigación del marco teórico.

La primera conclusión es que se considera que el diseño del chaleco es parcialmente correcto. Se describe de esta manera ya que en el capítulo 7 se observó cómo la respuesta del chaleco a la mayoría de los impactos (28 de los 36 casos) fue correcta. En todos estos casos ante el impacto el motociclista que estuviera utilizando el chaleco no sufriría ningún daño ni herida. Los casos en los que el chaleco no ofrece la protección adecuada son para un caso específico y se mencionara como parte de las recomendaciones.

La segunda conclusión que se puede obtener del estudio es que el chaleco es un implemento de seguridad necesario. Durante la investigación se observó como las estadísticas de choques y heridas o muertes para motociclistas en Costa Rica van cada vez en aumento: cada año que pasa el número de motociclistas incrementa. Con esto incrementan los accidentes de motociclistas y los heridos a causa de estos incidentes. En vista de que esto no se ve que vaya a cambiar en el futuro los implementos como el chaleco *airbag* se hacen muy necesarios introducirlos en el mercado para ofrecerle al consumidor una alternativa más para proteger su vida y su integridad física ante estos incidentes.

La tercera conclusión a la que se puede llegar es que el chaleco diseñado y del que se realizó el prototipo es un chaleco funcional y correcto. Al realizar el prototipo del chaleco de manera física integrando los sistemas y creando una muestra se observó como el chaleco que se diseñó si es apropiado para la construcción. Se puede observar en el capítulo 5 como se logró pasar de los planos y dibujos que se habían realizado del chaleco a un diseño funcional y que cumplía con su llenado.

La cuarta conclusión a la que se llegó es que los componentes elegidos para el chaleco son correctos y se pueden usar para construir un chaleco *airbag* efectivo. Cómo se observó en la parte del marco teórico así como en capítulos anteriores los materiales elegidos para el chaleco fueron seleccionados basados en la disponibilidad de esos materiales en el mercado local así como sus características para lograr que el chaleco funcione correctamente. Basados en los resultados de los capítulos de resultados u análisis, así como el capítulo de construcción del chaleco se puede observar cómo los materiales resultaron correctos ya que se logro completar la construcción del chaleco *airbag* sin ningún problema. Luego con los resultados de las simulaciones de choque y de inflado se puede observar cómo el chaleco responde correctamente las diferentes simulaciones de impacto que se utilizaron.

La quinta conclusión es que el costo del chaleco es uno que sí permite que sea una opción viable para el público general. Desde un inicio se observó que este tipo de implementos de seguridad ya existen en el mercado mundial. Por lo que la idea no era solo realizar el diseño y prototipo ya que se sabe que estos dispositivos se usan y son efectivos para proteger a los motociclistas de los impactos. Este trabajo busco combinar el rendimiento de un chaleco *airbag* automático con un costo lo suficientemente bajo para que este fuera una opción de compra viable para el publico motociclista en general en Costa Rica. En un país donde la cantidad de motociclistas van en aumento, tanto motociclistas recreativos, como personas que usan su motocicletas para transportarse al trabajo o para realizar negocios (entregas a domicilio, mensajeros) es importante que la mayor cantidad de personas tengan acceso a dispositivos de seguridad que ayuden a salvaguardar su integridad física. Mediante el diseño y la idea de chaleco que se estudio en este trabajo se concluyo que este tiene un costo competitivo que permitiría que gran cantidad de personas opten por este tipo de dispositivos. El precio que se estudio para el chaleco en el capitulo 8 muestra que el tiene un precio similar a otros dispositivos de seguridad como cascos para motociclistas, lo que permitiría que este dispositivo se vuelva parte de la indumentaria "básica" de seguridad para todos los motociclistas.

Como sexta recomendación se incluye optimizar el diseño y la construcción del circuito electrónico a manera de mejorar la portabilidad del mismo. En el caso del circuito electrónico es importante que este sea lo más liviano y pequeño posible para que no incomode al usuario del chaleco. En el caso del estudio realizado en el capitulo 4 se realizo una simulación y esquematización del circuito usando una tarjeta de prueba para mostrar donde irían los contactos, sin embargo para la producción y diseño del chaleco se recomienda crear una tarjeta de soldado especifica. Esta tarjeta de soldado se crearía únicamente con las posiciones y conexiones que requiere el circuito para funcionar de manera que se optimiza el espacio y el peso de la misma.

