



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE CASCO DE MOTOCICLETA DESMONTABLE

Autor: Emilio Herranz Román
Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid
Julio 2018

Índice de documentos

DOCUMENTO I. MEMORIA

1. Memoria	pág. 11 a 138	128 páginas
------------	---------------	-------------

DOCUMENTO II. PLANOS

1. Lista de planos	pág. 1	1 página
2. Planos	pág. 2 a 5	4 páginas

DOCUMENTO III. ANEXOS

1. Anexos	pág. 3 a 26	24 páginas
-----------	-------------	------------

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Emilio Herranz Román DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Diseño de casco de motocicleta desmontable, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 8 de Julio de 2018

ACEPTA

Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño de casco de motocicleta desmontable
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2017/2018 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Emilio Herranz Román

Fecha: 08/ 07/ 18



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan de Norverto Moriñigo

Fecha: 09/ 07/ 18





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE CASCO DE MOTOCICLETA DESMONTABLE

Autor: Emilio Herranz Román
Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid
Julio 2018

Diseño de casco de motocicleta desmontable

Autor: Herranz Román, Emilio

Director: Norberto Moriñigo, Juan de

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

Introducción

La motocicleta es, a día de hoy, uno de los principales medios de transporte. A pesar de ser un vehículo económico, de dimensiones reducidas y de bajo consumo, cuenta con un principal inconveniente, la seguridad. La motocicleta es un medio de transporte peligroso debido a la nula protección que dispone su usuario en caso de accidente. Para tratar de solventar o de reducir esta peligrosidad, surgen diversos elementos de protección activa y pasiva entre los que destaca el casco.

Solo por utilizar el casco, se reducen en un 30 % las posibilidades de fallecer en caso de accidente y un 40 % las de sufrir una lesión craneal grave. Por ello, el casco es considerado como el elemento de protección más básico para este tipo de vehículos. Sin embargo, cuenta con un gran inconveniente, su elevado tamaño y la dificultad que implica en su transporte y almacenamiento. Además, debido a la aparición de empresas de alquiler de motocicletas por horas, este inconveniente resulta de mayor importancia.

Es por ello que, en el presente proyecto, se diseña un casco de motocicleta desmontable que pueda ser homologado según la normativa ECE/ONU R22 vigente en Europa y se facilite su transporte y almacenamiento. Además, se estudia de manera sencilla el modelo de negocio que

permite hacer el casco viable tanto técnica como económicamente.

Casco diseñado

Tras un estudio de mercado y de varias iteraciones en el modelo y en las uniones, se crea el diseño final, cuyos módulos se presentan en la Figura 1.

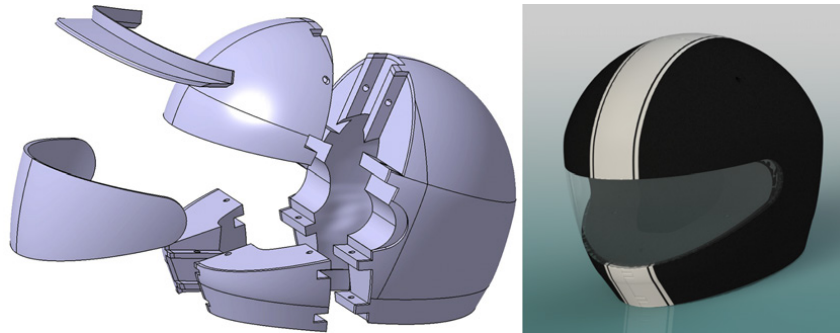


Figura 1. Módulos que componen el diseño final y render de aspecto final.

Se trata de un casco compuesto por 8 principales módulos (4 para la calota interior y 4 para la calota exterior) además de la pantalla y el módulo opcional de la visera. El sistema de uniones será similar al que utilizado en las muletas, compuesto por una serie de inserciones en el casco, un pasador y un muelle que mantiene el sistema de unión en posición uniendo los módulos.

Debido a su modularidad, no es necesario incluir un cierre tradicional que realice las funciones de sujeción del casco. Además, por la naturaleza de las divisiones de los módulos, el casco puede ser utilizado tanto como casco integral como jet.

El casco cuenta con una calota exterior de 5 mm de espesor y con una calota interior con unos grosores de entre 48 y 61 mm. Estas dimensiones han sido elegidas tras los diversos ensayos de manera que muestren una absorción de energía óptima y, a su vez, permitan que el casco sea cómodo durante su uso.

Además, ha sido necesario realizar un estudio de los materiales con los que contarán los diversos módulos del casco, de manera que se asegure la protección y se reduzca al máximo su peso. Finalmente, se obtiene un peso total de aproximadamente 2,6 kg.

Para comprobar que el casco cumple con la normativa de homologación, además de las condiciones de diseño impuestas en dicha normativa, se han simulado los 3 principales ensayos

que en ella se requieren:

- Ensayos de absorción de impacto: se realizan impactos en diversos puntos del casco contra dos tipos de yunques para comprobar que la aceleración máxima sufrida por la cabeza no sufre aceleraciones mayores a 275 g y que el *Head Injury Criterion* (HIC) no excede un valor de 2400 en ningún momento.
- Ensayos de proyecciones y fricción superficial: se miden las fuerzas rotacionales inducidas por el casco cuando este impacta contra un yunque inclinado. Estas fuerzas deben ser menores a 2500 N y su integral respecto al tiempo menor de 12,5 Ns.
- Ensayos de rigidez: se mide la deformación máxima que sufre el casco al ser sometido a ciertas cargas, no superando las dimensiones especificadas.

De igual manera que se realiza un análisis estructural, se realiza también un análisis aerodinámico con el objetivo de estudiar las fuerzas que sufrirá el portador debido al viento. De esta manera, se busca minimizar estas fuerzas y, por tanto, aumentar su comodidad de uso.

Con el objetivo de facilitar su transporte, se añade al casco un sistema muy simple de sujeción de módulos por medio de un material elástico que permita unirlos.

Además del diseño del producto como tal, se realizan un Modelo Canvas del modelo de negocio así como un análisis DAFO. El Modelo Canvas es utilizado como sustitución del estudio económico tradicional, que en esta situación resultaría poco exacto debido a la naturaleza innovadora del proyecto. En la Figura 2 se presenta el Modelo Canvas completo.

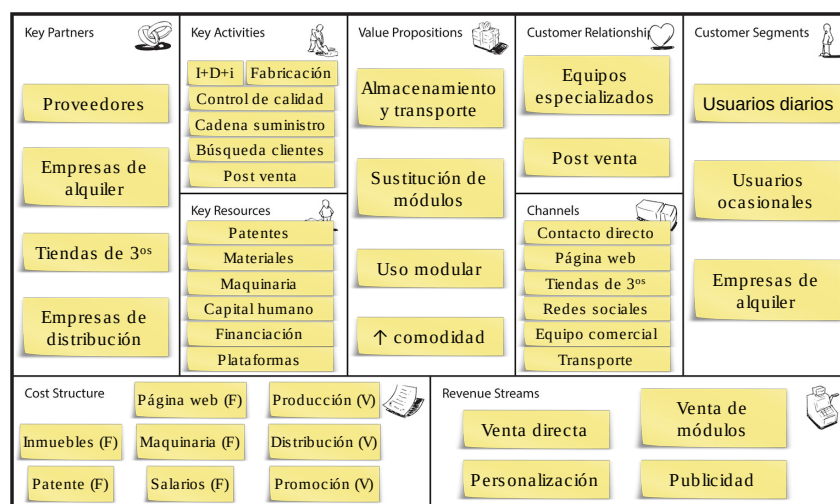


Figura 2. Lienzo del Modelo Canvas.

Por otro lado, el análisis DAFO se crea con el objetivo de identificar posibles mejoras tanto en el producto como en su modelo de negocio.

Análisis y resultados

De las simulaciones realizadas, se concluye que el diseño final del producto es homologable. A modo de resumen, en la Tabla 1 se incluyen los resultados obtenidos en las simulaciones junto a su valor límite.

Ensayo	Dato	Simulación	Límite
Absorción de impacto	Aceleración máxima	214,67 g	275 g
	Head Injury Criterion	2378,0	2400
Proyecciones y fricción superficial	Fuerza inducida	617,32 N	2500 N
	Integral de la fuerza	0,1939 Ns	12,5 Ns
Rigidez	Def. 630 N - Def. 30 N (1)	30,81 mm	40 mm
	Def. 30 N (2) - Def. 30 N (1)	1,16 mm	15 mm

Tabla 1. Valores obtenidos en las simulaciones y límite homologable.

Además, se ha demostrado mediante diversos análisis que el modelo de negocio resulta viable técnica y económicamente. De este modelo de negocio también se han estudiado las posibles debilidades y amenazas que pueden tener lugar y se han planteado posibles mejoras.

Detachable motorbike helmet design

Author: Herranz Román, Emilio

Director: Norberto Morínigo, Juan de

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

Introduction

Motorcycles are, nowadays, one of the main means of transport. Despite being an economic, reduced and low consumption vehicle, it has a main disadvantage, its safety. The motorcycle is a dangerous transport due to the null protection it offers to its user in case of an accident. To try to solve this risk, a wide variety of active and passive safety elements appear. Between them, the helmet is the most important one.

Just by using the helmet, the possibility of dying is reduced a 30% and the possibility of suffering serious cranial injuries is reduced a 40%. Because of this, the helmet is considered as the most basic protective element for this kind of vehicles. However, it also has a main disadvantage, its big dimensions and the difficulty to transport and store it. Furthermore, due to the emergence of companies dedicated to hourly rent of motorcycles, these disadvantages happens to be even more important.

As a result, in this project, a detachable motorcycle helmet is designed in a way that it can be homologated according to the regulation ECE/ONU R22 in force in Europe and that its transport and storage can be improved. Moreover, the business model that allows to create a technically and economically viable helmet is studied in a simple way.

Designed helmet

After a market research and various iterations of the model and the joints, a final design is created, whose modules are presented in Figure 1.

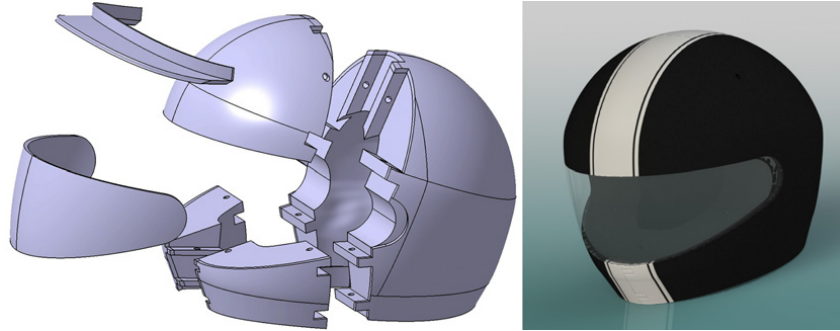


Figure 1. Modules that compose the final design and a render of its final appearance.

It is a helmet composed by 8 main modules (4 for the outer shell and 4 for the impact absorption liner) plus the face shield and the peak as an optional module. The joint system is similar to the one used in crutches, composed by a series of inserts in the helmet, a hasp and a spring which keep the joint system in a position fixing the different modules.

Due to its modularity, it is not necessary to include a traditional buckle to work as a holding system for the helmet. Furthermore, because of the modules division nature, the helmet can be used both as an integral and a jet helmet.

The helmet possesses an outer shell with a thickness of 5 mm and an impact absorption liner with thicknesses between 48 and 61 mm. These dimensions have been chosen after the different tests in a way that the helmet shows an optimum energy absorption and, at the same time, that its use is comfortable.

Moreover, it has been necessary to analyze the materials which will compose the different modules of the helmet in a way that the helmet can offer protection and, at the same time, its weight can be reduced. Finally a total weight of approximately 2,6 kg is obtained.

To check that the helmet complies with the homologation regulation, besides from the terms present in the own regulation, the 3 main required tests have been simulated:

- Impact-absorption tests: multiple impacts are carried out at different points against two anvil types to check that the maximum acceleration of the headform is always smaller than

275 g and that the *Head Injury Criterion* (HIC) does not exceed a value of 2400 during the whole impact.

- Test for projections and surface friction: the rotation-inducing forces by the helmet when it impacts with an inclined anvil are measured. These forces must be smaller than 2500 N and its integral with respect to time smaller than 12,5 Ns.
- Rigidity tests: the maximum deformation suffered by the helmet when certain loads are applied is measured. The measurements shall not exceed the specified dimensions.

Not only an structural but an aerodynamic analysis is carried out in order to study the forces that will be applied to the user of the helmet by the wind. The goal of this analysis is to minimize these forces and, due to this, increase its comfortability during the use.

To enhance its transport, a simple system to hold the modules together is added to the helmet by using an elastic material.

In addition to the product design, a Canvas Model of the business model is created as well as SWOT analysis. The Canvas Model is used as a substitute of the traditional economic study, which would not be accurate in this situation due to the innovative nature of the project. In Figure 2 the complete Canvas Model is presented.

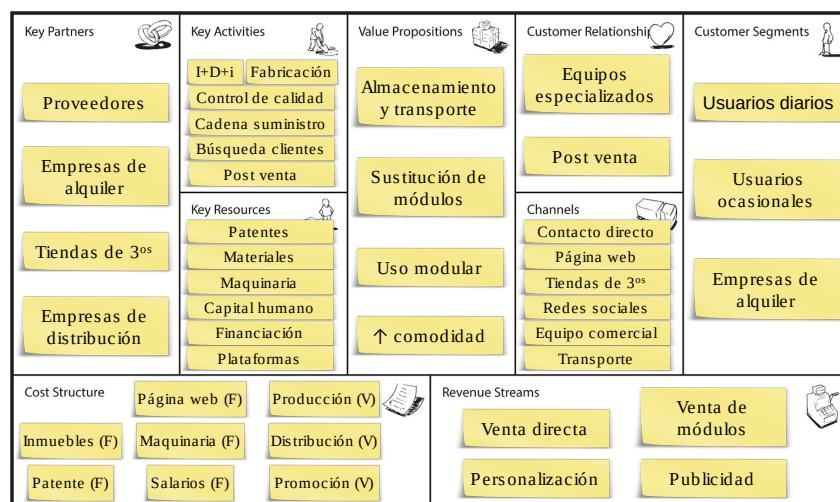


Figure 2. Lienzo del Modelo Canvas.

On the other side, the SWOT analysis is created to identify possible improvements both in the product and in the business model.

Analysis and results

From the different simulations carried out, it can be concluded that the final product design is homologable. To sum up, in Table 1 the different results obtained from the simulations are included as well as the limit value.

Test	Value	Simulation	Limit
Impact-absorption	Maximum acceleration	214,67 g	275 g
	Head Injury Criterion	2378,0	2400
Projections and surface friction	Inducing force	617,32 N	2500 N
	Force integral	0,1939 Ns	12,5 Ns
Rigidity	Def. 630 N - Def. 30 N (1)	30,81 mm	40 mm
	Def. 30 N (2) - Def. 30 N (1)	1,16 mm	15 mm

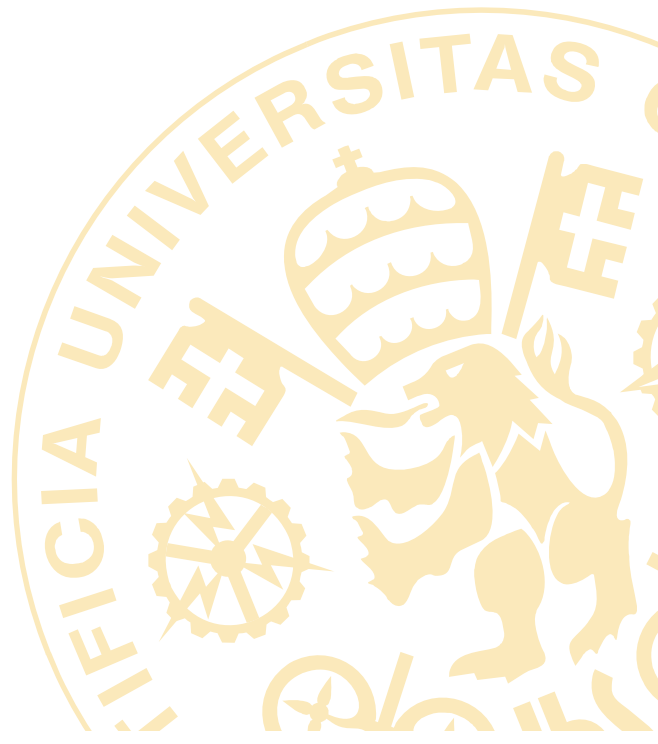
Table 1. Obtained values from the simulations and its homologable limit value.

Furthermore, it has been showed through different analysis that the business model is both technically and economically viable. For this business model the possible weaknesses and threats have been studied and possible improvements have been proposed.

DOCUMENTO I



MEMORIA



Índice

I. Memoria	11
1. Introducción	13
1.1. Motivación del proyecto	13
1.2. Objetivos del proyecto	15
2. Estado del arte	17
2.1. Historia	17
2.2. Tipos de casco	19
2.2.1. Jet	19
2.2.1.1. Con pantalla	20
2.2.1.2. Sin pantalla	21
2.2.2. Integral	21
2.2.3. Modular	22
2.2.3.1. Multimodular	23
2.2.4. Off-Road	24
2.2.5. Trail	25
2.3. Tipos de cierres	26
2.3.1. Doble anilla o doble D	26
2.3.2. Cierre rápido	27
2.3.3. Cierre micrométrico	27
2.4. Materiales de la calota exterior	28
2.4.1. Policarbonato o resina termoplástica	28
2.4.2. Fibra de vidrio	28
2.4.3. Kevlar	29
2.4.4. Fibra de carbono	29
2.4.5. Tricomposite	29

2.5. Revestimiento interior	30
2.6. Pantalla	31
2.6.1. PinLock®	31
2.7. Aerodinámica y sonoridad	32
2.8. Cascos plegables o desmontables existentes	33
2.8.1. Casco Hövding	38
2.8.2. Casco Proteus	39
2.8.3. Casco Golem Alpha	40
2.8.4. Casco Vozz RS 1.0	41
2.9. Accidentes	42
2.10. Legislación vigente y homologación	45
2.10.1. Homologación ECE/ONU R22	47
2.10.2. Test Sharp	51
2.10.3. Obligatoriedad de uso	51
2.11. Patentes	52
3. Diseño y simulación	57
3.1. Diseño	57
3.1.1. Metodología	57
3.1.2. Herramientas utilizadas	58
3.1.3. Estudio de mercado	60
3.1.4. Matrices QFD	61
3.1.5. Diseños conceptuales	65
3.1.5.1. Modelos	65
3.1.5.2. Uniones	68
3.1.5.3. Cronología	71
3.1.6. Diseño definitivo	72
3.1.6.1. Modelo	72
3.1.6.2. Uniones	73
3.1.6.3. Tipo de cierre	75
3.1.6.4. Materiales	75
3.2. Simulación	81
3.2.1. Herramientas utilizadas	81
3.2.2. Análisis estructural	82

3.2.2.1. Ensayos de absorción de impacto	82
3.2.2.2. Ensayos de proyecciones y fricción superficial	87
3.2.2.3. Ensayos de rigidez	89
3.2.3. Análisis aerodinámico	90
4. Cálculo y análisis de los resultados	95
4.1. Análisis estructural	95
4.1.1. Ensayos de absorción de impacto	95
4.1.2. Ensayos de proyecciones y fricción superficial	100
4.1.3. Ensayos de rigidez	102
4.2. Análisis aerodinámico	103
5. Estudio económico	107
5.1. Segmentos de clientes	108
5.2. Propuestas de valor	109
5.3. Canales	110
5.4. Relaciones con el cliente	111
5.5. Fuentes de ingresos	111
5.6. Actividades clave	112
5.7. Recursos clave	113
5.8. Socios clave	114
5.9. Estructura de costes	114
5.10. Lienzo	115
6. Análisis DAFO	117
6.1. Fortalezas	118
6.2. Debilidades	119
6.3. Oportunidades	119
6.4. Amenazas	121
6.5. Matriz	122
7. Conclusiones y posibles mejoras	123
7.1. Conclusiones	123
7.2. Posibles mejoras	125
7.3. Encuesta final	127
Bibliografía	129

Índice de figuras

1. Ejemplo de casco jet con pantalla. [3].	20
2. Ejemplo de casco jet sin pantalla. [4].	21
3. Ejemplo de casco integral. [3].	22
4. Ejemplo de casco modular. [3].	23
5. Ejemplo de casco multimodular. [5].	24
6. Ejemplo de casco off-road. [6].	25
7. Ejemplo de casco trail. [7].	25
8. Ejemplo de cierre de doble anilla o doble D. [8].	26
9. Ejemplo de cierre rápido. [9].	27
10. Ejemplo de cierre micrométrico. [10].	27
11. Principales partes de un casco de motocicleta. [12].	32
12. Casco <i>Overade Plixi</i> . [13].	33
13. Casco <i>Carrera Foldable Crit</i> . [15].	34
14. Casco <i>Closca Helmet</i> . [17].	35
15. Casco <i>FEND Helmet</i> . [18].	35
16. Casco <i>Morpher</i> . [19].	36
17. Casco <i>BioLogic Pango</i> TM y un pangolín. [20] [21].	37
18. Casco <i>LID Plico</i> . [22].	37
19. Casco <i>Hövding</i> . [23].	38
20. Casco <i>Proteus</i> . [26].	40
21. Casco <i>Golem Alpha</i> . [27].	41
22. Casco <i>Vozz RS 1.0</i> . [28].	42
23. Distribución porcentual de impacto según la zona del casco. [32].	43
24. Casco de <i>APC Systems</i> tras su inflado. [33].	44
25. Identificación de puntos de impacto. [36].	48
26. Legislación respecto al uso del casco en EEUU. [37].	52