La primera recomendación en este caso sería con respecto al diseño del chaleco. Cómo se mencionó en la primera conclusión el desempeño del chaleco fue ideal para casi todos los casos estudiados. Sin embargo si hubo unos casos en especifico (cargas puntuales en los costados del chaleco) que incluso con el chaleco podrían generar alguna lesión o afectación en el chaleco. En el capítulo de análisis de resultados se propuso que el chaleco tuviera 2 paneles laterales de aluminio para reforzar las áreas más criticas del chaleco. Es por eso que se recomienda incluir esta idea en el diseño del chaleco para

que este sea una protección efectiva ante todo tipo de impactos.

La segunda recomendación es que con el prototipo final se debe de pasar a pruebas de impacto físicas para determinar que los datos obtenidos en las pruebas simuladas sean congruentes con los datos finales. En el capítulo anterior se habló del NCAP y todos las pruebas físicas que se encuentran normalizadas como parte de la evaluación. Si bien es cierto que mediante las pruebas simuladas se puede obtener datos altamente precisos y que son muy similares a los reales, es importante realizar las pruebas en físico para comprobar estos datos. Estas pruebas requieren de una gran cantidad de equipo especializado así como gran cantidad de medidores para obtener los datos que muestren que el chaleco es efectivo. Debido a esto estas no formaron parte del alcance de este trabajo. Sin embargo se considera que estas pruebas deberían de ser el próximo paso para confirmar la seguridad del chaleco y poder certificar que este es un dispositivo que puede salvar vidas.

Bibliografía

- [1] *Types of Aluminium*. (s.f.) Recuperado de <https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/types-of-aluminum/>
- [2] Catálogo. (s.f.) todomotoshop.com. Costa Rica. Recuperado de <https://www.todomotoshop.com/todo>
- [3] AA 6061/Platina (s.f.) recuperado de AC/ <https://aceroscartago.com/carrito/producto/division-metales/aluminio/ac-aa-6061-platina/>
- [4] Aikyo, Y; Akashi T; Ishiwatari M; Kobayashi, Y; Sato, T. (17 de Noviembre del 2015). *Study on Airbag Concept for Motorcycles Using Opposing Vehicle as Reaction Structure*. SAE International Journal of Engines. Volumen 9.
- [5] Floyd T. (2006). *Fundamentos de Sistemas Digitales*. Madrid, España. Pearson education. 9na edición. Capítulo 9.
- [6] Haug, E. (1981) .Engineering safety analysis via destructive numerical experiments”, EUROMECH 121, Polish Academy of Sciences, Engineering Transactions 29(1), 39–49.
- [7] Ley de Tránsito por vías públicas terrestres y seguridad vial. *La Gaceta* N° 207, de 26 de octubre del 2012. N° 9078. Recuperado de <https://www.csv.go.cr/normativa-de-transito>
- [8] National Highway Traffic Safety Administration. (2018). Summary of vehicle occupant protection and motorcycle laws, Fourteenth edition, Current as of December 31, 2015 (Report No. DOT HS 812 405). Washington, DC: Author.
- [9] Latin NCAP. (2019) *ASSESSMENT PROTOCOL – OVERALL RATING. Version 1.1.0*. Recuperado de <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos>
- [10] Lam, J; Dennis, N; Dix, J; Lambrecht, M; & Ootani, R. (2014). *A Comparison of the NHTSA Research Offset Oblique and Small Overlap Impact Tests and the IIHS Moderate and Small Overlap Tests*. SAE International Journal of Transportation Safety, 2(2), 268-278. Recuperado de: from www.jstor.org/stable/26169283
- [11] Jacob Fish and Ted Belytschko, (2007). *A First Course in Finite Elements by Jacob Fish and Ted Belytschko*, Wiley.