27. Patente US2625683A de Charles F. Lombard de 1953. [38].	53
28. Patente US3723992A del primer casco integral. [39].	54
29. Patente EP0108694B1 donde aparece el primer casco desmontable. [40].	54
30. Calota exterior diseñada mediante el módulo <i>Generative Shape Design</i>	58
31. Módulo de la calota exterior con grosor asignado mediante el módulo <i>Part Design</i>	59
32. Primeros bocetos del casco <i>Egg-shell</i>	66
33. Primeros bocetos del casco <i>Plegable</i>	66
34. Primeros bocetos del casco <i>Closca</i>	67
35. Primeros bocetos del casco <i>Desmontable</i>	67
36. Primeros bocetos de la unión <i>Gancho</i>	69
37. Primeros bocetos de la unión <i>Cierre</i>	69
38. Primeros bocetos de la unión <i>detornillo</i>	70
39. Primeros bocetos de la unión <i>degrapas</i>	70
40. Primeros bocetos de la unión <i>Enganche</i>	70
41. Renders del diseño definitivo del casco y el sistema de unión.	72
42. Módulos de del diseño definitivo.	73
43. Sección de la unión donde un pasador se encuentra totalmente extendido fijando ambos módulos y el otro se encuentra totalmente replegado sin restringir movimientos.	74
44. Unión del cierre a la calota por medio de un remache de alta densidad. [43].	75
45. Aceleraciones para diferentes materiales de la calota exterior con la misma calota interior	77
46. Calota interior compuesta por dos materiales.	78
47. Aceleraciones para diferentes materiales de la calota interior con la misma calota exterior	78
48. Aceleraciones para diferentes combinaciones de calotas interiores y exteriores	80
49. Posición inicial del casco y el yunque de ensayo en los ensayos de impacto.	83
50. Definición de los contactos entre los pasadores (rojo) y la calota interior (azul).	84
51. Mallado del ensayo de impacto con yunque plano en el punto S.	85
52. Calidad de la malla en uno de los ensayos de impacto.	85
53. Geometría usada en el ensayo de proyecciones y fricción superficial.	88
54. Fuerza aplicada en el ensayo de rigidez en cada <i>step</i>	90
55. Variaciones utilizadas en el análisis aerodinámico.	91
56. Geometría y mallado utilizados en el análisis estructural.	91
57. Aceleraciones en los ensayos de impacto con yunque plano.	96
58. Aceleraciones en los ensayos de impacto con yunque en cuña.	96

59. Aceleraciones máximas, desplazamientos máximos y HIC calculados en los ensayos de impacto.	98
60. Curvas de probabilidad de lesión en función del HIC. [60].	99
61. Impacto en el punto S, donde los desplazamientos no son válidos para estudiar impactos de la falsa cabeza contra el yunque.	100
62. Momento de máximo desplazamiento de la falsa cabeza, que no llega a impactar con el yunque.	100
63. Representación del sistema de coordenadas global (y,z) y del yunque (1,2)	101
64. Fuerza inducida en el yunque en el ensayo de proyecciones.	101
65. Deformaciones medidas en los ensayos de rigidez.	102
66. Contornos de presiones y velocidades obtenidos en el ensayo a 120 km/h con el casco sin añadidos.	104
67. Coeficientes de arrastre y sustentación para los distintos modelos y distintas velocidades.105	
68. Lienzo del Modelo Canvas sin rellenar. [63].	107
69. Lienzo del Modelo Canvas relleno. [63].	116
70. Matriz DAFO.	122
71. Modelo 3D animado del diseño final.	124

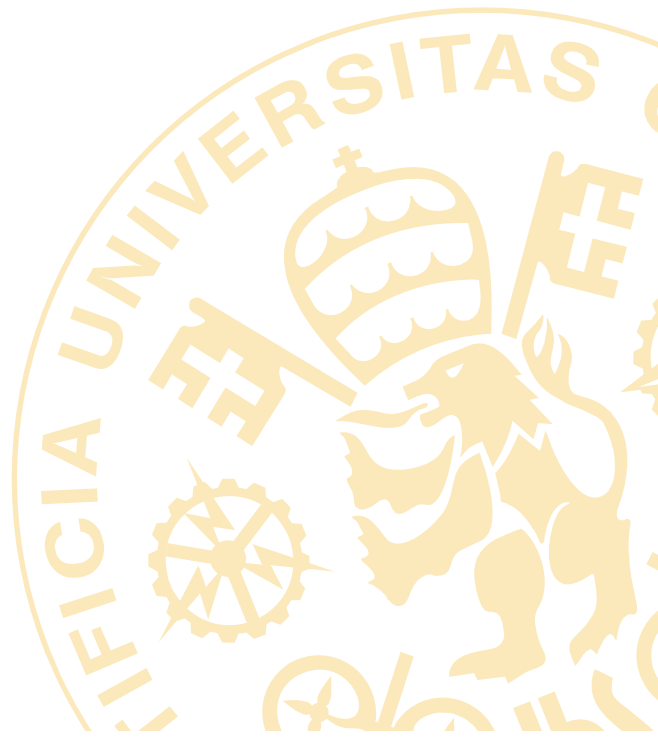
Índice de tablas

1. Evolución del parque de automóviles español en los últimos 10 años. [1].	13
2. Número de accidentes en España en 2016 y su distribución porcentual. [1].	14
3. Localización de daños externos del casco según su naturaleza. [31].	43
4. Tabla de homologaciones por países	45
5. Resultados obtenidos del estudio de mercado.	60
6. Valores utilizados en las matrices QFD.	62
7. Matriz QFD sobre la influencia de las diversas partes en las demandas del usuario. . .	62
8. Matriz QFD completa del casco.	63
9. Simbología utilizada en la columna de la competencia en la matriz QFD.	65
10. Propiedades de los materiales utilizados para la calota exterior.	76
11. Propiedades de los materiales utilizados para la calota interior.	77
12. Aceleraciones y desplazamientos máximos sufridos por la falsa cabeza.	79
13. Partes que componen el casco, material del que están fabricados y su peso.	81
14. Aceleraciones máximas, desplazamientos máximos y HIC calculados en los ensayos de impacto.	97
15. Valores de deformaciones (en mm) calculados y utilizados para comprobar el cumplimiento de la normativa de homologación.	102
16. Coeficientes de arrastre y sustentación para los distintos modelos y distintas velocidades.	104
17. Evolución del parque automovilístico español entre 2002 y 2016. [65].	120
18. Resultados obtenidos en la encuesta final.	127

PARTE I



MEMORIA



Capítulo 1

Introducción

EN el presente apartado se presentará de manera detallada el proyecto, la motivación de este y los objetivos que se tratarán de alcanzar con su realización

1.1. Motivación del proyecto

Desde la invención de los primeros vehículos y hasta el día de hoy, la motocicleta se ha establecido, de manera general, como uno de los principales medios de transporte, desbancado en ocasiones incluso a los turismos. Actualmente, el parque automovilístico español en el año 2016 estaba compuesto por un total de 3 211 474 motocicletas y 1 987 470 ciclomotores tal y como se presenta en la Tabla 1. Esto supone aproximadamente un 15 % del total de vehículos.

Parque	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Diferencia 2016/2015	Variación interanual 2007-2016
Camiones y furgonetas	5.140.586	5.192.219	5.136.214	5.103.980	5.060.791	4.984.722	4.887.352	4.839.484	4.851.518	4.879.480	1%	-1%
Autobuses	61.039	62.196	62.663	62.445	62.358	61.127	59.892	59.799	60.252	61.838	3%	0%
Turismos	21.760.174	22.145.364	21.983.485	22.147.455	22.277.244	22.247.528	22.024.538	22.029.512	22.355.549	22.876.830	2%	1%
Motocicletas	2.311.346	2.500.819	2.606.674	2.707.482	2.798.043	2.852.297	2.891.204	2.972.165	3.079.463	3.211.474	4%	4%
Ciclomotores	2.430.414	2.410.685	2.352.205	2.290.207	2.229.418	2.169.668	2.107.116	2.061.044	2.023.211	1.987.470	-2%	-2%
Tractores Industriales	212.697	213.366	206.730	199.486	195.960	186.964	182.822	186.060	195.657	207.889	6%	0%
Otros Vehículos ¹	427.756	436.631	447.363	450.514	459.117	460.196	463.181	475.872	420.734	425.411	1%	0%
Total	32.344.012	32.961.280	32.795.334	32.961.569	33.082.931	32.962.502	32.616.105	32.623.936	32.986.384	33.650.392	2%	0%

¹ La categoría de otros vehículos incluye los vehículos especiales como son las barredoras, quitanieves, grúas, maquinaria de obras, etc. Se han excluido los remolques y semirremolques.

Tabla 1. Evolución del parque de automóviles español en los últimos 10 años. [1].

La motocicleta se trata de un vehículo económico, de dimensiones reducidas y de bajo consumo si se compara con otros medios de transporte como los turismos o los camiones. Sin

embargo, cuenta con un gran inconveniente, su peligrosidad. Desde su invención, la motocicleta se ha considerado como un medio de transporte peligroso debido a la prácticamente nula protección de la que dispone el conductor frente a un accidente. El riesgo de morir en un accidente de tráfico es 17 veces mayor en motocicleta que en coche. Además, en los accidentes de tráfico con fallecidos en los que una motocicleta se ve implicada, el 95 % de las víctimas suelen corresponder al propio motorista. [2].

En la actualidad existen multitud de elementos de seguridad y protección para las motocicletas, tanto activos como pasivos, que permiten reducir o eliminar las posibles lesiones en caso de accidente. Quizás el elemento más esencial de todos sea el casco, ya que solo por llevarlo puesto se reducen un 30 % las posibilidades de muerte en caso de accidente y un 40 % las de sufrir una lesión craneal de gravedad. Sin embargo, la principal desventaja de este elemento de protección es la imposibilidad de reducir su tamaño para favorecer su transporte y almacenamiento.

Este hecho, unido a la floreciente aparición de empresas dedicadas al alquiler de motocicletas por horas, especialmente en las grandes ciudades, como *eCooltra*¹ o *Moving*² y a la elevada tasa de siniestralidad de las motocicletas (28 veces superior a la de los turismos) fundan la motivación del presente proyecto. Dicho proyecto busca realizar un proyecto viable para el diseño de un casco de motocicleta desmontable y/o plegable que facilite su transporte y almacenamiento y que pueda ser homologado para su uso. De este modo, los usuarios de motocicletas de alquiler dispondrán de cascos plegables y/o desmontables almacenados dentro del propio vehículo o incluso en estaciones distribuidoras como máquinas expendedoras en caso de que su diseño lo permitiera.

	2016				Distribución porcentual 2016			
	Accidentes con víctimas	Fallecidos	Heridos hospitalizados	Heridos no hospitalizados	Accidentes con víctimas	Fallecidos	Heridos hospitalizados	Heridos no hospitalizados
Total	102.362	1.810	9.755	130.635	100%	100%	100%	100%
Medio de desplazamiento ²								
Bicicleta	7.673	67	736	6.635	7%	4%	8%	5%
Ciclomotor	7.950	54	625	7.760	8%	3%	6%	6%
Motocicleta	25.944	343	2.681	24.364	25%	19%	27%	19%
Turismo	78.976	754	2.988	69.037	77%	42%	31%	53%
Vehículo de mercancías	15.759	143	479	6.956	15%	8%	5%	5%
Autobús	2.214	21	83	2.137	2%	1%	1%	2%

Tabla 2. Número de accidentes en España en 2016 y su distribución porcentual. [1].

¹<https://www.ecooltra.com/es/>

²<https://www.moving.com/>

1.2. Objetivos del proyecto

Tal y como se comentó previamente, el objetivo del presente proyecto consistirá en el diseño de un casco de motocicleta desmontable y/o plegable que cumpla con la normativa vigente y que pueda ser homologado para su uso. Para ello, el diseño del casco se centrará en su comercialización en Europa por lo que deberá contar con la certificación ECE/ONU R22. Esta certificación es considerada como la más actual y rigurosa debido a las pruebas llevadas a cabo durante sus ensayos. Además, no solo se diseñará un casco que permita absorber la fuerza provocada por un impacto en caso de accidente si no que se tratará de que este diseño sea rentable. Es decir, se tratará de obtener un diseño viable tanto económica como técnicamente de manera que pueda llevarse a cabo su comercialización de manera exitosa.

A modo de resumen, se tratará de realizar las siguientes tareas:

- Se buscará diseñar un casco que permita absorber la energía del impacto en caso de accidente. De esta manera se minimizarán o evitarán las posibles lesiones que el motorista pueda sufrir. Para ello se diseñarán y evaluarán en detalle los diversos componentes del casco. Deberá decidirse la geometría, los materiales, dimensiones, estructuras y demás accesorios con los que contará el casco como correas o almohadillas. Además, el casco deberá someterse a las pruebas pertinentes para su homologación según la certificación ECE/ONU R22.
- Se tratará que el diseño del casco permita su comercialización haciendo que el producto sea viable tanto económica como técnicamente. En el ámbito técnico se tratará de diseñar un casco que, cuando no se encuentre en uso, pueda ser desmontado o plegado y su almacenamiento sea fácil debido a su reducido volumen. La viabilidad económica consistirá en diseñar un casco que, cumpliendo con los objetivos de protección, tenga un coste lo más reducido posible. Para ello se tratará de utilizar materiales económicos y con las dimensiones mínimas necesarias.
- Se procurará diseñar un producto sostenible de manera que pueda ser reutilizado total o parcialmente tras su vida útil.

Capítulo 2

Estado del arte

EN el presente capítulo se realizará, a modo de estado del arte, una pequeña presentación de la historia del casco así como de los diferentes tipos, cierres y materiales que componen a día de hoy el mercado de cascos de motocicleta. Además, se tratarán componentes y características del casco como la aerodinámica, la sonoridad o los interiores, así como la legislación vigente en España y las diferentes homologaciones.

2.1. Historia

La invención de la motocicleta tuvo lugar en 1885 por parte de Gottlieb Daimler (en colaboración con Wilhelm Maybach), que creó la primera versión primitiva del casco. Este casco consistía simplemente en una gorra de cuero simple con un forro de piel, siendo prácticamente igual al usado por los pilotos de aviación. El cráneo humano, en caso de recibir un golpe a 17 km/h sufre daños muy graves. A 30 km/h un golpe contra un objeto sólido supone la muerte en un 98 % de los casos si no se cuenta con ningún tipo de protección craneal. Por tanto, el casco utilizado por Daimler era ineficaz en caso de accidente.

A pesar de la ausencia de sistemas de protección, ya en 1907 tuvieron lugar las primeras competiciones motociclistas en Europa. El primer circuito expresamente construido para albergar carreras de coches y motocicletas tuvo lugar en Brooklands, Inglaterra. En dicho circuito, a comienzos de 1914, trabajaba el Dr. Eric Gardner, quien debía asistir a los pilotos accidentados e inventó el primer casco protector debido a las numerosas lesiones craneales que debía tratar. El

Dr. Gardner presentó su invento a la *Auto-Cycle Union* de Gran Bretaña, quienes, tras rechazarlo inicialmente, decidieron hacer obligatorio el uso del casco. La primera competición donde el uso del casco tuvo lugar fue en la Isla de Man. Fue la primera competición en dicha isla en la que no hubo lesiones craneales.

Una de las primeras apariciones comerciales del casco data de 1910, el cual aparece en el catálogo de *Harley-Davidson* de dicho año. En cambio, el primer casco comercial protector para motocicletas no fue diseñado hasta 1926 por *The Cromwell Helmet Company*.

Sin embargo, el punto de inflexión del casco no tuvo lugar hasta mayo de 1935 cuando el neurocirujano Hugh Cairns se planteó el uso del casco como un sistema de protección para motocicletas (y no solo para uso militar como hasta entonces) y comenzó su investigación. Este hecho tuvo lugar debido a que Cairns asistió a la muerte de Thomas Edward Lawrence (más conocido como Lawrence de Arabia), que sufrió un accidente a los mandos de su *Brought Superior SS100* en el Condado de Dorset y que es posible que hubiera ser podido evitada en caso de haber portado un casco.

El Dr. Cairns realizó un estudio en 1941, con motoristas del ejército inglés, tras el cual recomendó que dichos pilotos portaran casco. En 1946 publicó un segundo estudio en el que indicaba que los motoristas que portaron casco siguiendo su recomendación, habían sufrido menos lesiones y de menor gravedad que los que no lo hicieron. A pesar de estos estudios, la obligación de utilizar casco no entro en vigor hasta 1973 en Francia y Reino Unido, 21 años después de que el Dr. Cairns falleciera. En España, el uso del casco no fue obligatorio hasta su implantación progresiva durante los años 70, aunque solo en carretera. Su obligatoriedad en zona urbana o para ciclomotores tuvo lugar en el año 1992 y, a día de hoy, se estudia la obligatoriedad también para su uso ciclista.

A pesar de los esfuerzos del Dr. Cairns por imponer el uso del casco, la primera patente de un casco no tuvo lugar hasta 1953 por parte de Charles F. Lombard, investigador de la *Universidad del Sur de California* (USC). Tras la patente, la adopción de los cascos comenzó incrementó notablemente, especialmente en deportes de motor o el ciclismo. Esta patente aún sirve como base del casco moderno.

Sin embargo, la fabricación de los cascos no fue normalizada ni estandarizada hasta 1957. Se establecieron, así, las primeras normas de homologación del casco de motocicleta. Esta

normalización fue dirigida por la *Snell Memorial Foundation*, cuyo nombre fue elegido como homenaje al piloto sudafricano William “Pete” Snell, que murió tras un accidente por la gravedad de las heridas sufridas en la cabeza.

A diferencia de en Europa, la adopción del casco en Estados Unidos, al menos gubernamentalmente fue más temprana. Ya en 1958, tras solo 5 años de la existencia de la patente, los agentes de la *California Highway Patrol* comenzaron a usar casco con la intención de promover su uso entre los motoristas del estado.

La aparición del primer casco integral no tuvo lugar hasta 1967 cuando, el 15 veces campeón del mundo Giacomo Agostini, lució el AGV X-3000. Es considerado como el primer casco integral moderno de la historia.

2.2. Tipos de casco

En la actualidad se distinguen principalmente 5 tipos de casco de motocicleta: cascos jet, integrales, modulares, off-road y trail. La variedad de tipos de casco que ofrece a día de hoy el mercado es muy elevada, por lo que se ha realizado una clasificación básica, que a su vez contiene subclasificaciones dentro de los tipos de casco y que podría extenderse indefinidamente.

2.2.1. Jet

El casco jet se presenta como la opción más económica pero a su vez menos segura de todas. Se trata de cascos con un nivel de protección activo muy básico al dejar al descubierto partes como el mentón o la cara, protegiendo la calota solo la parte trasera y los laterales del cráneo. Sin embargo, la seguridad pasiva es superior a otros cascos debido a la facilidad para escuchar sonidos de alerta o al disponer de un campo de visión mayor que otros tipos de casco. Destacan por ser cascos de tamaño reducido y ligeros, aunque, como ya se ha mencionado, el nivel de protección que ofrecen es bajo. Otro punto negativo de los cascos jet se trata de la aerodinámica y la sonoridad. Estos cascos presentan una reducida protección aerodinámica y generan un gran ruido debido al rozamiento del aire, por lo que resultan muy incómodos a altas velocidades. Por tanto, son usualmente utilizados por conductores de motocicletas de baja potencia y principalmente para desplazamientos en ciudad, debido a la velocidad reducida de

circulación. Esta reducida velocidad permite evitar las incomodidades en cuanto a aerodinámica y sonoridad del casco y reducir la necesidad de protección activa en caso de accidente a cambio de ofrecer una mayor seguridad pasiva y comodidad debido a la ligereza y el tamaño. En ocasiones estos cascos son referidos como “calimero” o “quitamultas” debido a su prácticamente nula protección en caso de accidente.

A modo de **resumen**, los cascos jet son considerados como cascos con una alta seguridad pasiva, cómodos y ligeros, aunque con una protección activa limitada, una baja protección aerodinámica y una sonoridad elevada a altas velocidades.

Dentro de los cascos jet, se distinguen dos subtipos. Pueden encontrarse cascos jet que incluyen una pantalla abatible, que cubre la cara, o cascos que carecen de pantalla, de manera que la cara permanece descubierta.

2.2.1.1. Con pantalla

Este tipo se trata de un casco jet que incluye una pantalla abatible (transparente o ahumada) que permite cubrir la cara y, en caso de ser ahumada, proteger la vista de la radiación solar y mejorar la visibilidad en ambientes de alta luminosidad. La presencia de la pantalla aumenta, de manera reducida, la seguridad activa y pasiva al servir como protección contra el aire o posibles objetos que puedan afectar a la visibilidad del portador como insectos o polvo. La pantalla resulta especialmente útil a altas velocidades al reducir los efectos del viento. Aun así, la protección activa de este tipo de cascos sigue siendo reducida, ya que las pantallas no resisten fuertes impactos.



Figura 1. Ejemplo de casco jet con pantalla. [3].

2.2.1.2. Sin pantalla

Como su propio nombre indica, el presente tipo consiste en un casco jet sin ningún tipo de pantalla que proteja la cara y posibilite la protección ante elementos como aire, polvo o insectos. Debido a esto y a que la seguridad activa es aún inferior a la de los cascos jet con pantalla, son los cascos menos seguros de todos los presentados.