- [12] R. Courant, (1943). *Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations*
- [13] Kostopoulos V; Y.P Markopoulos, G Giannopoulos, D.E Vlachos. *Finite element analysis of impact damage response of composite motorcycle safety helmets*. Composites Part B: Engineering, Volume 33, Issue 2, 2002, Pages 99-107, ISSN 1359-8368
- [14] Berg, F & Rücker, P & Gärtner, M & König, J & Automobil, D. & Germany, G & Grzebieta, R. & Zou, R. (2005). Motorcycle impacts into roadside barriers-real world accident studies, crash tests, and simulations carried out in germany and australia. Proceedings of the 19th International Conference on the ESV.
- [15] Skousen, P. (2011). *Valve Handbook*. Nueva York, Estados Unidos. Mc-Graw Hill education. 1ra edición. Capítulo 1 y 5.
- [16] Chin, R. (2018). *Arduino and Raspberry Pi Sensor Projects for the Evil Genius*. Nueva York, Estados Unidos. Mc-Graw Hill education. 2da edición. Capítulo 2.
- [17] Cengel, Y; Cimbala J. (2006). *Mecánica de fluidos*. México DF: México. Mc Graw Hill Education. 1ra edición. Capítulo 1 (Pág 2-4).
- [18] Hit Air. (s.f). *Product manual - Operation and Structure* . Tokio, Japón. Recuperado de: <https://www.hit-air.com/en/motorcycle/support/manual/function.html>
- [19] Solano-Cambronero, D. (2019). *Anuario Estadístico de Accidentes de Tránsito con Víctimas en Costa Rica en 2017*. Costa Rica: COSEVI. Volumen 2. Capítulo 3 (Pág 44-74). Recuperado de: <https://www.csv.go.cr/estadisticas>
- [20] Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid, España. Pearson Education. 3ra edición. Capítulo 1.
- [21] Zandin, K. (2001). *Maynard's Industrial Engineering Handbook*. Nueva York, Estados Unidos. Mc Graw Hill Education. 5ta edición. Capítulo 109.
- [22] Gutierrez-Pulido, H; De la Vara-Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México DF, México. Mc Graw Hill Education. 2da edición. Capítulo 1 y 5.
- [23] Piersol, A; Paez, T. (2010). *Harris' Shock and Vibration Handbook*. Nueva York, Estados Unidos. Mc Graw Hill Education. 6ta edición. Capítulo 10.
- [24] National Instruments [NI]. (s.f). *Software Requerido y Opcional para Programar NI myRIO*. Estados Unidos. Recuperado de: <http://www.ni.com/product-documentation/14603/es/>
- [25] Norris, D. (2018). *Programming with STM32: Getting Started with the Nucleo Board and C/C++*. Nueva York, Estados Unidos. Mc Graw Hill Education. 1ra edición. Capítulo 1.

- [26] *Vest MV6*. (s.f.) Recuperado de <https://www.hit-air.com/en/motorcycle/lineup/jacketvest/jacketvesttype04/vest-mv6.html>
- [27] Helite (2018) *User Guide Motorcycle* Recuperado de <http://helite.fr.s1.bwagence.fr/files/USER%20GUIDE%20Helite%20Motorcycle%202018.pdf>
- [28] *C-Protect Air* (s.f.) Recuperado de <https://bering.fr/airbag/cpa.html>
- [29] *Technical Sheet* (s.f.) Recuperado de <https://www.dainese.com/us/en/smart-jacket/smart-jacket-technical-sheet.html>
- [30] *Techair* (s.f.) Recuperado de <https://www.alpinestars.com/pages/tech-air>
- [31] Jaouadi, M., Msehli, S., Sakli, F (Setiembre 2007). "Evaluation of real yarn diameter". The Indian Textile Journal.
- Cuero Meyer, M.; Dietrich, S.; Schulz, H.; Mondschein, A. Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial Leather, and Trendy Alternatives. *Coatings* 2021, 11, 226. <https://doi.org/10.3390/coatings11020226>
- [32] "ASTM D1907 / D1907M – 12 Standard Test Method for Linear Density of Yarn (Yarn Number) by the Skein Method". Astm.org
- [33] *Fabric Deiner Explained*(s.f.) Recuperado de <https://www.enwild.com/videos/fabric-denier-explained>
- [34] Casabona, S. (2015) *One Material to Rule Them All - The polyurethane in the Footwear Industry*. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/one-material-rule-them-all-polyurethane-footwear-servet-casabona/>
- [35] QIANLI (s.f.) *Reinforced PU air hose*. Recuperado de <https://www.air-hose.org/material/reinforced-pu-air-hose.html>
- [36] AIRPRUDUCTS (s.f.) *Physical Properties for Argon*. Recuperado de <http://www.airproducts.com/Products/Gases/gas-facts/physical-properties/physical-properties-argon.aspx>
- [37] AIRPRUDUCTS (s.f.) *Physical Properties for Carbon Dioxide*. Recuperado de <http://www.airproducts.com/Products/Gases/gas-facts/physical-properties/physical-properties-carbon-dioxide.aspx>
- [38] Daryl L. Logan (2011). A first course in the finite element method. Cengage Learning. ISBN 978-0495668251.
- [39] ANSYS. (2019) Annual Report 2019. Recuperado de [https://s24.q4cdn.com/308583981/files/doc_financials/2019/ar/2019-Annual-Report-\(Final\).pdf](https://s24.q4cdn.com/308583981/files/doc_financials/2019/ar/2019-Annual-Report-(Final).pdf)
- [40] Sellen, M. (2021) *How Much Does a Car Weigh? (Average Weight by Car Type)*. Recuperado de <https://mechanicbase.com/cars/car-weight/>