Figura 2. Ejemplo de casco jet sin pantalla. [4].

2.2.2. Integral

Los cascos integrales son, a día de hoy, el tipo de cascos más usados debido a su elevada protección y a ser los que componen la mayor parte del mercado. Como su propio nombre indica, su calota está formada por una sola pieza de manera que su desmontaje es imposible, especialmente importante en caso de accidente. Protegen la totalidad de la cabeza, incluyendo cara (mediante una pantalla) y mentón, además de ser los que mejor se adaptan a la silueta de la cabeza. En ocasiones, los cascos de alta gama incluyen pantallas ahumadas o una pantalla ahumada escamoteable que incrementa su comodidad en ambientes soleados. En términos de seguridad son los más recomendados. Además, debido a que recubren todo el cráneo, el ruido provocado por el viento se ve reducido y disponen de una alta protección aerodinámica. Son usualmente los más recomendados y, por tanto, los más utilizados en cualquier tipo de motocicleta debido a que son los cascos que ofrecen mayor nivel de protección. En función de los materiales de construcción, las características como la ligereza o incluso el aislamiento frente a ruidos externos puede variar notablemente. De igual manera, su precio varía según los materiales, el diseño o la gama en la que se encuentren. No disponen de un tipo de usuario específico debido a su polivalencia. Son utilizados tanto por usuarios de ciudad como usuarios que circulan por carretera o autopista y, en función del modelo y la calidad de fabricación, incluso en circuito. El principal inconveniente que presenta este tipo de cascos es la incomodidad en cuanto a su transporte y uso. Sus dimensiones son mayores que las de los cascos jet y son más incómodos

debido a ser cascos cerrados, más difíciles de poner y quitar.



Figura 3. Ejemplo de casco integral. [3].

En **resumen**, son los cascos que ofrecen mayor protección del mercado y, por tanto, los más utilizados. Protegen la totalidad de la cabeza y son los que mejor se adaptan a la forma de la cabeza. Además, su protección aerodinámica y contra el ruido exterior es elevada, lo que aumenta su confort. Sin embargo, dicha comodidad se ve reducida debido a su tamaño y a tratarse de un casco cerrado que resultan más incómodos de poner y quitar.

2.2.3. Modular

El casco modular podría ser considerado como el punto intermedio entre el casco jet y el casco integral. Su nivel de protección es alto aunque inferior al de un casco integral. Como su propio nombre indica son cascos que disponen de un módulo, usualmente una mentonera abatible, que permite transformarlos temporalmente de un casco jet a algo similar a un casco integral. Esta mentonera abatible aumenta su comodidad, especialmente en parado, debido a que no es necesario quitarse el casco sino abatir la mentonera. Sin embargo, debido a la existencia del sistema de apertura, su peso se ve incrementado, así como la fragilidad que presenta la unión en caso de accidente, pudiendo llegar a abrirse. Por lo general, la circulación con la mentonera abatida no está permitida salvo en ocasiones especiales donde la homologación lo permita (homologación “P/J”) como en el caso del *Caberg Justissimo GT*³, el *Caberg Sintesi*⁴ o el *Shark Evoline*⁵. A pesar de encontrarse homologados para su uso como casco jet, los cascos modulares con la mentonera abatida ofrecen menor protección que sin abatirla, por lo que se desaconseja su uso con la mentonera abatida. En ocasiones, la mentonera de este tipo de casco no supera las

³<https://www.fc-moto.de/es/Caberg-Justissimo-GT>

⁴<https://www.caberg.it/en/helmets/flip-up/sintesi>

⁵<http://www.shark-helmets.com/evoline-series3.html>

pruebas de impacto por lo que el casco se encuentra homologado unicamente para usarse como casco jet y no como integral. Son los cascos utilizados en la actualidad por la Guardia Civil en España debido a su versatilidad.



Figura 4. Ejemplo de casco modular. [3].

De manera **resumida**, los cascos modulares disponen de una elevada protección aunque sin llegar a la de los cascos integrales. Su mentonera aumenta su comodidad de uso, especialmente en parado. Pueden ser usados como casco integral, jet o ambos, en función de la homologación. Sin embargo, debido a la necesidad de incluir un sistema de apertura, su peso se ve incrementado y la seguridad comprometida, ya que en caso de accidente la unión puede fallar.

2.2.3.1. Multimodular

El casco multimodular se trata de una innovación del casco modular que ofrece más opciones de montaje y desmontaje de módulos. La seguridad se ve reducida con el número de módulos debido a un mayor número de uniones aunque, en caso de accidente, permiten una extracción del casco más fácil por parte de los médicos. Sin embargo, la seguridad global del casco dependerá, principalmente, de como sea su sistema de unión y como se encuentre este en su montaje final. Al igual que los cascos modulares, la existencia de sistemas de unión provoca un incremento de peso. Debido a la multitud de módulos, estos cascos pueden convertirse en cascos integrales, cascos off-road, cascos jet con pantalla o sin ella, modulares con o sin mentonera, incluir una visera, etc. En la actualidad pocas marcas disponen de este tipo de cascos a la venta entre los que destaca el *HJC IS-Multi*⁶. Suelen ser utilizados por usuarios que buscan cascos customizables y versátiles en multitud de situaciones.

⁶<https://www.fc-moto.de/es/HJC-IS-Multi-Tociti>

Resumidamente, los cascos multimodulares permiten a un casco convertirse, mediante la adición o supresión de módulos, en distintos tipos como pueden ser cascos integrales, jet u off-road. Su protección es menor que la de los cascos integrales y disminuye con el número de módulos o partes. La ligereza disminuye, de igual manera, con el número de partes debido a la necesidad de disponer de sistemas de unión que incrementan el peso.



Figura 5. Ejemplo de casco multimodular. [5].

2.2.4. Off-Road

A pesar de clasificarse como cascos off-road, la presente clasificación incluye cascos orientados a usos de motocicleta fuera de carretera y, especialmente, a diversas actividades deportivas de motor como el trial, el enduro o el motocross. Disponen de un diseño similar al casco jet aunque con la adición de una visera y, en ocasiones, disponen de una mentonera no desmontable, asimilándose más a un casco integral sin pantalla. Sin embargo, su nivel de protección es superior al de los cascos jet y, en general, bastante elevado ya que se encuentran específicamente diseñados para la práctica de actividades deportivas de motor, donde la seguridad es un factor clave. Además de disponer de un campo de visión elevado y ser muy ligeros, disponen de una ventilación idónea para dicha práctica deportiva. Sin embargo, no están especialmente indicados para su uso en carretera debido a que no disponen de pantalla, de una buena protección aerodinámica ni de aislamiento acústico, por lo que su uso en dicha situación puede no ser cómodo. La falta de pantalla suele deberse a que están diseñados para usar conjuntamente con gafas de motocross o enduro. Además, la apertura para los ojos suele ser mayor que en el caso de los cascos integrales, hecho que afecta positivamente al campo de visión.

A modo de **resumen**, los cascos off-road son cascos con un nivel de protección elevado, orientados al uso deportivo de la motocicleta. Por ello incluyen una visera pero no disponen de

pantalla, su protección aerodinámica es reducida y su aislamiento acústico es prácticamente nulo. Son cascos muy ligeros, con gran ventilación y una apertura mayor para los ojos, de modo que el campo de visión es muy elevado.



Figura 6. Ejemplo de casco off-road. [6].

2.2.5. Trail

Los cascos trail se encuentran situados a medio camino entre los cascos off-road y los cascos integrales. Se trata de cascos compuestos por una calota de una sola pieza y que disponen de una mentonera. Disponen de una visera y una gran apertura para los ojos como los cascos off-road pero, además, incluyen una pantalla como los integrales. Debido a esto, se trata de cascos con una protección algo inferior a los cascos integrales, menor protección aerodinámica y más ruidosos, pero más ligeros que estos además de más cómodos debido a permitir llevar la cara más despejada.



Figura 7. Ejemplo de casco trail. [7].

2.3. Tipos de cierres

En el mercado actual, se distinguen principalmente tres tipos de cierres: cierre de doble anilla o doble D, cierre rápido y cierre micrométrico. En el presente apartado se realizará una pequeña descripción de cada tipo aportando ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

2.3.1. Doble anilla o doble D

Se trata del tipo de cierre más seguro de los tres presentados y el único homologado para su uso en circuito. Está compuesto por dos anillas y una cinta. La cinta se inserta, en primer lugar, por las dos anillas y, posteriormente, por una sola, permitiéndose así un apriete más seguro y preciso, lo que en caso de accidente permitirá al casco mantenerse en su posición idónea. A diferencia de otros, el desgaste de este cierre es prácticamente nulo debido a que no existen mecanismos complejos de cierre. Además, en caso de sufrir algún tipo de tirón de la cinta, el cierre se apretará en lugar de abrirse, aumentando así su fiabilidad. Sin embargo, su sistema de ajuste provoca que este tipo de cierre sea más incómodo de manipular o incluso imposible en caso de hacerlo con guantes. El único posible fallo de este tipo de cierre podría tener lugar en el caso de que la cinta se rompiera. Suele ser incluido principalmente en cascos de gama media-alta.



Figura 8. Ejemplo de cierre de doble anilla o doble D. [8].

2.3.2. Cierre rápido

Suele ser incluido en cascos de gama baja o media-baja debido a que son poco seguros. El mecanismo es similar al incluido en los cascos de bicicleta, donde un muelle o un sistema de ajuste similar al de un cinturón de coche son los encargados de mantener el cierre. Son también conocidos como cierre de “click”. Al tener un sistema de cierre mecánico, como puede ser un muelle, sufre un gran desgaste con el paso del tiempo y puede llegar a fallar, provocando la apertura del cierre y que el ajuste del casco se pierda. Sin embargo, la facilidad de uso de este tipo de cierres es muy elevada y permite incluso su manipulación con guantes.



Figura 9. Ejemplo de cierre rápido. [9].

2.3.3. Cierre micrométrico

A pesar de ser el más inseguro de todos, este tipo de cierre es el más común en el mercado junto al de doble D. Su funcionamiento se basa en una tira de plástico o metal (según la calidad) que cuenta con pequeñas incisiones donde el sistema de cierre es fijado. Debido a la fuerza que ejerce el sistema de cierre sobre la tira dentada, el desgaste es muy superior al de los otros tipos de cierre y, por tanto, la posibilidad de fallo superior. Sin embargo, al igual que el cierre rápido, la facilidad de uso del cierre micrométrico es muy superior a la del cierre del doble D, siendo incluso posible su manipulación con guantes.



Figura 10. Ejemplo de cierre micrométrico. [10].

2.4. Materiales de la calota exterior

La calota exterior es la cáscara exterior del casco que recibe en primer lugar el impacto en caso de accidente. Su principal función es la de distribuir el impacto en caso de caída. La variedad de materiales utilizados para la calota exterior es interminable debido a las diversas combinaciones de materiales. Sin embargo, en el presente apartado se tratará de realizar una clasificación básica presentando ventajas e inconvenientes de cada uno de los tipos.

2.4.1. Policarbonato o resina termoplástica

Suele ser incluido en cascos de gama baja. Sus propiedades suelen ser peores que las de otros materiales. La caducidad de los cascos fabricados en policarbonato o resina termoplástica suele fijarse en los 5 años debido a la degradación que sufren con el paso del tiempo. Los termoplásticos disponen de una resistencia muy elevada respecto al impacto seco o punzonamiento, es decir, son capaces de absorber de manera muy efectiva la energía de un impacto en un solo punto. Sin embargo, el objetivo del casco es, precisamente, repartir la energía del impacto en una superficie mayor, de manera que las consecuencias en el cerebro puedan verse minimizadas. Además, ante un accidente, este tipo de material se abolla con el objetivo de absorber la fuerza del impacto.

2.4.2. Fibra de vidrio

Es el material del que suelen estar fabricados los cascos de gama media-alta debido a que absorbe la fuerza del impacto fracturándose y la reparte en una superficie mayor en lugar de concentrarla como el policarbonato. Por tanto, es un material mucho más seguro y ofrece mayor protección que las resinas termoplásticas. Sin embargo, la fibra de vidrio es más frágil. Por tanto, en caso de que el casco sufra una caída, este debe cambiarse por otro ya que las fibras pueden estar rotas y no absorber los impactos de igual manera en el futuro. Su precio, aún siendo superior al del policarbonato, sigue siendo no muy elevado, especialmente si se compara con materiales como el kevlar o la fibra de carbono. En cuanto a su caducidad, al igual que el resto de materiales de fibras, tiene una vida útil de 7 años.

2.4.3. Kevlar

El kevlar suele estar destinado, casi exclusivamente, a la competición debido a su elevado coste y suele utilizarse de manera combinada con la fibra de carbono. Está formado mediante el encadenamiento de moléculas en un cristal polímero rígido. El kevlar es un material muy flexible y de gran resistencia al impacto, aunque inferior a la fibra de carbono. Además, se trata de un material con una alta resistencia a la abrasión, cualidad muy importante en este caso debido a las altas temperaturas que pueden alcanzarse a causa del rozamiento por deslizamiento en caso de accidente. Al igual que los otros materiales, los cascos de este material pueden ser utilizados hasta 7 años sin ser cambiado.

2.4.4. Fibra de carbono

Al igual que el kevlar, la fibra de carbono suele estar limitada a su uso en competición. Consiste, de manera simplificada, en una tela formada a partir de hebras delgadas de grafito colocadas de manera que estas se crucen para aportar resistencia. Se trata de un material muy resistente y ligero. Sin embargo, su flexibilidad y su resistencia a la abrasión son inferiores a la del kevlar, de ahí que su uso suela ser combinado ya que se trata de un material muy quebradizo. Las propiedades de los materiales se conservan durante 7 años, por lo que tienen una caducidad más tardía que los cascos de policarbonato.

2.4.5. Tricomposite

Se trata de un material formado por una combinación de fibra de vidrio, kevlar y fibra de carbono. Suele ser utilizado en la mayoría de cascos de gama alta ya que combina las mejores propiedades de cada uno de estos tres materiales. Su nivel de resistencia a la abrasión es alto y su capacidad para absorber golpes es muy elevada, además de ser un material con cierta flexibilidad y ligero. Su precio, aún siendo superior a la fibra de vidrio o al policarbonato, no es extremadamente elevado e inferior al kevlar o a la fibra de carbono. Suele considerarse como la mejor opción para un casco de motocicleta. Al combinar estos tres materiales, su caducidad está fijada en 7 años.

2.5. Revestimiento interior

El revestimiento interior se trata de la zona del casco situada en el interior de la calota exterior y que, en su capa más superficial, entra en contacto con la cabeza. Se pueden diferenciar dos principales partes:

- **Calota interior.** Suele estar fabricada en espuma poliestireno expandido de alta densidad (EPS). Su principal objetivo es el de disipar la energía producida por el impacto en caso de caída. En caso de un gran impacto, este material se deforma para poder disipar aún más energía y, desplazando la cabeza mínimamente, evitar que esta sufriera un impacto contra una superficie sólida. Su grosor es variable según el área de la cabeza que recubre.

Este material cuenta con una desventaja y es que la deformación o destrucción del material (método por el que se absorbe la energía del impacto) tiene lugar a partir de cierta velocidad. Cuando el impacto tiene lugar a una velocidad menor que esta velocidad límite, toda la energía del golpe es absorbida por la cabeza al no poder el EPS absorberla. Este inconveniente ha sido solucionado gracias a las piezas diseñadas para el casco *6D Helmet* creado por Bob Weber y Robert Reisinger. Son denominadas *ODS* u *Omni Directional Suspension*. Consisten en unas piezas formadas por dos discos unidos entre sí por un elastómero que permite su unión elástica, absorbiendo así la energía a bajas velocidades y evitando que la cabeza sufra la aceleración angular del impacto que puede acabar provocando una conmoción cerebral. [11].

- **Acolchado interior.** Debido al contacto directo con la cabeza, debe estar construido en un material duradero, al estar en contacto con la grasa o productos que puedan utilizarse en el pelo, y cómodo, ya que va a ser utilizado durante largos periodos de tiempo. Además, debe ser antialérgico y antibacterias. Usualmente, suele ser también desmontable y lavable para aumentar la higiene y poder evitar posibles problemas derivados de la humedad que pueda quedarse retenida. Suele estar fabricado en un algún tipo de material textil. Marcas como *Arai* disponen de materiales propios como *Dry-Cool®* que poseen propiedades características.

2.6. Pantalla

La pantalla del casco es la pieza que protege la cara y cubre la abertura para los ojos. Su material de fabricación suele ser policarbonato. Debe ser lo suficientemente gruesa como para soportar impactos de los diversos objetos que pueda sufrir, pero sin ser tan gruesa que pueda reducir visibilidad. Según la calidad de la pantalla, esta puede contar con diversos tratamientos como protección UV o tratamiento antiarañazos. La mayoría de pantallas en el mercado suelen ser transparentes, ahumadas o coloreadas (iridium), aunque el mercado ofrece otros tipos de pantallas como las fotocromáticas. En la actualidad, la mayoría de cascos del mercado disponen de sistemas de acoplamiento de viseras que permiten su cambio.

En ocasiones, se ofrece una pantalla solar secundaria que se despliega permitiendo una protección visual frente a la luminosidad del sol como si se dispusiera de una pantalla ahumada. Sin embargo, la pantalla principal continúa siendo transparente de modo que pueda ser utilizada con o sin protección solar según las condiciones ambientales.

Debido a las altas temperaturas que se alcanzan en el interior del casco, en muchas ocasiones, especialmente con una temperatura ambiente baja, suele formarse vaho en el interior de la pantalla impidiendo una correcta visibilidad. Para solucionar dicho problema, la compañía *PinLock*[®] lanzó al mercado el producto homónimo.

2.6.1. PinLock[®]

Tal y como se ha mencionado previamente, *PinLock*[®] permite evitar la formación de vaho en el interior de la pantalla. Se trata de una lámina de plástico y silicona que se une al interior de la propia pantalla siempre y cuando esta cuente con el sistema de ajuste necesario. Esta lámina ejerce una función de doble pantalla creando una cámara de aire entre la lámina y la pantalla, evitando la condensación.

A modo de resumen, en la Figura 11 se incluye un gráfico donde aparecen representadas las distintas partes que componen un casco de motocicleta.

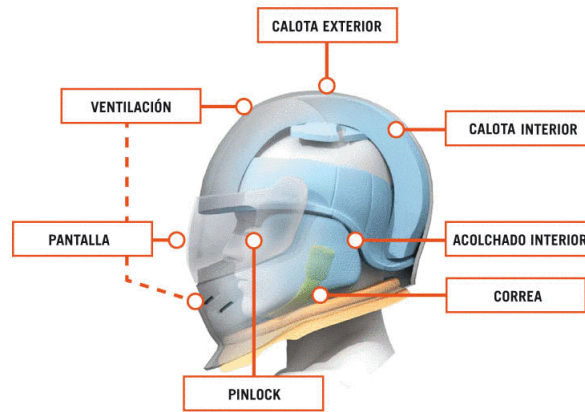


Figura 11. Principales partes de un casco de motocicleta. [12].

2.7. Aerodinámica y sonoridad

A pesar de ser un factor infravalorado en la selección y el diseño de un casco, la aerodinámica y la sonoridad derivada de esta son de gran importancia. En primer lugar, debido a la incomodidad que pueden provocar al portador del casco y, en segundo lugar, debido a la posibilidad de que ocurran situaciones de riesgo fácilmente evitables. Circular con un casco poco aerodinámico provocará que la cabeza esté sujeta a ciertas fuerzas que provoquen su movimiento y obliguen a ejercerse fuerzas contrarias para contrarrestarlas que puedan acarrear lesiones o esfuerzos innecesarios. Por otro lado, la sonoridad, especialmente a altas velocidades, provocará un constante sonido o zumbido debido al aire que, además, se verá incrementado por la reverberación dentro del casco. Dicha sonoridad puede acabar provocando jaquecas o cansancio. En cuanto a la seguridad, las fuerzas aplicadas en la cabeza pueden provocar, además de lesiones cervicales, desequilibrios que puedan acarrear caídas o accidentes. La sonoridad, por su parte, puede provocar la no detección de sonidos que alerten de una situación de peligro con las consecuencias que esto pueda suponer.

En cambio, si el uso del casco está orientado únicamente a la circulación urbana, las características de aerodinámica y sonoridad pueden ser sacrificadas en favor de otras características que tomen mayor importancia. Esto se debe a que las velocidades que se alcanzarán serán inferiores y los efectos serán, por tanto, menores o inexistentes.

Diversas características como la ventilación o los mecanismos de sujeción de la pantalla pueden influir en la sonoridad de un casco. En el grupo de los mecanismos de sujeción de pantalla debe mencionarse la existencia de los sistemas *Aerosilent* que permiten que el casco sea

mucho más silencioso que uno con mecanismo interno, es decir, con tapa exterior del sistema de sujeción. Su funcionamiento básicamente permite, mediante dos muelles, que la pantalla quede empotrada entre las gomas que recubren la abertura del casco de manera que se cree un efecto ventosa.

2.8. Cascos plegables o desmontables existentes

En el mercado, actualmente, están disponibles diversos cascos plegables o desmontables.

En el sector de las bicicletas, la oferta de cascos de enduro con mentonera o visera desmontable es muy variada, existiendo, entre otros, cascos como el *Bell Super 3R MIPS*⁷, el *Catlike Forza 2.0*⁸, el *Giro Switchblade*⁹ y o el *Uvex Jakkyl*¹⁰.

También, en los últimos años, el número de cascos plegables para bicicletas ha sufrido un incremento destacable. Entre los cascos plegables para bicicleta destacan:

- **Overade Plixi:** Con un sistema de plegado y desplegado muy simple consistente en un simple “click” facilita su almacenamiento reduciendo notablemente su volumen hasta un tercio del original, siendo posible incluso almacenarlo en una mochila. Además, su peso es algo inferior a los 500 gramos, haciendo de él un casco ligero y, por tanto, incrementando su comodidad. Homologado para su uso en Europa y Estados Unidos, cumple las certificaciones EN1078 y US CPSC y ha obtenido el prestigioso premio *Design Observer*. Cuenta con diversos accesorios para modificar su estética e incluso proteger contra el frío y la lluvia.

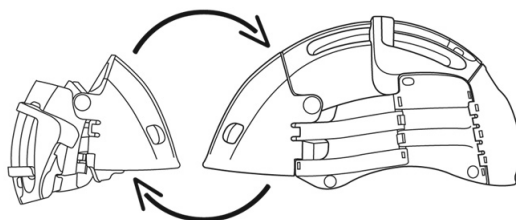


Figura 12. Casco *Overade Plixi*. [13].

⁷https://www.bellhelmets.com/en_eu/super-3r-mips-equipped-1

⁸<http://www.catlike.es/blog/es/cascos-de-enduro-catlike-forza/>

⁹http://www.giro.com/eu_en/switchblade/

¹⁰<https://www.uvex-sports.com/en/cycling/cycling-helmets/uvex-jakkyl-hde-red-black-mat/>

El casco es comercializado por *Overade*, propiedad de Philippe Arrout y Clément Cailleau. Philippe tuvo la idea de crear un casco de bicicleta desmontable tras la implantación del sistema de bicicleta *Vélib* en 2007 en París. En julio de 2009 presentó al sistema de patentes el mecanismo de plegado e, incluso antes de su lanzamiento, en noviembre de 2011, el casco obtuvo el premio a la estética *Etoile de l'Observateur du design*. En 2012, Arrout contactó con Cailleau para comercializar el casco, comercializándose finalmente en la primavera de 2013. [14].

- **Carrera Foldable:** La marca *Carrera*, patrocinadora del equipo ciclista de Claudio Chiapucci entre 1984 y 1996 donde empezó a despuntar Marco Pantani, cuenta con una línea de cascos para bicicleta llamada *Foldable* compuesta por los modelos *Crit*¹¹, *Prem_C*¹² y *_C*¹³. A pesar de contar 3 modelos distintos, la base de todos es la misma. Son cascos que para facilitar su almacenaje permiten reducir su volumen en un 20 % cuando se pliegan. Su reducido peso, de unos 360 gramos en el caso del modelo *Crit*, convierte esta línea de cascos en opciones muy cómodas de utilizar.



Figura 13. Casco *Carrera Foldable Crit*. [15].

- **Closca Helmet:** A pesar de su simple aspecto, el casco *Closca* es un casco plegable, con doble certificado de seguridad, un innovador sistema de ventilación e incluso un sistema NFC que permite contactar con un número de emergencia con el simple contacto con el teléfono móvil. El casco *Closca* cumple con las certificaciones US CPSC y EN1078 que homologan su uso en Estados Unidos y Europa. Gracias a su innovador diseño de plegado, permite reducir su volumen más de un 50 %. Una vez plegado, el casco tiene un tamaño similar al de un libro. Su peso, de entre 250 y 290 gramos según la talla, permite que su

¹¹ <http://www.carreraworld.com/es/es/sport/car/2015/FOLDABLE-CRIT.E004967DE5558.html>

¹² http://www.carreraworld.com/es/es/sport/car/2015/FOLDAB-PREM_C.E004677FY5558.html

¹³ http://www.carreraworld.com/es/es/sport/car/2014/FOLDABLE_C.E004666DX5558.html

transporte y uso sean más cómodos. [16].



Figura 14. Casco *Closca Helmet*. [17].

El casco *Closca*, comercializado por la empresa valenciana *Closca Design*, recibió el premio de diseño *Red Dot Award 2015*, uno de los más importantes del mundo. Además de en su página web, el casco pudo ser adquirido durante su lanzamiento en septiembre de 2015, en las tiendas del Museo de Arte Moderno de Nueva York (MoMA) y en el Museo del Diseño de Londres. Debe mencionarse que *Closca Design* fue fundada en 2013 en la Universidad Politècnica de València con el apoyo de la consultora creativa *CuldeSac* por Carlos Ferrando y Rafael Cerdá. Actualmente, empresas como *Airbus* o *Telefónica* apoyan la empresa e incluso ofrecen subvenciones para su compra. [17].

- **FEND Helmet:** Diseñado por Christian Von Heifner, el casco *FEND* es un casco plegable que permite reducir su volumen hasta ocupar una tercera parte una vez plegado. Cuenta con un sistema de ventilación que permite su uso hasta en los ambientes más calurosos. Además cumple las certificaciones US CPSC y EN1078 que habilitan su comercialización en Estados Unidos y Europa respectivamente. Aún a principios de 2018, el casco solo está disponible para su reserva.



Figura 15. Casco *FEND Helmet*. [18].

La idea para el diseño de este casco surgió cuando su propio diseñador, Von Heifner, fue golpeado por un taxi en la ciudad de Nueva York. Cuando sufrió dicho accidente, no llevaba casco por el hecho de que le resultaba molesto cargar con él. Tras el accidente, donde solo sufrió contusiones y magulladuras, creó junto a Sujene Kong, quien ya había trabajado con firmas como *Jimmy Choo* o *Yves Saint Laurent*, la empresa *FEND* y su casco homónimo.

- **Casco Morpher:** Anunciado como el único casco en el mundo que permite su plegado hasta convertirse en plano, este casco ha recibido 7 premios distintos a la innovación y seguridad entre los que destacan el *Edison Gold Award for Innovation*, el *Popular Science Safety Innovation of the Year* o el *Gold Award for the best Safety Innovation at Brussels Eureka* entre otros. Además de estar fabricado en materiales ligeros y cumplir con las certificaciones US CPSC y EN1078, el casco está fabricado casi en su totalidad con materiales reciclables.



Figura 16. Casco *Morpher*. [19].

Jeffrey Woolf, su creador, al igual que el creador del casco *FEND*, tuvo la idea de crear el casco tras sufrir un grave accidente de bicicleta. Woolf, Oficial de la Orden del Imperio Británico (OBE), es un inventor galardonado 2 veces como Inventor Británico del año, periodista, especialista en innovación y consultor de innovación cualificado como *SFEDI Gold*. Tras el accidente, Woolf trabajó en el casco 5 años, lanzándolo al mercado en 2015. [19].

- **BioLogic Pango™:** Basado en la anatomía de un pangolín, presentado en la Figura 17, este modelo permite, mediante el deslizamiento de los laterales del casco y el abatimiento de la parte trasera, reducir su volumen a la mitad aproximadamente. Dispone, además, con un sistema de cierre magnético que permite manipularlo con una sola mano de manera sencilla. Su peso es de aproximadamente 500 gramos. Además, cuenta con la certificación EN1078 europea, pero no con la certificación US CPSC por lo que no está disponible en Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda o Australia. En 2009 recibió el *Eurobike Award*.



Figura 17. Casco *BioLogic Pango*TM y un pangolín. [20] [21].

- **LID Plico:** Con un sistema de plegado muy similar al ofrecido por los cascos *Carrera Foldable* y *FEND*, este modelo comenzará a ser entregado en mayo de 2018. Cuenta con certificación CE EN1078 y US CPSC, cuenta con un peso de 410 gramos, haciendo de él un casco muy ligero. Está fabricado en poliestireno expandido reciclado, obtenido de los embalajes utilizados por los fabricantes de piezas de automóviles en Estados Unidos.



Figura 18. Casco *LID Plico*. [22].

LID Helmets fue fundada en 2011 por Sam Terry, cuando, tras 10 años usando la bicicleta como medio de transporte en Londres, pensó en diseñar un casco plegable para ser utilizado por los usuarios del sistema de bicicletas públicas. Tras 6 años de trabajo, *LID Helmets* lanzó al mercado el modelo *Plico* en 2017. [22].

Además de los cascos mencionados previamente, existe en el mercado de la bicicleta un casco hinchable, anunciado como el airbag para bicicleta, de nombre *Hövding*. Debido a sus características únicas y a la innovación que presenta, será tratado en detalle en la Sección 2.8.1: *Casco Hövding*.

En cuanto al mercado de cascos para motocicleta, destaca el casco *Proteus*, un concepto diseñado por Jessica Dunn, estudiante de diseño en Sydney, Australia.

Existe también un concepto más desarrollado que el casco *Proteus*, el casco *Golem Alpha*¹⁴ que cuenta con las solicitudes de patente FR3031014A1 y FR3031013A1, desarrollado por la

¹⁴<http://www.golem-innovation.com/>

empresa *Golem Innovation*. A pesar de no ser un casco específicamente para motocicletas, se trata de un diseño innovador y que podría ser aplicado a su uso en motocicletas o incluso militar.

Finalmente, un diseño menos innovador, pero que se encuentra actualmente en el mercado, es el casco *Vozz Helmet*. Este casco, a pesar de no ser un casco plegable o desmontable totalmente, está formado por dos piezas distintas.

Debido a su aplicabilidad y similitud con el presente proyecto, ambos modelos serán descritos en detalle en las Secciones 2.8.2: *Casco Proteus*, 2.8.3: *Casco Golem Alpha* y 2.8.4: *Casco Vozz RS 1.0*.

2.8.1. Casco Hövding

El casco *Hövding*, se trata de un casco no tradicional, el cual dispone de un airbag que se activa en caso de accidente. Este airbag se infla en 0,1 segundos con helio y es capaz de absorber un impacto de manera hasta 3 veces más efectiva que un casco tradicional. Para su inflado, el propio casco cuenta con una serie de sensores que recogen los movimientos del ciclista hasta 200 veces por segundo. De esta manera, en caso de que se detecte un movimiento anormal, el airbag puede ser hinchado. Para su funcionamiento, cuenta con una batería con una duración de aproximadamente 9 horas, lo que quizás sea la mayor desventaja del casco. Su recarga puede realizarse mediante un puerto USB. [23].



Figura 19. Casco *Hövding*. [23].

Su invención se encuentra protegida mediante la patente US8402568B2. Además, disponen de la patente EP2313814B1 que permite clasificar eventos previniendo errores en esta clasificación, utilizada para la detección de accidentes.

Según un estudio llevado a cabo en la universidad de Oxford en 2016, un casco con airbag similar al casco *Hövding* puede ofrecer una protección hasta 8 veces superior a la de un casco tradicional de bicicleta. [24].

La idea para el diseño de este casco se inicia en Suecia en 2005 con la implantación de una nueva ley que obligaba a los menores de 15 años a circular en bicicleta haciendo uso de un casco. La implantación de esta ley provocó un gran revuelo sobre si esta obligatoriedad de portar casco debía ser también implementada para adultos. Esto provocó que Anna Haupt y Terese Alstin, dos estudiantes de diseño industrial de la Universidad de Lund, realizaran su Trabajo Final de Máster sobre el diseño de un casco de bicicleta que fuera cómodo de usar.

Desde sus primeros diseños, el casco *Hövding* dotó de gran popularidad ganando premios como la *Venture Cup* en 2006, que promovió la creación de *Hövding Swedeb AB*, la empresa encargada de estos cascos. 7 años después de su primer diseño, el casco obtuvo la certificación para su uso y, en la actualidad, más de 60 000 cascos *Hövding* han sido vendidos.

Hövding Sweden AB es, a día de hoy, una empresa compuesta por 30 empleados, que cotiza en el mercado de valores NASDAQ y ofrece su producto en 16 mercados repartidos por Europa y Japón. Sus oficinas centrales se encuentran situadas en Malmö, la quinta mejor ciudad ciclista según la revista *Wired*. [25].

2.8.2. Casco Proteus

Se trata de un casco jet plegable, tal y como se presenta en la Figura 20, diseñado por la australiana Jessica Dunn. Dunn, una estudiante de 25 años, realizó un intercambio académico en Indonesia, donde, tras cinco meses circulando con su motocicleta, tuvo la idea y decidió crear el concepto del casco *Proteus* que le valió para ser nominada al *James Dyson Award* en 2011.

El casco está compuesto por una capa exterior de resina de policarbonato, para evitar abrasiones y perforaciones. Esta capa cubre una capa de espuma de poliestireno, para absorber el impacto. Finalmente, está compuesto en su interior por una capa de un material flexible que se endurece en caso de recibir un impacto. Al estar diseñado por una estudiante australiana, cumple con los estándares australianos, no con los europeos o estadounidenses, al menos por el momento. Quizás en el momento que se comercialice pueda cumplirlos de igual manera.

Su nivel de plegado permite portar el casco en una mochila o en un compartimento de la propia motocicleta de manera que su transporte sea más cómodo. Como se observa en la Figura 20, su plegado es muy sencillo. En primer lugar se desliza la pantalla, permitiendo que la parte trasera del casco se doble y, posteriormente, se haga lo mismo con los laterales, reduciendo así el volumen que ocupa en torno a un 20 %. El mecanismo de movimiento de la pantalla, a diferencia de los sistemas existentes, permite que el punto de rotación no dependa de la fijación del casco, permitiendo así que esta se deslice a voluntad, facilitando posiciones intermedias.

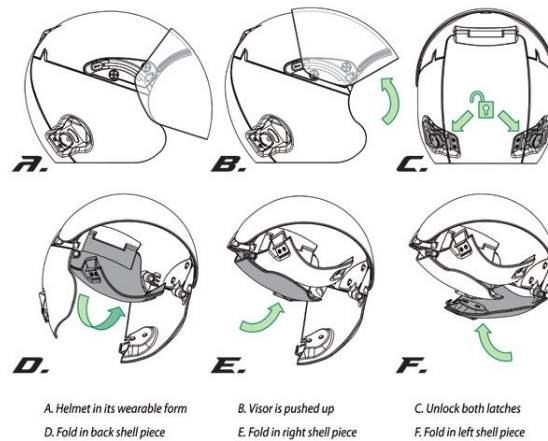


Figura 20. Casco *Proteus*. [26].

A pesar de tratarse de un diseño innovador y totalmente revolucionario, no se encuentran referencias a él en patentes o solicitudes de patente.

2.8.3. Casco Golem Alpha

El casco *Golem Alpha*, a pesar de no ser un casco orientado específicamente para motocicletas sino para deportes de invierno o para bicicletas, se trabaja en versiones especiales para su uso en la industria, el uso militar o las fuerzas de seguridad, por lo que su uso en motocicleta sería posible.

Se trata de un diseño creado por la empresa *Golem Innovation*, que tras 5 años de trabajo, trató de financiar el proyecto mediante la plataforma *Kickstarter*, aunque finalmente no consiguieron el presupuesto necesario de 200 000 €. Su diseño está basado en un pangolín y su habilidad de arrollarse en una bola quedando protegido por sus escamas. El casco, cuando no se encuentra en uso, se retrae permitiendo dejar la cabeza libre y siendo soportado por los hombros, quedando en una posición que rodea el cuello.

La compañía establece una principal diferencia entre su casco y el resto de cascos del mercado. Mientras que los cascos tradicionales cuentan con una única estructura plástica, el *Golem Alpha* cuenta con varias hojas que se encuentran superpuestas aumentando su resistencia. Además, cuenta con un sistema que permite su retracción en solo 2 segundos, haciendo de él un casco muy cómodo e útil.



Figura 21. Casco *Golem Alpha*. [27].

Debido a su diseño, el casco reposa sobre los hombros y cuenta con un sistema de sujeción alrededor del cuello. Este sistema de sujeción dispone de un sistema anti-ahogamiento que aumenta la seguridad en caso de accidente. En caso de que el sistema de sujeción sea forzado y pueda provocar el ahogamiento del portador, este es automáticamente liberado para evitar esta situación. Este sistema de sujeción cuenta con la solicitud de patente FR3031013A1.

Cuenta también con un sistema de seguridad que solo permite que el casco se retraiga cuando los dos mecanismos de cierre son accionados simultáneamente, de manera que no pueda tener lugar una retracción inesperada en el caso de que un impacto lateral accionara uno de los mecanismos. Este sistema de cierre cuenta con la solicitud de patente FR3031014A1.

2.8.4. Casco Vozz RS 1.0

El casco *Vozz RS 1.0* es comercializado por la empresa de nombre homónimo y su principal característica distintiva es el uso del sistema *Voztec*[®]. Este sistema permite la apertura del casco por la parte trasera. De este modo, la parte inferior, con una forma más redondeada, se adapta mejor a la cabeza del portador y aumenta la seguridad del casco. Además, permite un desmontaje de emergencia (*Safety Release System* o *S.R.S.*) especialmente útil en caso de accidente y que permite a los servicios de emergencia realizar su labor de manera más rápida y efectiva al no

tener que cortar el casco. Además mediante este sistema no es necesario la inclusión de un cierre de los mencionados en la Sección 2.3: *Tipos de cierres*, ya que su forma más cerrada en la parte inferior no hace necesario este sistema. Este sistema cuenta con la patente US9032557B2.

El casco cuenta con homologación ECE, DOT y homologación australiana/neozelandesa.



Figura 22. Casco Voxx RS 1.0. [28].

2.9. Accidentes

Como ya se mencionó en la Sección 1.1: *Motivación del proyecto*, la motocicleta es considerada como uno de los medios de transporte más peligrosos. El riesgo de sufrir un accidente mortal es 17 veces superior en motocicleta que en coche y en el 95 % de los accidentes mortales en los que una motocicleta se ve implicada, la víctima suele ser el motociclista.

En esta situación, el casco se presenta como, posiblemente, el elemento de seguridad más crítico, ya que las posibilidades de muerte se reducen con su uso en un 30 % y las de sufrir una lesión craneal de gravedad en un 40 %. Además, la tasa de siniestralidad de motocicletas es unas 28 veces superior a la de los turismos.

Según un estudio publicado en la *Canadian Medical Association Journal*, los accidentes de motocicleta causan tres veces más lesiones, diez veces más graves, seis veces más costes médicos y cinco veces más muertes que los de turismo. Debe mencionarse que este estudio tuvo lugar entre 2007 y 2013 en Ontario, la provincia más grande de Canadá, que cuenta con una población superior a los 13,6 millones de personas. Los accidentados eran en un 81 % hombres y contaban con una edad promedio de 36 años. [29].

En España, según la *Fundación Mutua Madrileña*, el perfil del accidentado en motocicleta corresponde a un hombre con una edad comprendida entre los 25 y los 30 años de edad, siendo la velocidad o la falta de experiencia las principales causas de accidente provocados por los

propios motoristas. [30]. Sin embargo, según datos de la *Dirección General de Tráfico* en 2016 “son los grupos de 25 a 34 años, de 35 a 44 años y de 45 a 54 años los que tienen una mayor presencia, acumulando el 74 % de los fallecidos, el 73 % y el 74 % de los heridos hospitalizados y no hospitalizados, respectivamente”. [1]. Además, las motocicletas participaron en el 24 % de los accidentes con víctimas en España, componiendo solo el 10 % del parque automovilístico. Aún siendo obligatorio su uso, un 2 % de los usuarios de motocicletas fallecidos en vías interurbanas españolas no lo utilizaban. En vías urbanas, este porcentaje se dispara hasta el 9 %.

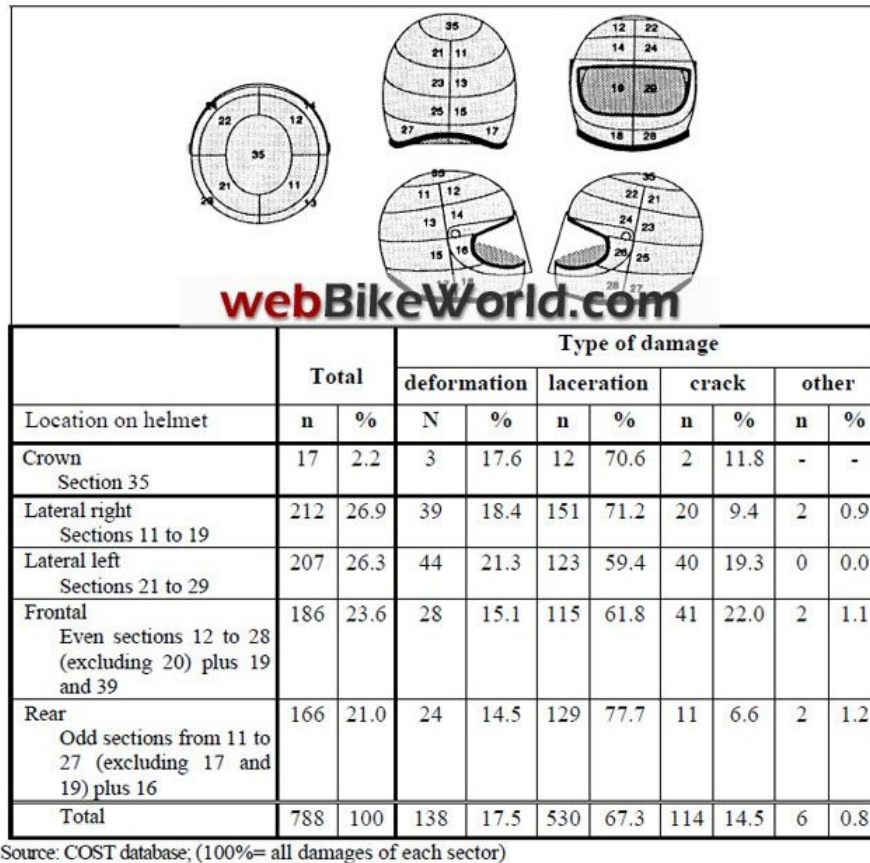


Tabla 3. Localización de daños externos del casco según su naturaleza. [31].