- [41] *Forces in Car Crashes*(2005) Recuperado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/carc.html>

Apéndices

Apéndice A.1. Diagramas de Construcción



Item No	Description	Cantidad
1	CO2 Cartridge	1
2	Electrovalvula	1
3	Manguera	1
4	Acelerometro	1
5	Bateria	1
6	Arduino Mega	1
7	Fitinaria	N/A
8	Cable	N/A
9	Material Textil	N/A

B

B

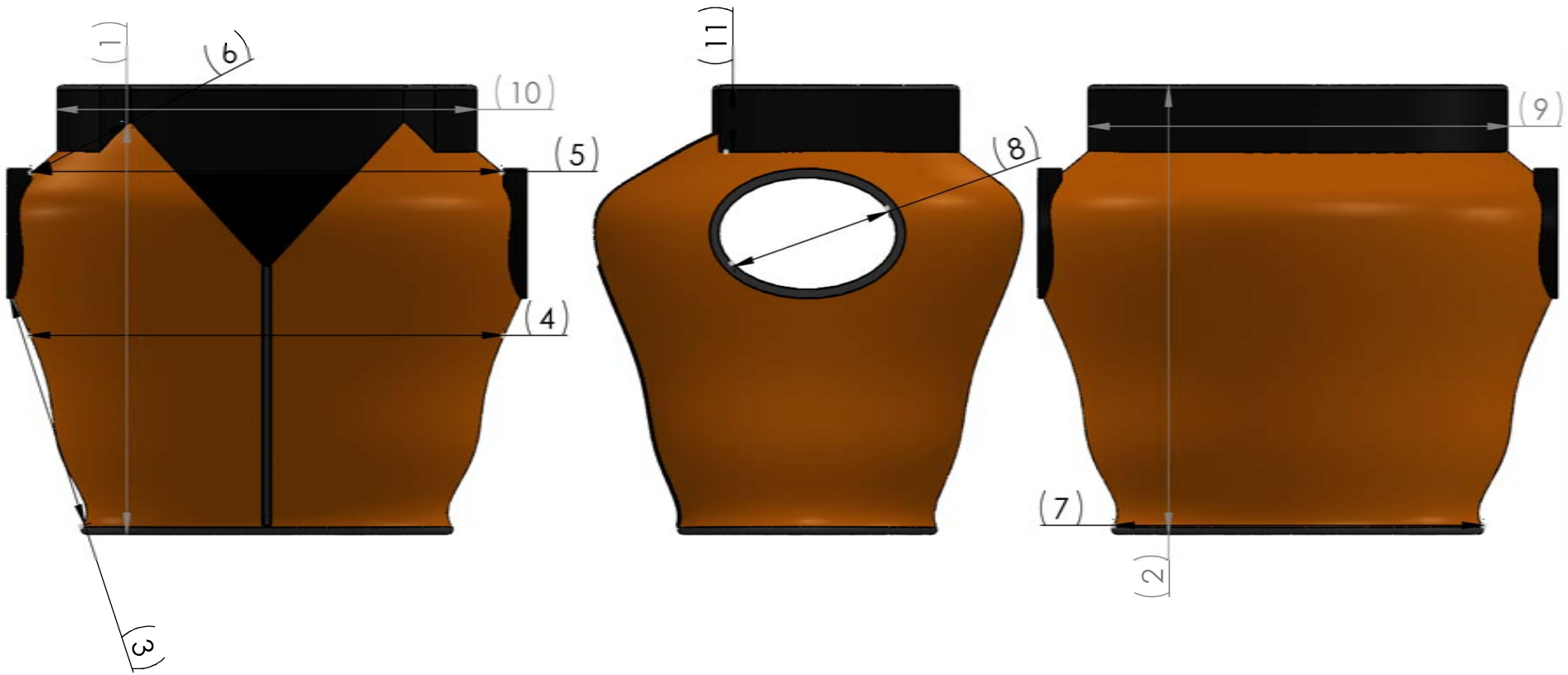
A

A

		DEIBUJADO POR:			
		J.Chacon			
		G.Quesada			
		NOTAS:		TITULO:	
MATERIAL		Diseño prototipo chaleco		Chaleco Airbag	
Tela Army		airbag a bajo costo		DIBUJO:	
				A Diseño del chaleco	
				PAGINA 1 DE 5	