Entre la multitud de lesiones sufridas por usuarios de motocicleta, destacan las abrasiones, fracturas, traumatismos o dolores varios.

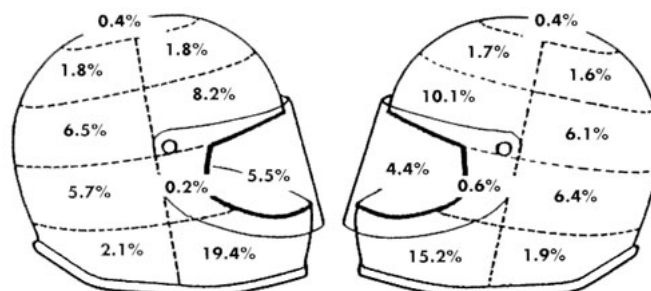


Figura 23. Distribución porcentual de impacto según la zona del casco. [32].

En la Tabla 3 y la Figura 23 se presentan dos estudios sobre impactos y daños en cascos de motocicleta sufridos en accidentes. De la primera, puede observarse el motivo por el que los cascos jet son los más peligrosos. En un 34,6 % de las veces, el impacto sufrido en un accidente tuvo lugar en el mentón, zona no cubierta por este tipo de cascos.

Para reducir o evitar las lesiones provocadas por estos accidentes han surgido diversas innovaciones como el *Air Pump System* o el Airbag para cascos o chaquetas moteras.

En cuanto al airbag para cascos, además de el casco *Hövdning*, orientado a su uso en bicicleta y presentado previamente, existe una solución para motocicletas ofrecida por la compañía catalana *APC Systems*. Consiste en un casco que cumple con la homologación ECE/ONU R22 y que incorpora un airbag recargable que se infla mediante un dispositivo electrónico encargado de detectar posibles situaciones de peligro. De esta manera, consigue detectar y activar el sistema de hinchado en solo 1,5 décimas de segundo. El airbag que incorpora permite proteger la zona cervical a la vez que estabiliza el cuello y protege la parte superior de la espalda, reduciendo de esta manera la probabilidad de sufrir lesiones. El dispositivo electrónico encargado de activar el airbag se encuentra alojado en la propia motocicleta y por medio de radiofrecuencia activa el inflado. Cuenta con la patente ES2317745B1 en España y la solicitud de patente US20080030010A1 en Estados Unidos. Su comercialización comenzó el 13 de mayo de 2008 en España pero, en la actualidad, su página web¹⁵ se encuentra inoperativa.



Figura 24. Casco de *APC Systems* tras su inflado. [33].

El *Air Pump System* por su parte busca evitar las lesiones que pueden provocarse en caso de que el ajuste del casco a la cabeza no sea el adecuado. Al permitir un ligero desplazamiento de la

¹⁵<http://www.apcsystem.com/>

cabeza, puede provocar lesiones cervicales. El *Air Pump system* está compuesto por una serie de válvulas y tubos situados entre la calota interior y el acolchado del casco, que permiten hinchar las almohadillas para permitir un ajuste personalizado. Para una descripción más detallada, puede consultarse su patente US5890232A¹⁶.

2.10. Legislación vigente y homologación

Según el Reglamento General de Circulación 1428/2003 y su posterior modificación mediante el Real Decreto 965/2006, “los conductores y pasajeros de motocicletas o motocicletas con sidecar, de vehículos de tres ruedas y cuadriciclos, de ciclomotores y de vehículos especiales tipo «quad», deberán utilizar adecuadamente cascos de protección homologados o certificados según la legislación vigente, cuando circulen tanto en vías urbanas como en interurbanas. Cuando las motocicletas, los vehículos de tres ruedas o los cuadriciclos y los ciclomotores cuenten con estructuras de autoprotección y estén dotados de cinturones de seguridad y así conste en la correspondiente tarjeta de inspección técnica o en el certificado de características de ciclomotor, sus conductores y viajeros quedarán exentos de utilizar el casco de protección, viniendo obligados a usar el referido cinturón de seguridad cuando circulen tanto en vías urbanas como interurbanas”. [34] [35].

País	Homologación
USA	DOT
Europa	ECE/ONU R22
Brasil	NBR 7471
Taiwan	CNS
Australia	AS 1698-2006
Japón	SG o JIS
Nueva Zelanda	NZ 5430
Corea	KS G 7001
Malasia	SIRIM
Tailandia	TIS
India	IS 4151
Singapur	PSB
Canadá	CSA CAN3-D230-M85

Tabla 4. Tabla de homologaciones por países

Sobre la definición de “cascos de protección homologados o certificados según la legislación vigente”, el Reglamento Número 22 establece las condiciones uniformes y el reconocimiento

¹⁶<https://patents.google.com/patent/US5890232>

recíproco de la homologación para equipos y piezas de vehículos a motor según el Acuerdo de Ginebra del 20 de marzo de 1958.

En la actualidad, existen tres principales tipos de homologaciones, aunque en la Tabla 4 se incluyen algunas más. Las tres principales homologaciones son la Snell y DOT para Estados Unidos y la ECE/ONU R22 para Europa.

La homologación Snell, de la cual se encarga la *Fundación Snell Memorial* como organismo independiente, testea y evalúa los distintos cascos que están disponibles en el mercado estadounidense. En un principio la homologación se basó en el método *Snell M2005* donde primaba la resistencia frente a la absorción y se realizaban pruebas con deceleraciones en golpes de entre 250 y 300 g. En la actualidad, el método utilizado es el *Snell M2010*, introducido en 2013, donde las mediciones se realizan con deceleraciones de 275 g, un valor más estandarizado.

Por su parte, la homologación DOT, siglas de *Department of Transport*, es la homologación más popular en Estados Unidos y la aplicada por el Gobierno de dicho país. Las pruebas que se realizan en este caso cuentan con deceleraciones de hasta 250 g, protegiendo hasta el 90 % de los tipos de impactos posibles. En dichas pruebas prima la absorción sobre la resistencia a los impactos. Este hecho se debe a que existen ciertos estudios donde se indica que la absorción de la fuerza de un impacto es incluso más importante que resistirlo. El principal problema de esta certificación se encuentra en que el propio fabricante es el encargado de declarar que su producto cumple con dichos estándares y los etiqueta como tal. Tras ello, los cascos son probados y, en caso de no superar las pruebas, pueden perder su certificación. Sin embargo, esto puede suceder una vez los cascos ya se encuentren a la venta.

Finalmente, la homologación ECE/ONU R22, la homologación Europea y, por tanto, la única válida en España, es valedera en más de 50 países. Además es certificada para ser utilizada en diversas competiciones de motor como la Fórmula 1 o MotoGP. Sus características de homologación son similares a las de la DOT y un casco con certificación DOT suele cumplir la normativa ECE/ONU R22 y viceversa. La principal diferencia se encuentra en que en la ECE/ONU R22 requiere que los cascos sean probados por un cuerpo independiente antes de ser puestos a la venta, a diferencia de lo que sucede con la certificación DOT.

2.10.1. Homologación ECE/ONU R22

Para la homologación de un casco se realizan tres principales fases de pruebas. Estas son las pruebas de homologación, cualificación y conformidad. Las primeras son realizadas en cascos prototipos y en su mayoría son de tipo destructivo. El objetivo de estas pruebas es la comprobación de que el diseño y la fabricación del casco cumple con los estándares exigidos. Las segundas son realizadas en cascos fabricados en serie pero que aún no han sido puestos a la venta. De nuevo, se trata de una serie de pruebas destructivas que permiten comprobar que la fabricación en grandes cantidades de los cascos es viable sin necesidad de reducir la calidad de estos. Finalmente, las pruebas de conformidad de la producción son las encargadas de comprobar la calidad del producto una vez homologado.

Las pruebas llevadas a cabo para la certificación, tras un proceso de acondicionamiento, son:

- **Ensayos de absorción de impacto:** la capacidad de absorción de impacto se determina registrando, en función del tiempo, la aceleración impartida a una falsa cabeza, provista del casco, cuando cae en caída libre, guiada a una velocidad de impacto específica sobre un yunque fijo de acero.

Estos impactos tienen lugar en los siguientes puntos:

- B. En el área frontal, situado en el plano longitudinal vertical de simetría del casco y formando un ángulo de 20° medido desde el punto Z por encima del plano AA'.
- X. En el área lateral izquierda o derecha, situado en el plano transversal vertical central y 12,7 mm por debajo del plano AA'.
- R. En el área trasera, situado en el plano longitudinal vertical de simetría del casco y formando un ángulo de 20° medido desde el punto Z por encima del plano AA'.
- P. En el área con un radio de 50 mm y centro en la intersección del eje vertical central y la superficie externa de la calota del casco.
- S. En el área inferior de la mentonera, situado dentro del área limitada por un sector de 20° dividido simétricamente por el plano longitudinal vertical de simetría del casco.

Cada ensayo será realizado en primer lugar con un yunque plano y después con un yunque hemiesférico sobre el mismo casco y en dos puntos próximos pero separados. La distancia

entre los dos puntos será de 15 mm, excepto para los dos puntos X, para los que la distancia será 60 mm.

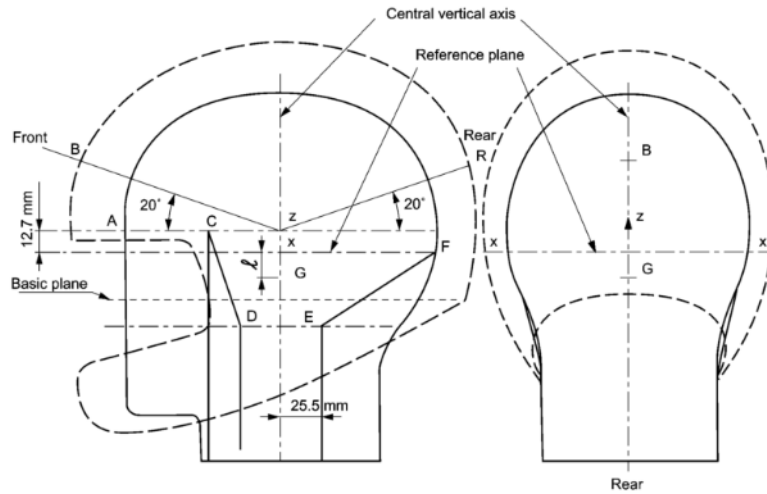


Figura 25. Identificación de puntos de impacto. [36].

Los impactos en los puntos B, X, P y R son realizados, en dicho orden, con ambos tipos de yunques mientras que los realizados en el punto S solo son realizados con el yunque plano. En el caso del primer grupo de puntos, el impacto se realiza a una velocidad de 7,5 m/s mientras que el impacto en el punto S se realiza a 5.5 m/s. Esta velocidad es medida entre 1 y 6 cm antes del impacto con una precisión del 1 %. El orden de impacto es B, X, R, P, S. La eficiencia de la absorción es considerada suficiente cuando los resultados de la aceleración medidos en el centro de gravedad de la cabeza no exceden un valor de 275 g y el *Head Injury Criterion* no exceda un valor de 2400. Este valor, definido por la NHTSA en 1972, es calculado mediante la Ecuación 1.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2,5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

El yunque plano usado cuenta con una superficie de impacto circular de 130 mm de diámetro. El yunque hemiesférico cuenta con dos lados que forman entre sí un ángulo de 105°. Cada lado tiene una pendiente de 52.5° respecto a la vertical y su encuentro se produce en un eje redondeado con un radio de 15 mm. Su altura debe ser de al menos 50 mm y la longitud nunca menor a 125 mm.

La orientación del yunque hemiesférico será de 45° respecto al plano longitudinal vertical en los impactos en los puntos B, P y R; y de 45° respecto al plano base en el punto X.

- **Ensayos de proyecciones y fricción superficial:** para la presente prueba existen dos métodos distintos.

- Método A: las fuerzas rotacionales inducidas causadas por las proyecciones en el casco y la fricción con la superficie externa del casco que ocurren cuando el casco, montado sobre una falsa cabeza, cae en caída libre contra un yunque inclinado son medidas en el eje longitudinal del yunque. El valor máximo de la fuerza y su integral respecto al tiempo durante el impulso positivo son usados como criterios de rendimiento. El impacto se realizará a una velocidad de 8,5 m/s, medida justo antes del impacto.

El yunque utilizado contará con un ángulo de 15° respecto a la vertical y un ancho mínimo de 200 mm. La superficie de abrasión puede estar formada por barras o por una lámina abrasiva. En el caso de las barras, se dispondrán al menos 5 barras horizontales distanciadas 40 mm, medido del centro de una barra al centro de la otra. Estarán fabricadas en acero, tendrán una altura de 6 mm y un ancho de 25 mm. En la arista superior estarán mecanizadas con un radio de 1 mm y en la parte inferior, los últimos 15 mm contarán con un chaflán a 15°. En el caso de la lámina abrasiva, se trata de una lámina de óxido de aluminio abrasivo de grado 80 de una longitud mínima de 225 mm.

Se considerará un valor aceptable una fuerza longitudinal menor a 2500 N medida en el yunque con barras. Además, su integral respecto al tiempo durante la duración del impacto no superará los 12,5 Ns. En el caso del yunque con lámina abrasiva, la fuerza longitudinal deberá ser menor a 3500 N y la integral menor a 25 Ns.

- Método B: las fuerzas rotacionales inducidas causadas por las proyecciones en el casco y la fricción con la superficie externa del casco son estudiadas en primer lugar por un impacto de cizalladura utilizando un borde de cizalla. Para la fricción, se desplazará una superficie que deslizará sobre la superficie del casco. Ambos movimientos estarán provocados por un peso.

El borde de cizalla se colocará distanciado 50 mm de la zona proyectada y hará contacto lateral con dicha zona una vez el peso es liberado en caída libre. Para la fricción se usará, al igual que en el método A, una lámina de óxido de aluminio abrasivo de grado 80 con una longitud mínima de 300 mm.

El peso utilizado tendrá una masa de 15 Kg y, para el impacto por cizalladura, este

peso tendrá una caída libre de 500 mm con una posibilidad de caer durante 400 mm adicionales. Estas dimensiones serán iguales para la prueba de fricción.

- **Ensayos de rigidez:** mediante dos placas paralelas se aplica una carga conocida a lo largo del eje longitudinal o transversal. Las placas deberán tener una superficie de manera que contenga, como mínimo, un círculo de 65 mm de diámetro.

En primer lugar se aplica una carga inicial de 30 N sobre las placas, que contarán con una velocidad mínima de 20 mm/min. Tras dos minutos, se medirá la distancia entre las placas. Posteriormente, se aumentará la carga en escalones de 100 N cada dos minutos hasta un máximo de 630 N. Las placas deberán contar, de nuevo, con una velocidad mínima de 20 mm/min. Dos minutos después de la aplicación de esta carga de 630 N se medirá, de nuevo, la distancia entre placas. Finalmente, se reducirá la carga a 30 N con una velocidad mínima de las placas de 20 mm/min, procediendo de nuevo a su medida.

En el ensayo a lo largo de cada eje, la deformación medida bajo la carga de 630 N no deberá exceder la medida bajo la carga inicial de 30 N en más de 40 mm. De igual manera, tras reducir la carga a 30 N, la deformación medida no deberá exceder en más de 15 mm la medida al aplicar la carga de 30 N inicial.

- **Ensayos dinámicos del sistema de retención:** se monta el casco sobre una falsa cabeza y se sostiene por su calota exterior. La falsa cabeza sobre la que se monta el casco es equipada con una carga de 15 kg, también llamada precarga, y con una carga de 10 kg, también llamada masa de caída. La masa de caída se liberará desde una altura de 750 mm y se determinará el desplazamiento vertical del punto de aplicación de la fuerza. Este desplazamiento deberá ser siempre inferior a 35 mm.

Tras dos minutos, se realizará de nuevo una medición del desplazamiento, teniendo que ser este menor a 25 mm.

- **Ensayo de retención o desprendimiento:** tras montar el casco en una falsa cabeza, se conecta a la parte trasera del casco un sistema de 3 kg de masa, que soportara una carga cuya masa será de 10 kg. Esta carga es liberada en caída libre desde una altura de 0,5 m. Tras esta caída, se mide el ángulo de rotación que ha sufrido el casco montado en la cabeza, debiendo ser inferior a 30°.

Además de los ensayos previamente mencionados, se realizan diversos ensayos a otros elementos como la pantalla, a la correa unida al sistema de retención o al propio sistema de retención.

2.10.2. Test Sharp

Cabe mencionar, además de las homologaciones oficiales, el llamado *Test Sharp*. *Sharp*, *Safety Helmet Assessment and Rating Programme*, se trata de una iniciativa lanzada en 2007 por el *Departamento de Transporte* (DfT) de Reino Unido cuyo objetivo era el de revelar las diferencias reales en cuanto a la seguridad de los diversos cascos de motocicleta disponibles en el mercado de dicho país. El Gobierno Británico descubrió que, a pesar de la homologación, las diferencias en cuanto a protección entre cascos disponibles en el mercado eran significativas.

Para ello, se realizan, de manera independiente, una serie de 32 ensayos de impacto elevando el nivel exigido por las homologaciones. Tras esta serie de pruebas, a cada casco ensayado se le asigna un valor entre 1 y 5 estrellas, siendo 1 estrella un casco deficiente y 5 estrellas uno excelente. Los valores de todos los cascos ensayados se encuentran disponibles en su web¹⁷.

Debe tenerse en cuenta que una puntuación de 1 estrella no significa que el casco no sea eficiente. Un casco con 1 estrella en el *Test Sharp* protege al usuario y está homologado, pero se encuentran diferencias notables con otros cascos con mayor protección.

2.10.3. Obligatoriedad de uso

En España, el uso del casco es obligatorio en motocicletas, ciclomotores, triciclos y cuadriciclos a motor. Además, en bicicletas también es obligatorio su uso para usuarios menores de 16 años.

En la Unión Europea, la obligatoriedad de uso del casco es prácticamente homogénea. Su uso en motocicletas y ciclomotores es obligatorio en la totalidad de los países. Sin embargo, países como Reino Unido o Dinamarca no exigen su uso en triciclos y cuadriciclos a motor.

El caso de Estados Unidos es algo diferente. En aproximadamente la mitad de estados, disponen de leyes universales sobre el uso del casco. Sin embargo, en casi la otra mitad, existen leyes parciales. Estas leyes hacen obligatorio o no el uso del casco en función de variables como la edad del usuario, la cobertura sanitaria, la potencia de la motocicleta o las limitaciones de su seguro. Existen, además, ciertos estados en los que la legislación respecto a la obligatoriedad del

¹⁷<https://sharp.dft.gov.uk/>

uso del casco es inexistente.

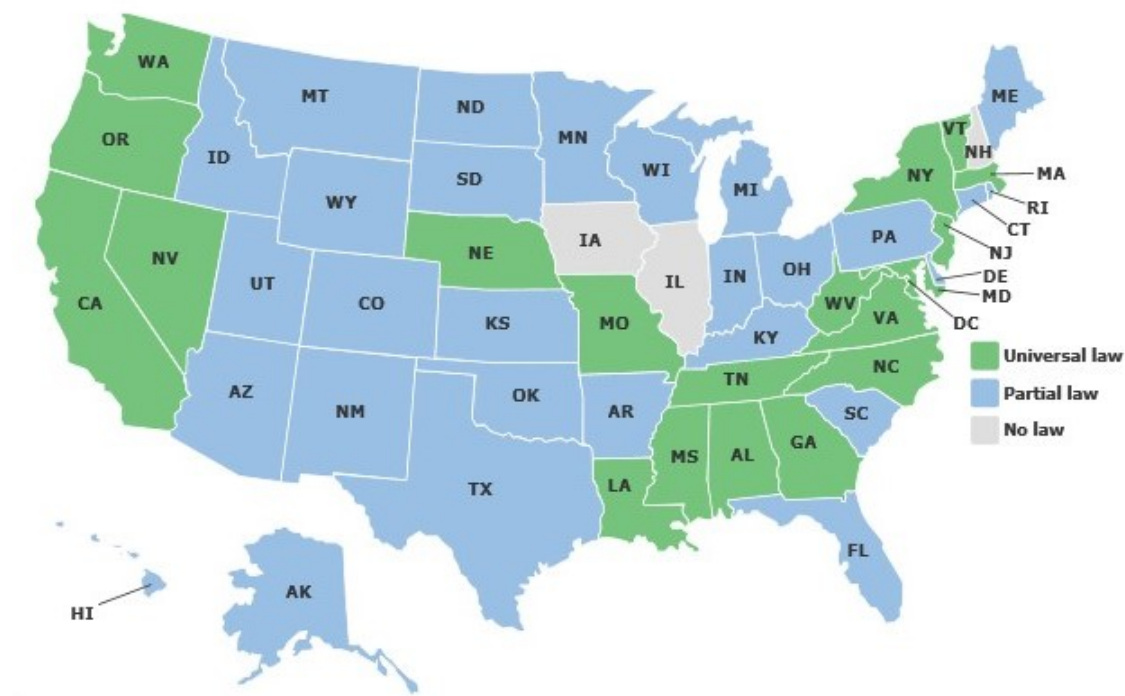


Figura 26. Legislación respecto al uso del casco en EEUU. [37].

Los estados representados en la Figura 26 en color verde disponen de leyes universales que exigen el uso del casco en motocicletas en cualquier circunstancia. Sin embargo, los estados representados en azul, disponen de una normativa más flexible que permite a ciertos usuarios utilizar motocicletas sin portar casco. Además, los estados de Illinois e Iowa, permiten a los usuarios de motocicletas conducir sin casco.

A pesar de que en ciertos países o estados no sea obligatorio el uso del casco, es un hecho demostrado que el uso de este elemento de seguridad puede salvar la vida del usuario en muchas situaciones

2.11. Patentes

A pesar de los esfuerzos del Dr. Cairns por imponer el uso del casco, la primera patente de un casco no tuvo lugar hasta 1953 por parte de Charles F. Lombard, investigador de la *Universidad del Sur de California*. Dicha patente fue la base para el diseño de los cascos que se encuentran actualmente en el mercado. El diseño patentado consistía en una cáscara exterior ligera pero muy resistente, recubierta interiormente con un acolchado. De este modo, la cáscara exterior

protege del impacto, mientras que el acolchado interior absorbe y disipa la energía producida por el golpe antes de llegar al cráneo. Se trata de la patente US2625683A, representada en la Figura 27.

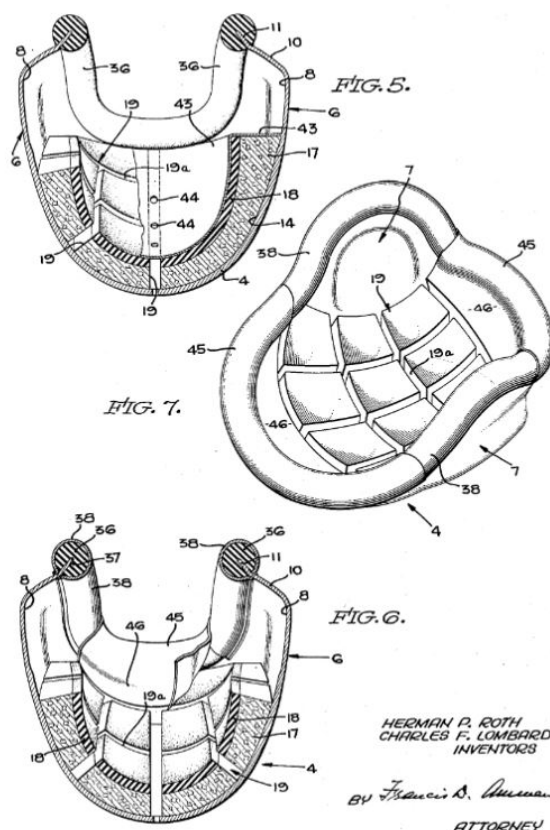


Figura 27. Patente US2625683A de Charles F. Lombard de 1953. [38].

Previamente, en 1948 se patentó lo que podría ser considerado el predecesor de la pantalla para cascos. Fue inventada por William C. Moeller y obtuvo el número de patente US2447083A. Realmente, se trató de la primera pantalla para cascos protectores de uso industrial. Sin embargo, la primera pantalla integrada en un casco fue patentada en 1968 por Jackson A. Aileo. Cuenta con el número de patente US3400407A.

Ya en 1966, Roy Shifrin patentó el primer casco plegable para bicicletas. Se trataba de un diseño muy simple, pero que obtuvo la patente US5515546A.

La patente del primer casco integral tuvo que esperar hasta 1973, cuando la compañía Shoei Kokoh Co. Ltd. obtuvo la patente US3723992A gracias a un invento de E. Kamata.

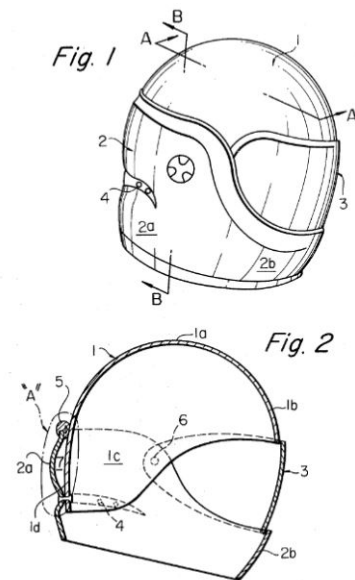


Figura 28. Patente US3723992A del primer casco integral. [39].

En cuanto a cascos desmontables para motocicletas, la primera patente tuvo lugar en 1988 por Jean-Bertrand Bruneau. Esta patente, EP0108694B1, exponía diversas opciones para diseñar un casco modular e incluso desmontable tal y como aparece representado en la Figura 29. La patente, fue renovada en 1996.

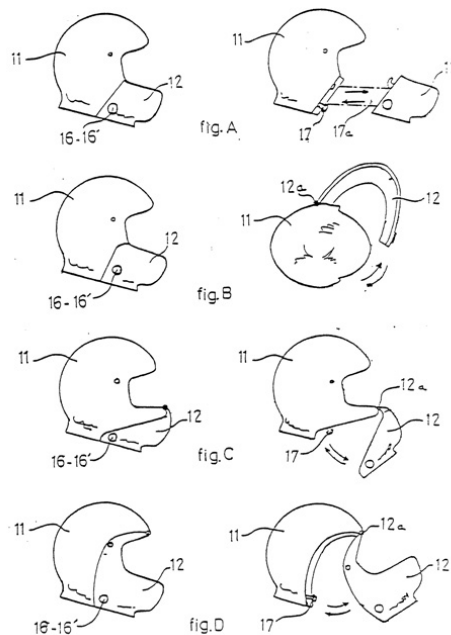


Figura 29. Patente EP0108694B1 donde aparece el primer casco desmontable. [40].

Además de las patentes asociadas a algunos de los cascos desmontables presentados anteriormente como el casco *Hövding* (patente US8402568B2), el casco *Golem Alpha* (patentes FR3031013A1 y FR3031014A1) o el casco *Voxx RS 1.0* (patentes US8176574B2 y

US8572767B2), existen multitud de patentes sobre cascos desmontables. Por ejemplo, la patente US7958572B2 se trata de un casco desmontable y plegable con una gran similitud a los cascos *BioLogic Pango*TM y *Proteus*, presentados en la Sección 2.8: *Cascos plegables o desmontables existentes* y la Subsección 2.8.2: *Casco Proteus* respectivamente.

También como se presentó previamente, existen diversas patentes que, a pesar de no estar directamente relacionadas con un casco para motocicletas básico, resultan interesantes como el casco con airbag comercializado por *APC Systems* (patente ES2317745B1 y solicitud US20080030010A1) presentado en la Sección 2.9: *Accidentes* o el sistema *PinLock*[®] (patente EP2765879B1) presentado en la Subsección 2.6.1: *PinLock*[®]. El *Air Pump System*, presentado, en el presente proyecto, conjuntamente con el casco con airbag de *APC Systems*, dispone también de una patente, US5890232A, actualmente asignada a la compañía de cascos *HJC Co. Ltd.*

Capítulo 3

Diseño y simulación

EN el presente capítulo se realizará, de manera detallada, una descripción del proceso de diseño del casco y las simulaciones llevadas a cabo con él.

En cuanto al diseño, se partirá de un estudio de mercado para detectar las necesidades del usuario y se terminará presentando el diseño definitivo, mostrando los diversos diseños conceptuales y modificaciones que han tenido lugar a lo largo del proceso de diseño.

En el apartado de simulación, se describirán los ensayos realizados al modelo CAD del casco y su modelado en el software utilizado. Los resultados de estos ensayos serán presentados en detalle en el Capítulo 4: *Cálculo y análisis de los resultados*.

3.1. Diseño

3.1.1. Metodología

El proceso de diseño comienza con la detección de necesidades por parte de los usuarios, que sirve de base para la elección del proyecto: diseñar un casco de motocicleta desmontable y/o plegable que pueda ser homologado en Europa según la certificación ECE/ONU R22. Para ello, se realiza un estudio de mercado en el cual se investigan las demandas de posibles usuarios.

Con los resultados de dicho estudio, se realizan las matrices QFD de despliegue de la función calidad (Quality function deployment), con el objetivo de transformar las demandas del usuario

en la calidad del diseño y de poder implementar en el producto las funciones que aporten más calidad, siempre desde el punto de vista del potencial usuario.

Antes, durante y después de la realización de las matrices QFD, se crean una serie de diseños conceptuales que sufrirán modificaciones durante todo el proceso de diseño hasta llegar al diseño definitivo que será el utilizado para simular.

Cabe destacar, que antes de obtener un diseño definitivo, se realizan diversas simulaciones con los diseños conceptuales para comprobar su viabilidad o tomar decisiones de diseño, como en el caso de los materiales.

3.1.2. Herramientas utilizadas

Las principales herramientas utilizadas durante el proceso de diseño son:

- **Catia Student V5-6 Release 2017:** se trata del software CAD más utilizado en el proceso de diseño. En detalle, se emplean los módulos *Part Design*, *Assembly Design*, *Generative Shape Design* y *Sketcher*.

El modelado del casco comienza con su creación mediante superficies. Para ello, se utiliza el módulo *Generative Shape Design*, donde los elementos creados no disponen de espesor. Se trata de elementos de superficie con un espesor “nulo”. Con este módulo, se comienza con la creación de los diversos diseños tal y como se presenta en la Figura 30.

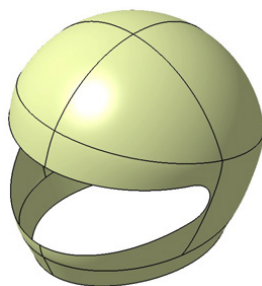


Figura 30. Calota exterior diseñada mediante el módulo *Generative Shape Design*.

Posteriormente, mediante el módulo *Part Design* se aplica grosor a las superficies creadas previamente o se crean sólidos en conjuntos de superficies cerradas. Mediante este módulo también se realizan los diversos cortes o taladros necesarios para obtener los diferentes módulos o partes del casco final. Este módulo es también empleado para diseñar los pasadores que componen el sistema de uniones del casco.

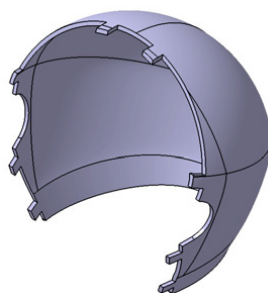


Figura 31. Módulo de la calota exterior con grosor asignado mediante el módulo *Part Design*.

Durante el uso de estos dos módulos, se emplea el módulo *Sketcher* para generar los diversos bocetos que serán la base para el resto de operaciones.

Finalmente, el módulo *Assembly Design* es utilizado para crear el conjunto del casco con todas sus partes, así como los diversos escenarios de ensayo.

- **SolidWorks 2017:** utilizado para la exportación de modelos en formato igs. El software Catia V5, en la exportación en este formato, genera archivos corruptos. Esto provoca que la importación de los modelos en el software de simulación no sea correcto.

Además de para la exportación, se utiliza el complemento PhotoView 360 para renderizar las imágenes finales del casco. De esta manera se obtienen unas representaciones más visuales y realistas del casco y su diseño con los diversos materiales.

- **GrabCAD:** a pesar de no ser una herramienta empleada como tal, cabe destacarla en el presente apartado. Como se mencionó previamente en la Subsección 2.10.1: *Homologación ECE/ONU R22*, para los diversos ensayos que deben realizarse en el casco, este debe encontrarse montado en una falsa cabeza que cumpla con la normativa. Al escaparse su creación al objetivo del presente proyecto, se utilizó el modelo creado por Sonawane Atul [41]. Se trata de una falsa cabeza, la cual se diseñó cumpliendo las dimensiones para una falsa cabeza talla 1 según el estándar 7692:993 de la India sobre falsas cabezas. Sin embargo, si se compara dicho estándar¹⁸ con la certificación ECE/ONU R22 [36], puede comprobarse como la talla 1 india es equivalente a una cabeza talla E según la normativa europea.
- **CES EduPack 2013 Version 12.2.13:** utilizado para obtener propiedades de los diversos materiales que son ensayados y cuyos resultados son presentados en la Subsubsección 3.1.6.4: *Materiales*.

¹⁸<https://ia801906.us.archive.org/9/items/gov.law.is.7692.1993/is.7692.1993.pdf>

3.1.3. Estudio de mercado

Como ya se ha mencionado previamente, el primer paso para la detección de las necesidades es realizar un estudio de mercado a través del cual pueda obtenerse una visión general de los potenciales usuarios sobre las características que consideran de mayor o menor importancia.

Para ello, por medio de la plataforma *OneDrive* de *Microsoft*, se crea una encuesta en la cual se pide una valoración entre 1 y 10 de diversas características de un casco de motocicleta, siendo 10 la máxima importancia y 1 la mínima. Las características que se piden valorar son protección, diseño, peso, comodidad, precio, modularidad, durabilidad y nivel de plegado. El estudio de mercado cuenta con 130 muestras.

A modo de resumen de este estudio, en la Tabla 5 se incluyen los resultados obtenidos. En el Anexo 1: *Estudio de mercado* se incluye el estudio completo.

Característica	Suma	Media	Mediana	Importancia
Protección	1247	9,59	10,00	8
Durabilidad	1117	8,59	8,50	7
Comodidad	1115	8,58	9,00	6
Peso	875	6,73	7,00	5
Precio	825	6,35	7,00	4
Diseño	824	6,34	7,00	3
Nivel de plegado	785	6,04	6,00	2
Modularidad	528	4,06	4,50	1

Tabla 5. Resultados obtenidos del estudio de mercado.

Puede observarse como la principal prioridad por parte de los usuarios encuestados es la protección, seguida de cerca por la durabilidad y la comodidad. Sin embargo, características como la modularidad y el nivel de plegado son menos importantes para los usuarios. Es decir, para los usuarios encuestados, el uso de un casco plegable o desmontable solo sería una preferencia siempre y cuando este protegiera de igual manera, fuera igual de cómodo y tuviera la misma durabilidad que un casco tradicional.

3.1.4. Matrices QFD

El siguiente paso en el diseño de proceso es el de realizar las matrices QFD para poder implementar las demandas obtenidas por el estudio de mercado en el producto.

La primera matriz QFD se crea con el objetivo de estudiar la importancia de distintos elementos del casco respecto al cumplimiento de las diversas demandas del cliente. Para ello, se incluyen los materiales, el tipo de cierre y el tipo de casco en los cómo de la matriz y las demandas en los qué. Posteriormente, se califican las relaciones entre los qué y los cómo. Las calificaciones son:

- La **protección** se considera un elemento altamente dependiente de cualquiera de los tres elementos al tener una gran variabilidad según la elección.
- El **diseño** solo resulta influenciado por el tipo de casco, el cual podrá modificar su apariencia. Tanto materiales como cierre se considera que no influyen ya que, o no serán visibles o serán prácticamente inapreciables en el conjunto de todos los elementos del casco.
- El **peso**, a pesar de verse influenciado por cualquier elemento del casco, se considera que no es afectado por el tipo de cierre, cuyo peso será de unos pocos gramos. Sin embargo, el tipo de casco con sus uniones y, especialmente, los materiales a utilizar sí serán más significativos en esta característica.
- La **comodidad** no depende de los materiales. Sin embargo, el tipo de casco y su manera de ser desmontado o plegado, al igual que la facilidad de manipular el cierre influyen de manera significativa en la comodidad del casco.
- La principal influencia en el **precio** del casco se encuentra en los materiales que se utilicen. Sin embargo, el tipo de casco también influirá, en mayor o menor medida en su precio. Especialmente, las uniones y la forma de plegarlo o desmontarlo serán las que produzcan cierta variación en el precio. Los cierres, a pesar de influir de cierta manera en el precio, resultan despreciables si se comparan con los otros dos elementos ya que estarán compuestos por una cinta de material textil y un sistema de fijación cuyo coste no será elevado.

- La **modularidad**, como es lógico, depende principalmente del tipo de casco, que determinará los módulos del casco. Ni los materiales ni el tipo de cierre modifican dicha modularidad.
- La mayor dependencia de la **durabilidad** se encuentra en los materiales, los cuales tienen una fecha de caducidad. En menor medida, el tipo de cierre y su posible desgaste con el tiempo de uso y el sistema de uniones puede reducir la vida útil del casco.
- Finalmente, el **nivel de plegado** únicamente se verá influenciado por el tipo de casco y su sistema de uniones que permitirán una reducción del volumen del casco en mayor o menor medida.

Para codificar dichas clasificaciones se utiliza la nomenclatura presentada en la Tabla 6.

Símbolo	Tipo de interacción	Valor
Δ	Interacción débil	1
○	Interacción media	4
●	Interacción fuerte	7

Tabla 6. Valores utilizados en las matrices QFD.

Finalmente, se obtiene la matriz representada en la Tabla 7.

		Material	Tipo de cierre	Tipo de casco	
Protección	8	●	●	●	
Diseño	3			○	
Peso	5	●		Δ	
Comodidad	6		●	●	
Precio	4	●		○	
Modularidad	1			●	
Durabilidad	7	●	○	○	
Nivel de plegado	2			●	
Total		168	126	180	474
%		35,4%	26,6%	38,0%	100,0%

Tabla 7. Matriz QFD sobre la influencia de las diversas partes en las demandas del usuario.

Puede observarse como, en primer lugar, el tipo de casco y, de manera similar, los materiales, tienen una gran importancia en la satisfacción de las necesidades del potencial cliente. Por último, el tipo de cierre, aunque en menor medida, también influye en esta satisfacción de necesidades, especialmente en el nivel de protección y la comodidad del casco.

Tras esta primera matriz QFD, se procedió a realizar otra más global en la que se profundice en cada uno de los diversos elementos. Las opciones obtenidas de los diseños conceptuales o las presentadas en las Secciones 2.3: *Materiales de la calota exterior* y 2.4: *Materiales* se incluyen en esta matriz.

Total													
Material					Cierre			Modelo					
	Policarbonato	Fibra de vidrio	Kevlar	Fibra de carbono	Tricomposite	Doble D	Rápido	Micrométrico	Plegable	Egg-shell	Desmontable	Closca	Competencia
Protección	8	Δ	●	●	●	●	○	Δ	●	●	●	○	=
Diseño	3								○	Δ	○	Δ	=
Peso	5	Δ	●	●	○				Δ	○	●	○	×
Comodidad	6					Δ	○	●	●	●	○	●	✓
Precio	4	●	○		○								×
Modularidad	1										●		✓
Durabilidad	7		●	●	●	●	○	Δ					=
Nivel de plegado	2								●	○	Δ	○	✓
Total		28	78	140	140	141	111	84	57	133	130	140	106
%		5,3%	14,8%	26,6%	26,6%	26,8%	44,0%	33,3%	22,6%	26,1%	25,5%	27,5%	20,8%

Tabla 8. Matriz QFD completa del casco.

Posteriormente, se completan las relaciones entre qué y cómo igual que se realizó en la primera matriz QFD. Algunas de estas relaciones son:

- Las propiedades de los diferentes **materiales** presentadas en la Sección 2.4: *Materiales* son incluidas en la matriz, obteniéndose lo reflejado en la Tabla 8.
- Respecto a los **cierres**, tal y como se mencionó en la Sección 2.3: *Materiales de la calota exterior*, la protección y la durabilidad son mayores en el cierre de doble D, mientras que en el cierre micrométrico son características más limitadas debido a la propia naturaleza del cierre. Sin embargo, el orden de comodidad es completamente opuesto. Mientras que el cierre micrométrico y el rápido, aunque de manera más complicada, permiten su manipulación con guantes, con el cierre de doble D es prácticamente imposible.
- De igual manera, se completa la parte de la matriz relacionada con el **tipo de casco**. Los diferentes tipos de cascos incluidos son los diseños conceptuales creados en un primer

momento. Estos diseños se presentan en la Subsección 3.1.5: *Diseños conceptuales*. A modo de resumen, las principales relaciones son:

- **Protección:** la mayoría de cascos disponen de una valoración muy similar. La única variación que se aprecia se encuentra en el codificado como casco *Closca*, llamado así al basarse en el casco presentado en la Sección 2.8: *Cascos plegables o desmontables existentes*. Este casco, en caso de un impacto en la parte superior de la cabeza, podría plegarse afectando notablemente a la protección.
- **Diseño:** aunque de manera subjetiva, se califica el aspecto exterior de los diversos cascos.
- **Peso:** las principales diferencias se encuentran en los sistemas de uniones. Mientras que el sistema del llamado casco *Desmontable* aumenta el peso de manera reducida, los del resto de cascos lo aumentan de manera más significativa al necesitar un sistema que permita su plegado, especialmente el codificado como casco *Plegable*.
- **Comodidad:** debido a que los materiales y la silueta del casco son idénticos, esta característica variará, principalmente, por el sistema de uniones de las diferentes partes. Por tanto, los cascos con un sistema de plegado serán algo más cómodos que el casco *Desmontable*, el cual requerirá algo más de manipulación.
- **Precio:** a pesar de que, un sistema de plegado o desmontaje tendrán una gran influencia en el aumento de precio del casco, se considera que las variaciones en el precio de un tipo de casco a otro no serán significativas.
- **Modularidad:** los cascos plegables, al no disponer de módulos o partes desmontables, no disponen de ningún tipo de modularidad más allá de la posible inclusión de una visera. Sin embargo, el casco desmontable, al disponer de una mentonera desmontable y la posibilidad de incluir una visera, obtiene un valor más alto en esta característica.
- **Durabilidad:** no se aprecian diferencias significativas en esta característica entre un modelo de casco u otro.
- **Nivel de plegado:** como resulta lógico, los cascos con un sistema de plegado siempre obtendrán una valoración más alta que el casco *Desmontable*. Este casco, a pesar de no ser plegable, puede reducir su volumen una vez desmontado por lo que obtiene una valoración reducida. Dentro de los cascos con un sistema de plegado, tras realizar un cálculo aproximado entre el volumen de uso y el volumen una vez plegado, el casco *Plegable* obtiene una valoración algo más elevada que los otros dos cascos.