B

B



A

A

	DEBUJADO POR:		
	J.Chacon		
	G.Quesada		
	NOTAS:		
	Diseño prototipo chaleco airbag a bajo costo		
MATERIAL	Tela Army	TITULO:	Chaleco Airbag
		DIBUJO:	Esquema Mecánico
		PAGINA 2 DE 5	

ESPECIFICACION DE PRODUCTO

Estilo	Chaleco Aribag	Fecha	jul-20	Tela Principal	Army
MEDIDAS				DIBUJO	
PUNTO DE MEDIDA	Descripción	S	M	L	
1	Largo Frontal	26 1/2	28	29 1/2	
2	Largo Trasero	16 1/2	28	29 1/2	
3	Longitud Lateral	17	18 1/2	20	
4	Ancho del Pecho	12 1/2	13 1/2	14 1/2	
5	Ancho de los hombros	15	16	17	
6	Largo del hombro	3 1/2	4	4 1/2	
7	Ancho de la cintura	12 1/2	13 1/2	14 1/2	
8	Ancho apertura para brazo	8 1/2	9	9 1/2	
9	Ancho del cuello	9	10	11	
10	Ancho del collar	11	12	13	
11	Altura del cuello	2 3/4	3	3 1/4	

B

B

A

A

DEBUJADO POR:		TITULO:	
J.Chacon		Chaleco Airbag	
G.Quesada			
NOTAS:		DIBUJO:	
Diseño prototipo chaleco airbag a bajo costo		A Esquema Mecánico	
MATERIAL Tela Army		PAGINA 3 DE 5	



Cartucho CO2

Valvula solenoide

Airbag Lateral y Delantero Izquierdo

Airbag trasero

Airbag Lateral y Delantero Derecho

	DEBUJADO POR:		
	J.Chacon		
	G.Quesada		
	NOTAS:	TITULO:	
	Diseño prototipo chaleco airbag a bajo costo	Chaleco Airbag	
MATERIAL	Tela Army	A	DIBUJO:
			Esquema Neumatico
		PAGINA 4 DE 5	