Además de estas relaciones, se incluye una columna en la que se compara el casco propio con la competencia utilizando los siguientes símbolos:

Símbolo	Significado
✓	El diseño propio es superior al de la competencia
=	El diseño propio es igual al de la competencia
✗	El diseño propio es inferior al de la competencia

Tabla 9. Simbología utilizada en la columna de la competencia en la matriz QFD.

Finalmente, tras calcular la importancia de los cómo, se concluye que:

- El material a utilizar en la calota exterior no queda completamente claro según la matriz QFD. La decisión final se lleva a cabo tras un estudio de los materiales con la función de cómo más alta. Estos materiales son el kevlar, la fibra de carbono o el tricomposite.
- El tipo de cierre se concluye que es de doble D debido a la gran diferencia de este con los demás.
- El modelo de casco elegido finalmente es el codificado como casco *Desmontable*. Tanto este como los otros diseños conceptuales son presentados de manera más detallada en la Subsección 3.1.5: *Diseños conceptuales*.

3.1.5. Diseños conceptuales

A modo de resumen, en esta Subsección se presentarán algunos de los diseños que fueron realizados durante el proceso de diseño, tanto de modelos de casco como de uniones.

3.1.5.1. Modelos

Entre diversas ideas, finalmente se desarrollan los cuatro modelos presentados en la Tabla 8.

- **Casco Egg-shell:** este casco está formado por una cubierta retráctil, mediante un elaborado sistema que permita las rotaciones y traslaciones necesarias. En caso de que el casco incluyera un spoiler trasero, este debería ser desmontable para que así la retracción fuera posible. De igual manera, la pantalla debería disponer de un sistema de extracción sencillo

por los mismos motivos.

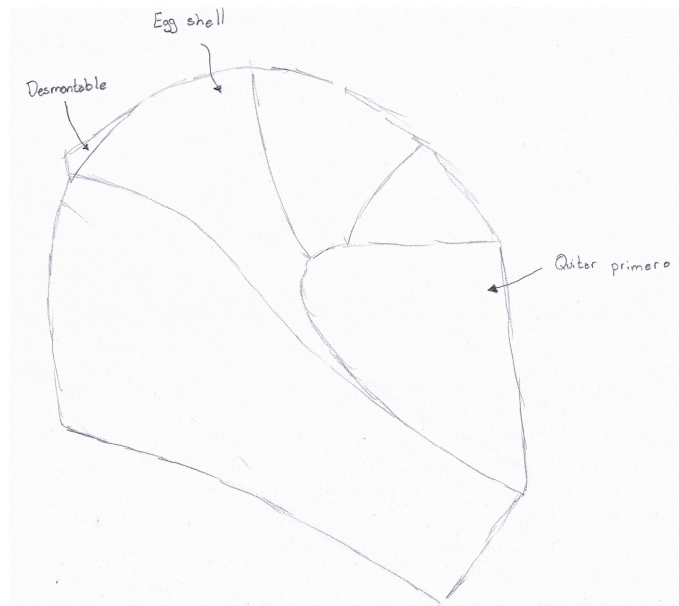


Figura 32. Primeros bocetos del casco *Egg-shell*.

- **Casco Plegable:** se trata de un casco que permite que sus laterales y su parte trasera se abatan, permitiendo así reducir el volumen que ocupa cuando no se encuentra en uso. El sistema de plegado contiene una serie de bisagras que permiten únicamente el movimiento deseado de las piezas, tal y como se representa en la Figura 33. Tanto esta como el resto de figuras mostradas en las Subsecciones 3.1.5.1: *Modelos* y 3.1.5.2: *Uniones* se incluyen en el Anexo 2: *Bocetos de los diseños conceptuales* para una mejor legibilidad.

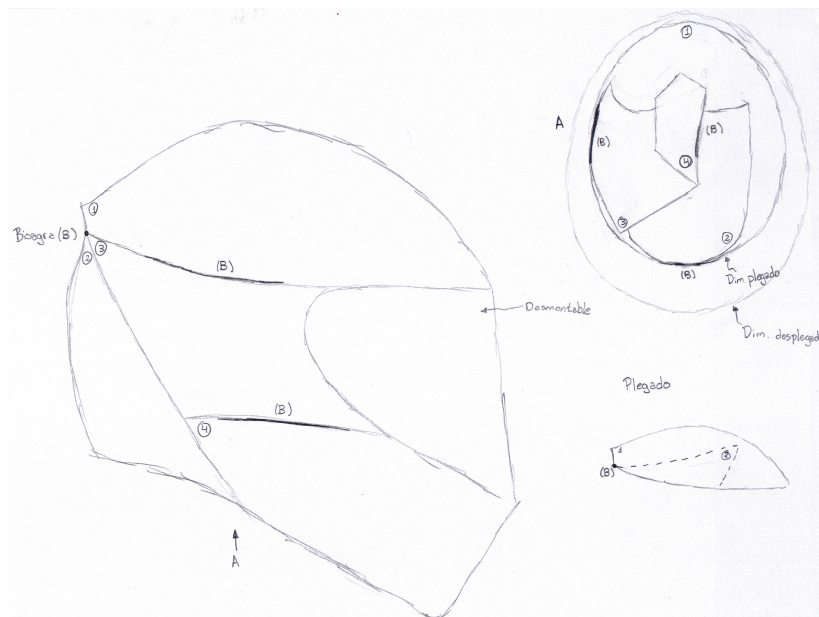


Figura 33. Primeros bocetos del casco *Plegable*.

- **Casco Closca:** basado en el casco homónimo comercializado, este modelo permite una reducción de volumen muy elevado cuando se pliega. Al igual que en el casco *Egg-shell*, tanto spoiler como pantalla deberían ser desmontables para que permitieran su plegado.

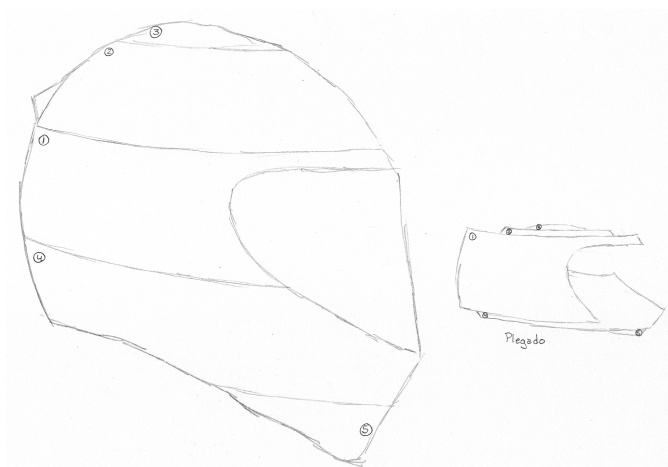


Figura 34. Primeros bocetos del casco *Closca*.

- **Casco Desmontable:** a diferencia de los cascos anteriores, este modelo no se trata de un casco plegable. Como su propio nombre indica, es un casco desmontable que permite un uso con el módulo de la mentonera o sin él. Además de partes desmontables, uno de los primeros diseños de este casco incluía, como puede observarse en la Figura 35, un módulo plegable que permitiera una reducción de volumen más notable.

De igual manera, puede apreciarse como, en estos primeros bocetos de modelos, ya se incluían diversas posibilidades para el sistema de uniones.

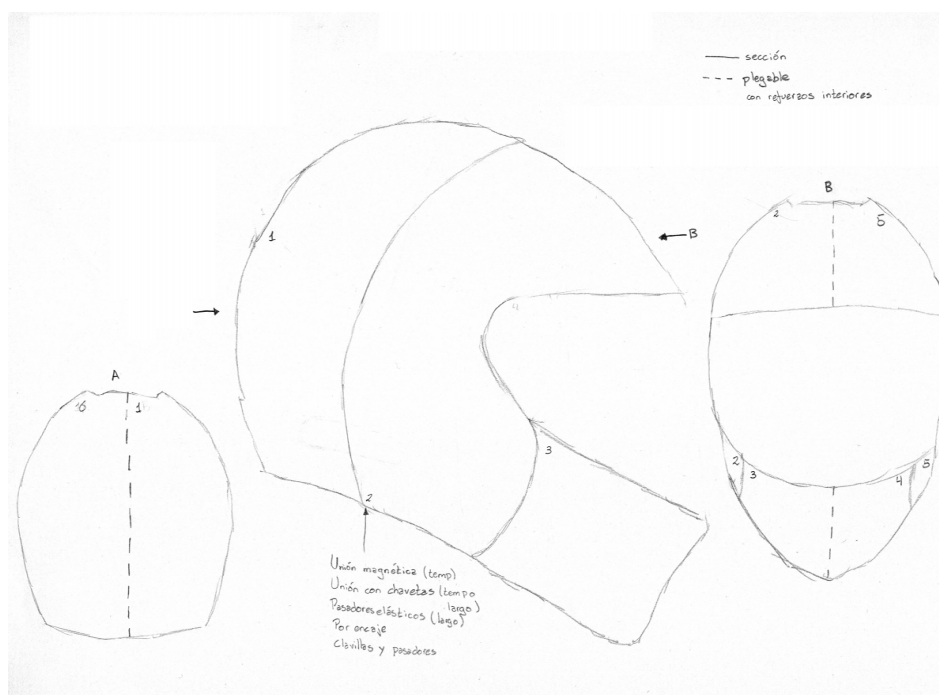


Figura 35. Primeros bocetos del casco *Desmontable*.

Las posibilidades de este modelo son mucho más elevadas por dos motivos:

- El primer motivo está relacionado con los diferentes módulos que forman el casco. El número de módulos y su forma tienen infinitas posibilidades que permiten una extensa variedad de cascos desmontables.
- El segundo motivo tiene lugar en el sistema de uniones y se encuentra relacionado con los módulos. Según se realice una división u otra del casco en módulos, el sistema de uniones podría no ser apropiado. Por tanto, los diseños conceptuales del sistema de uniones cobran aún mayor importancia para este modelo de casco.

3.1.5.2. Uniones

Al igual que se realizó con los distintos diseños conceptuales, en esta Subsección se muestran distintos diseños conceptuales de uniones que pudieran ser utilizadas para mantener los distintos módulos del casco en contacto.

Como se puede apreciar en la Figura 35, ya en los primeros diseños conceptuales de los modelos de casco se piensan posibles ideas para el sistema de uniones. Entre otras, se consideran uniones magnéticas, con chavetas, con pasadores elásticos, etc.

Algunas de las ideas más desarrolladas son:

- **Unión Gancho:** codificada así por su forma, consiste en simples ganchos que, mediante la presión ejercida por el usuario permiten la liberación de la parte que unen. Su principal inconveniente se debe a que, para poder unir de manera segura ambas partes se necesitan varios ganchos, los cuales deben encontrarse unidos. Además, para que el sistema de liberación pueda funcionar correctamente, el casco debe tener grandes cavidades que permitan el movimiento del sistema, tal y como se puede apreciar en la Figura 36. Sin embargo, estas cavidades reducen la capacidad de protección que el casco puede ofrecer. Adicionalmente, con el objetivo de poder incorporarlo a todos los módulos, el sistema de unión debe de contar con una forma curvada muy característica.

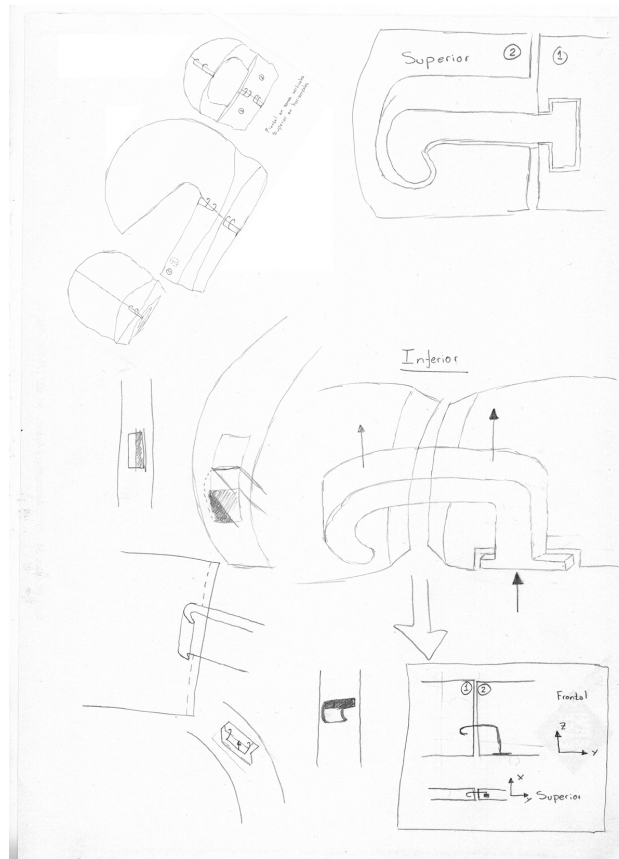


Figura 36. Primeros bocetos de la unión *Gancho*.

- **Unión Cierre:** como su propio nombre indica, consiste en un sistema idéntico al de los cierres clásicos de casco. En este caso, se utiliza un cierre de doble D al ser el más seguro de todos. Sin embargo, podría estudiarse su uso con cualquiera de los otros tipos de cierre.

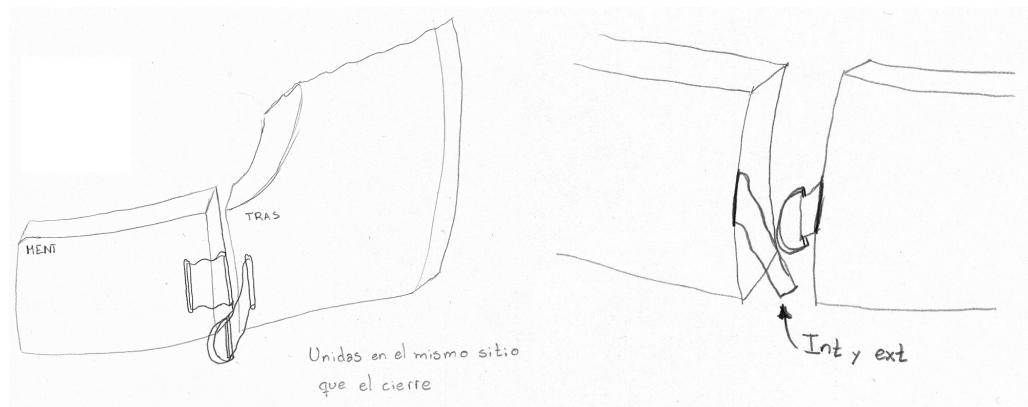


Figura 37. Primeros bocetos de la unión *Cierre*.

- **Unión de tornillo:** el más clásico de todos los estudiados. Por medio de un tornillo se unen los dos módulos del casco de tal manera no exista desplazamiento relativo. A diferencia de los cierres anteriores, este se trata de un cierre menos cómodo ya que su manipulación exige el uso de una herramienta.

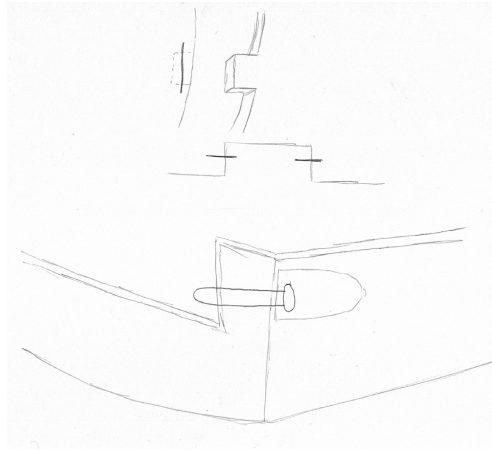


Figura 38. Primeros bocetos de la unión de tornillo.

- **Unión de grapas:** formado por un sistema de pasadores y soportes con forma de grapa, permite la unión de dos módulos con cierta seguridad al existir la posibilidad de utilizar dos “grapas”.

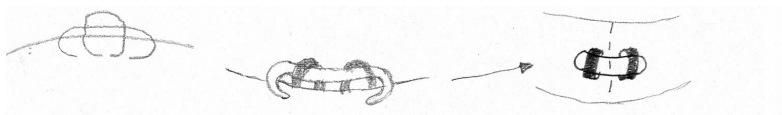


Figura 39. Primeros bocetos de la unión de grapas.

- **Unión Enganche:** se trata de un sistema muy simple y que, en caso de ser considerado, su viabilidad debería ser estudiada más en detalle. Está formado por un pieza en forma de “u” que sería sujeta mediante imanes a los módulos a unir. Para deshacer la unión, debería, de algún modo, deshacer esta unión magnética o buscar una solución alternativa.

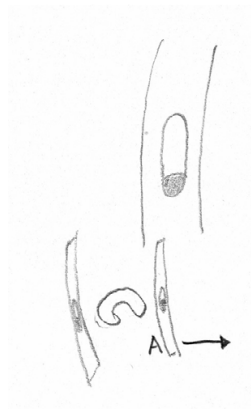


Figura 40. Primeros bocetos de la unión Enganche.

3.1.5.3. Cronología

Tras estos primeros diseños conceptuales, se estudian más en detalle los diseños que más viables resultan.

En un primer paso, se opta por estudiar el casco *Desmontable*. Para ello, se realizan diversos diseños, esta vez más elaborados, de los módulos que componen el casco. Con el objetivo de no sobrecargar la presente memoria, estos diseños se incluyen en el Documento II: *Planos*.

Los tres primeros diseños conceptuales presentan diversas divisiones de los módulos. Estas divisiones se realizan teniendo en cuenta también que los diferentes módulos deberán ser unidos posteriormente. Finalmente, con el objetivo de evitar al máximo el desplazamiento, se realiza el casco presentado en el Plano 4: *Diseño conceptual nº 4*. La principal diferencia de este casco se encuentra en la forma de los módulos. Las caras que estarán en contacto con otros módulos, cuentan con un sistema de inserciones que posteriormente será utilizado para el sistema de uniones. Será detallado en la Subsubsección 3.1.6.1: *Modelo*.

Este sistema de uniones, estará formado por un sistema similar al que utilizan las muletas para su ajuste. Será descrito en detalle en la Subsubsección 3.1.6.2: *Uniones*.

Tras decidir el diseño que será utilizado, se procede a realizar un estudio aerodinámico y estructural.

En el estudio aerodinámico, tal y como se detallará en la Sección 4.2: *Análisis aerodinámico*, se concluye que la inclusión de un spoiler trasero no mejora la aerodinámica del casco, por lo que no es incluido en el diseño definitivo. De igual manera, se observa que la inclusión de una visera perjudica de manera muy significativa la aerodinámica. Debido a ello, se decide diseñar la visera como un módulo adicional opcional. De este modo, el casco puede ser utilizado sin visera y, en caso de ser necesario, se le puede añadir mediante un sistema de sujeción muy simple compuesto por corchetes.

En cuanto al diseño estructural, se comienza realizando los ensayos de impacto, ya que suelen ser los que mayor problemática presentan a la hora de la homologación. El primer casco ensayado, disponía de una calota interior con un grosor mínimo de 24,42 mm y una calota exterior de aproximadamente 1 mm de grosor. Estos grosores no resultan suficientes para algunos impactos, en los que las aceleraciones de la falsa cabeza son superiores a las permitidas y la

cabeza llega a impactar con el yunque.

Tras detectar estas insuficiencias, se crean nuevos modelos con grosores superiores hasta alcanzar el modelo definitivo. Finalmente, el diseño definitivo cuenta con unos grosores comprendidos entre 48 y 61 mm para la calota interior, más similares a los grosores de los cascos comercializados en la actualidad [43], y 5 mm para la calota exterior.

3.1.6. Diseño definitivo

En el presente apartado, se detallará el diseño final elegido para el casco, especialmente el modelo, las uniones, el tipo de cierre y los materiales que serán elegidos para estudiar. En la Figura 41, se presentan dos imágenes renderizadas del diseño definitivo y su sistema de unión.

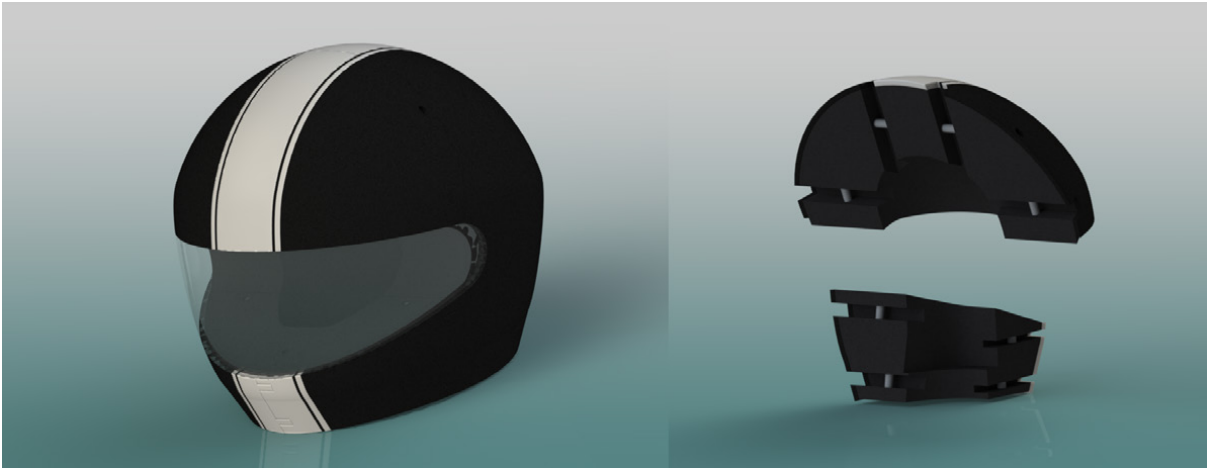


Figura 41. Renders del diseño definitivo del casco y el sistema de unión.