2

1

B

B

A

A

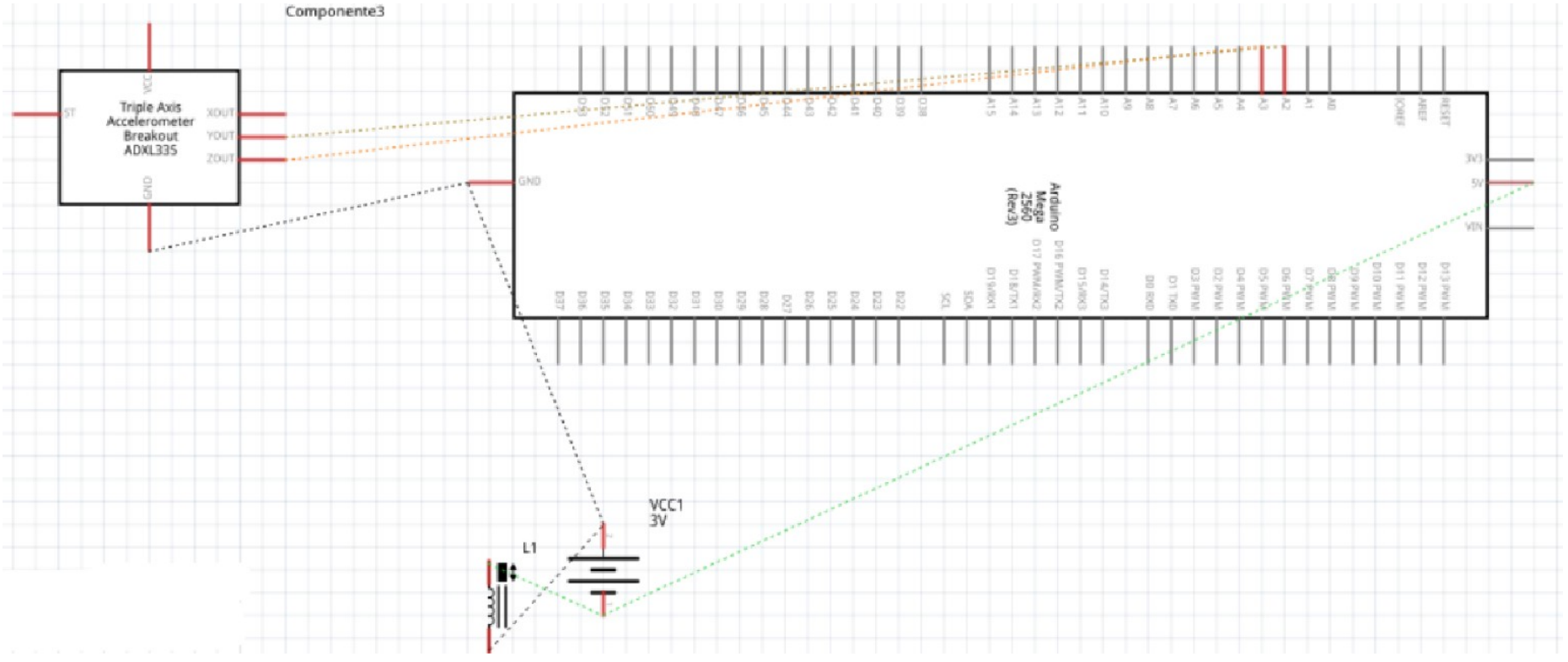
2

108

1

B

B



A

A

		DEIBUJADO POR:		
		J.Chacon		
		G.Quesada		
		NOTAS:		
MATERIAL		Diseño prototipo chaleco airbag a bajo costo		
Tela Army				
		TITULO: Chaleco Airbag		
		DIBUJO: A Esquema Electrico		
		PAGINA 5 DE 5		

Adendum A.2. Memoria de Cálculo

Cálculos para inflado del chaleco:

Se tiene que la presión dentro del cartucho de 12 gramos es de 852,8 psi.

Para calcular la presión se utiliza la fórmula de gas ideal

$$PV = nRT$$

Con las siguientes constantes:

$R = 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ (Cengel, Y. 2016).

$T = 273,15 \text{ K}$ (temperatura ambiente).

A partir del peso molar del CO_2 se obtiene los moles en el cartucho

$$n = \frac{\text{peso}}{\text{peso molar}} = \frac{12\text{g}}{44 \text{ g/mol}} = 0,3 \text{ mol}$$

(Cengel, Y. 2016).

El volumen del cartucho se obtiene a partir de las dimensiones del cartucho.

Diámetro = 3,5 cm

Altura = 10,9 cm

$V = 0,000105 \text{ m}^3$

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{0,3 * 8,31 * 273,15}{0,000105} = 5880061,029 \text{ Pa} = 852,8 \text{ psi}$$

La densidad del CO_2 es de $1,98 \text{ kg/m}^3$ (Cengel, Y. 2016).

La ecuación de Bernoulli indica que:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

Si se toma la condición inicial:

$V_1=0$ (el gas se encuentra estacionario).

$Z_1=0$ (el cambio de altura es despreciable)

Condición final

$P_2=0$ (el gas termina con presión atmosférica).

$Z_2=0$ (el cambio de altura es despreciable)

$$\frac{P_1}{\rho g} = + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2P_1}{\rho}}$$

$$v_2 = 2435,014 \text{ m/s}$$

v_2 equivale a la velocidad del gas a la entrada del chaleco (es decir a la salida del cartucho). Esta velocidad se utilizó en la simulación de llenado del chaleco airbag.

Cálculos para fuerza de impacto

Para obtenerla fuerza de impacto del vehículo se tomo como referencia un vehículo de un peso de 1400 kg (Sellen, M. 2021). Según la investigación realizada ese es el peso promedio de un vehículo automóvil, vehículo muy común en Costa Rica.

En este caso se va a calcular la fuerza a 80 km/h sin embargo este mismo proceso se utilizo para las otras velocidades 100 km/h y 120 km/h.

Se tiene que la ecuación de fuerza es:

$$F_{avg}d = -\frac{1}{2}mv^2$$

Con $d=0,3$ m (distancia promedio de un impacto de vehículo). ("Forces in car crashes", 2005).

Con esos valores se obtiene la fuerza para 80 km/h (equivalente a 22 m/s). En este caso se elimina el negativo ya que este únicamente corresponde a la dirección de la fuerza

$$F_{avg} = \frac{mv^2}{2d} = \frac{1400 * 22^2}{2 * 0,3} = 1.1 \text{ MN}$$

Estas fuerzas se utilizaron en las simulaciones de impacto del chaleco airbag en el capítulo 6.