3.1.6.1. Modelo

Tal y como se mencionó previamente, el modelo elegido era el representado en el Plano 4: *Diseño conceptual nº 4*. En este modelo, el casco cuenta con 8 partes o módulos diferentes: 4 para la calota exterior y 4 para la calota interior, que se encontrarán unidos de manera fija. Son codificados como mentonera izquierda, mentonera derecha, trasera y superior. Aparecen representados en la Figura 42.

En esta misma figura puede observarse la forma característica de los módulos que se mencionó en la Subsubsección 3.1.5.3: *Cronología*. Las caras de los módulos que estarán en contacto con otros módulos cuentan con un sistema de inserciones que permitirá su ensamblaje de manera

precisa y, además, limitará al mínimo el desplazamiento relativo. Adicionalmente, forman parte del sistema de uniones, por lo que el dimensionamiento de estas inserciones está ligado a las uniones, el cual será desarrollado más en detalle en la Subsubsección 3.1.6.2: *Uniones*.

Además de los módulos ya mencionados, el casco cuenta, naturalmente, con una pantalla, adaptada para que pueda ser utilizada junto al sistema PinLock® descrito en la Subsección 2.6.1: *PinLock®*, y con una visera. Esta visera se encuentra diseñada de tal manera que su utilización sea opcional y, el sistema de unión al casco, sea lo más rápido y simple posible. Por ello, se utiliza un sistema formado por corchetes similar al usado por el casco *Bell Custom 500*. [42].

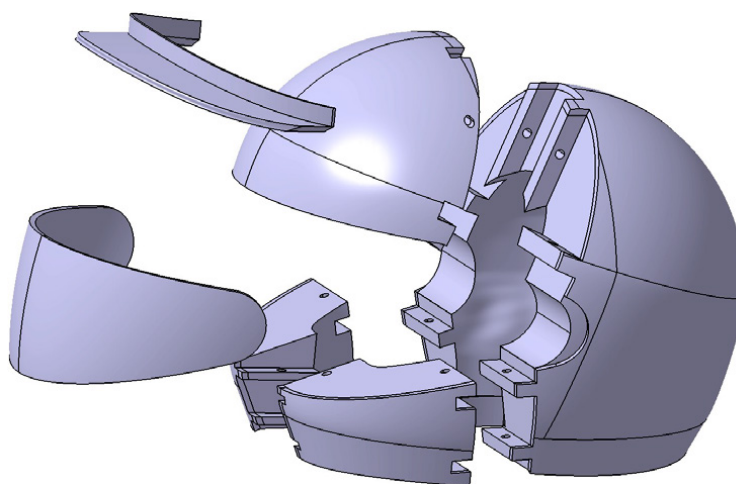


Figura 42. Módulos de del diseño definitivo.

Además, en la zona textil de la calota interior de la pieza codificada como trasera, se añadirá una material elástico que actúe como una goma elástica de manera que pueda ser utilizado para mantener unidos todos los módulos del casco. De esta manera, se consigue reducir el volumen ocupado por el casco y se facilita su transporte una vez desmontado.

3.1.6.2. Uniones

El sistema de uniones, como ya se mencionó previamente, es muy similar al utilizado en las muletas para el ajuste de su altura.

Estará formado por un sistema compuesto por las inserciones mencionadas previamente, las cuales serán taladradas, unos pasadores huecos con forma de tornillo y unos muelles. En la Figura 43 se incluye una representación del sistema de unión para facilitar su comprensión.

Los pasadores consisten en un cilindro de diámetro reducido con un interior hueco y una base. En su interior, se encuentra alojado un muelle, que en su posición natural provocará que el

pasador se encuentre en posición extendida, atravesando los taladros realizados en las inserciones del otro módulo. De este modo, el pasador limita el movimiento de los dos módulos que une. Cuando el muelle se encuentra comprimido, el pasador se encuentra replegado de tal manera que no sobresalga del módulo que lo contiene y, por tanto, no limite ningún movimiento.

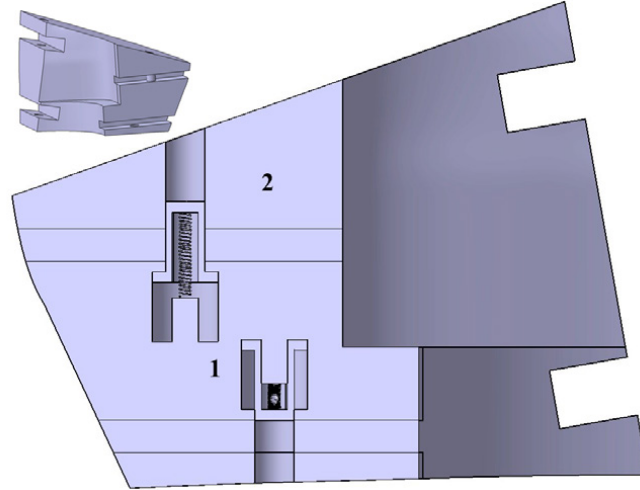


Figura 43. Sección de la unión donde un pasador se encuentra totalmente extendido fijando ambos módulos y el otro se encuentra totalmente replegado sin restringir movimientos.

Las dimensiones de las inserciones y de los pasadores se han dimensionado de la siguiente manera:

- Por cada unión entre módulos se introducen una o dos combinaciones de **inserciones**, según las dimensiones. Estas inserciones se introducen en el otro módulo unos 15 mm y se encuentran situadas de manera simétrica respecto al centro de la cara que unen, medido siempre desde el vértice de menor tamaño. Además, se sitúan algo desplazadas hacia el exterior para posibilitar la su retracción.
- Por cada inserción, existe un **pasador** con unas dimensiones específicas que permitan su retracción y a la vez minimicen el taladrado, de manera que la resistencia se vea afectada lo mínimo posible. Debe tenerse en cuenta que, una vez retraído el pasador, este debe encontrarse alojado dentro del módulo sin sobresalir. Por ello, la dimensión de la cavidad donde se alojará deberá permitir alojarlo entero y, a su vez, dejar espacio suficiente para alojar el muelle comprimido. Además, para asegurar que se eviten desplazamientos relativos entre módulos, la longitud del pasador debe ser, al menos la suma del grosor de la inserción y parte de la zona marcada como “2” en la Figura 43.

3.1.6.3. Tipo de cierre

Aunque al realizar la matriz QFD se tomase la decisión de utilizar un cierre de doble D debido, principalmente, a la seguridad que ofrece, no resulta necesario. Debido a su modularidad que permite ponerse el casco sin insertar la cabeza por el agujero inferior como en un casco tradicional, la parte inferior del casco puede ser mucho más cerrada, permitiendo prescindir de un cierre. Este hecho sucede en la actualidad en el casco *Vozz RS 1.0* que se presentó en la Subsección 2.8.4: *Casco Vozz RS 1.0*.

Sin embargo, a pesar de no ser necesario, la inclusión de un cierre es sencilla y puede tener lugar durante el proceso de fabricación en caso de que el cliente así lo desee. Por ejemplo, en la situación donde se desee utilizar el casco en modo jet, podría ser necesaria la inclusión de este cierre. Para ello se une el cierre a la calota exterior utilizando un remache de alta densidad como el representado en la Figura 44.



Figura 44. Unión del cierre a la calota por medio de un remache de alta densidad. [43].

Además, se puede dotar al casco del *Air Pump System* descrito en la Sección 2.9: *Accidentes* para mejorar de esta manera su ajuste.

3.1.6.4. Materiales

Con el objetivo de poder decidir que materiales utilizar para el diseño definitivo del casco, se realizan una serie de ensayos iniciales.

Estos ensayos tienen lugar en el casco del diseño definitivo, pero sin los diferentes módulos. El casco ensayado consiste simplemente en una calota exterior y una calota interior unidas. De esta manera, se puede aplicar una simetría respecto al plano longitudinal vertical que permite reducir de manera notable la duración de los ensayos, los cuales habrían sido prácticamente imposibles de realizar sin la simetría debido a su gran duración.

En primer lugar, se realizan los ensayos para los materiales de la calota exterior, manteniendo siempre el mismo material para la calota interior. Los materiales ensayados, cuyas propiedades fueron obtenidas del software CES EduPack, aparecen representados en la Tabla 10. Además de las propiedades que se incluyen en dicha tabla, se añaden valores para definir su plasticidad que no se presentan debido a su gran volumen de datos.

Material	ρ [kg/m ³]	Young [MPa]	Poisson	Yield [MPa]
Carbon reinforced Vf 40	1700	74 900	0,3200	14,6
Carbon reinforced Vf 50	1700	94 900	0,3200	17,9
Carbons high modulus	1820	380 000	0,0447	2010
Carbons high strength	1820	235 000	0,0447	3870
Carbons ultra high modulus	2100	757 000	0,0447	1830
Carbons very high modulus	1920	554 000	0,0447	1840
Kevlar 149 aramid	1470	180 000	0,3600	2740
Kevlar 29 aramid	1440	70 400	0,3600	2740
Kevlar 49 aramid	1440	123 000	0,3550	2490
Polyester SMC 50 glass	1900	13 000	0,3000	160
Spectra 1000 polyethylene	970	143 000	0,4200	2740
Spectra 900 polyethylene	970	115 000	0,4200	2240
E-glass 290gsm woven	1800	21 300	0,1050	379
E-glass 600gsm woven	1800	23 200	0,1600	459
E-glass 600gsm woven 80 20 0	1800	30 100	0,1370	604
E-glass 600gsm woven 80 20 90	1800	12 000	0,1370	125
E-glass 600gsm twill	1800	21 900	0,1700	397

Tabla 10. Propiedades de los materiales utilizados para la calota exterior.

Para estos materiales, se realiza un ensayo similar a los presentados en la Subsección 2.10.1: *Homologación ECE/ONU R22*, de manera que se puedan comparar las aceleraciones que sufre la falsa cabeza según el material. Se obtienen los resultados mostrados en la Figura 45. Puede observarse como los materiales codificados como carbon reinforced son los que mejores propiedades presentan en este ensayo, seguidos de la fibra de carbono de alta resistencia.

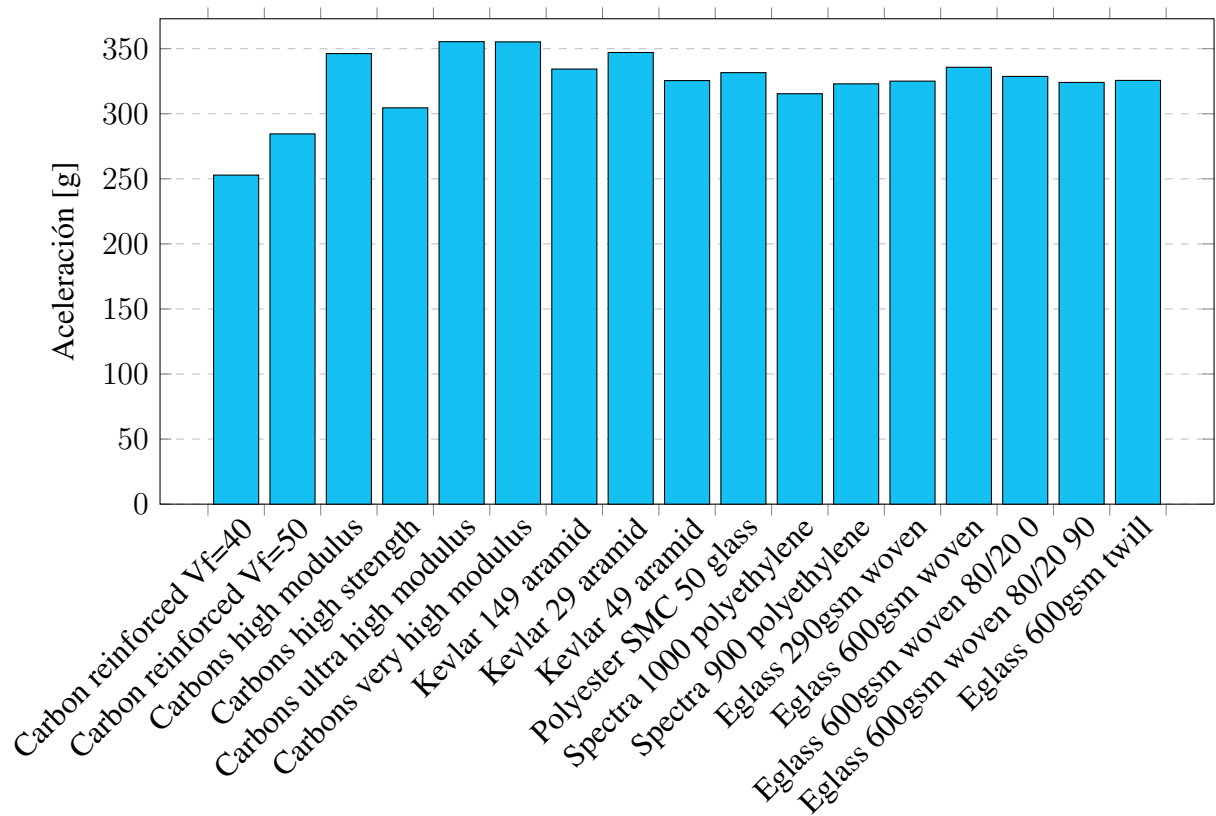


Figura 45. Aceleraciones para diferentes materiales de la calota exterior con la misma calota interior

Respecto a la calota interior, se realiza el mismo ensayo con los materiales presentados en la Tabla 11. Algunos materiales, a pesar de ser calificados con una cierta densidad, pueden variar levemente en esta propiedad por la naturaleza de su fabricación.

Material	ρ [kg/m ³]	Young [MPa]	Poisson	Yield [MPa]	Tang. [Pa]	Ref.
Carbon foam 0.05	50	43,8000	0,198	0,2400	-	CES
PP foam 0.020	21	0,3870	0,265	0,2700	49700	CES
PP foam 0.030	29,9	0,7350	0,275	0,3400	99900	CES
PP foam 0.040	39,9	3,8700	0,285	0,6800	200000	CES
PP foam 0.060	60	6,3200	0,295	0,5200	400000	CES
PS foam 0.020	19,9	4,8800	0,274	0,2400	133000	CES
PS foam 0.025	24,9	7,1800	0,274	0,2200	173000	CES
PS foam 0.030	29,9	9,3300	0,274	0,2000	224000	CES
EPS 20	20	5,0860	0,274	0,3000	96000	[44]
EPS 15	15	2,7690	0,274	0,1800	52000	[44]
EPS 12	12	1,6110	0,274	0,3200	29000	[44]
EPS 15 L	15	2,6031	0,274	0,1560	55130	[45]
EPS 20 L	20	4,2773	0,274	0,1892	82990	[45]
EPS 22 L	22	7,1800	0,274	0,2370	96620	[45]
EPS 30 L	30	7,5669	0,274	0,2480	124550	[45]

Tabla 11. Propiedades de los materiales utilizados para la calota interior.

Además de ensayar estos materiales por separado, en la Figura 47, donde se presentan las aceleraciones de la falsa cabeza al igual que se hizo con los materiales de la calota exterior, se incluyen combinaciones de materiales. Esto tiene lugar debido a que, además de una calota interior de un solo material, se diseña una calota interior formada por varios materiales de diversas densidades. De esta se busca reducir la deformación que sufra la zona del casco más cercana a la cabeza para tratar de evitar posibles impactos directos. En la Figura 46 se presenta la calota interior formada por dos materiales distintos, cada uno de un color. La codificación de estas calotas se realiza nombrando los materiales de los que está compuesto comenzando por la zona más próxima a la cabeza.

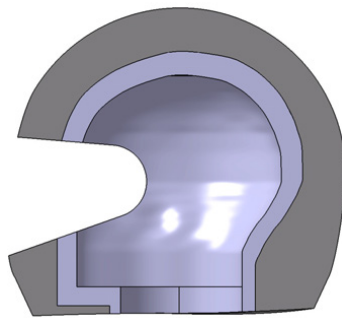


Figura 46. Calota interior compuesta por dos materiales.

Puede observarse como los materiales que mejores resultados ofrecen son la espuma polipropileno (PP) de 20 kg/m³ y la combinación de este material con poliestireno expandido (EPS) de 12 kg/m³ de densidad.

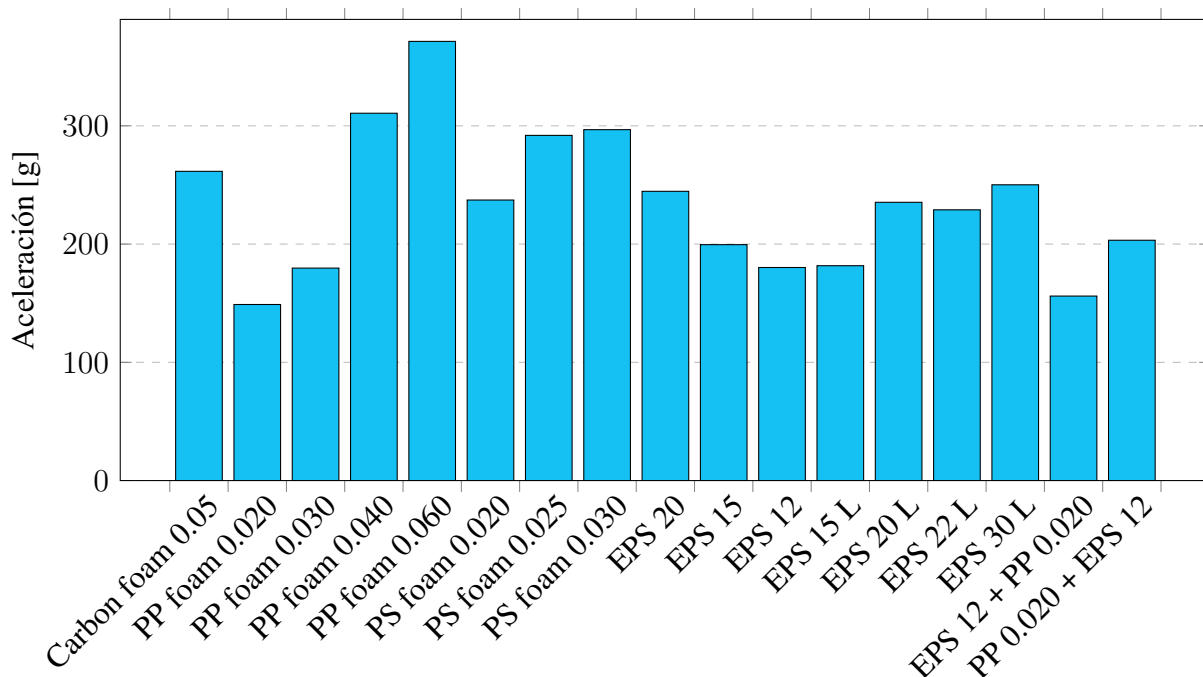


Figura 47. Aceleraciones para diferentes materiales de la calota interior con la misma calota exterior

Sin embargo, una vez que se comienzan a ensayar combinaciones de calotas interiores y exteriores se observa la gran influencia que tienen las interacciones entre los distintos materiales y que, hasta ahora, no se habían tenido en cuenta. Por ello, se realizan una serie de ensayos con las combinaciones de materiales que mejores resultados obtuvieron en los ensayos previos. Estos resultados aparecen recogidos en la Tabla 12.

Material	Aceleración [g]	Desplazamiento [mm]
EPS 12 + PP 20 + Vf=40	167,51	62,85
EPS 12 + PP 20 + Vf=50	168,05	62,22
EPS 12 + PP 20 + CF high strenght	185,06	52,55
EPS 12 + PP 20 + Spectra 1000	157,15	55,18
EPS 12 + PP 20 + Spectra 900	156,04	55,34
EPS 12 + PP 20 + Kevlar 49	162,36	54,20
PP 20 + EPS 12 + Vf=40	226,17	58,33
PP 20 + EPS 12 + Vf=50	217,26	57,70
PP 20 + EPS 12 + CF high strenght	200,45	48,40
PP 20 + EPS 12 + Spectra 1000	218,43	50,99
PP 20 + EPS 12 + Spectra 900	203,25	51,24
PP 20 + EPS 12 + Kevlar 49	203,78	50,40
PP 20 + Vf=40	180,04	65,15
PP 20 + Vf=50	180,09	63,40
PP 20 + CF high strenght	146,46	51,51
PP 20 + Spectra 1000	149,69	54,80
PP 20 + Spectra 900	147,77	54,66
PP 20 + Kevlar 49	144,92	53,46
EPS 12 + Vf=40	199,98	53,90
EPS 12 + Vf=50	202,50	52,37
EPS 12 + CF high strenght	199,48	44,32
EPS 12 + Spectra 1000	200,37	46,76
EPS 12 + Spectra 900	163,57	48,50
EPS 12 + Kevlar 49	191,02	46,39

Tabla 12. Aceleraciones y desplazamientos máximos sufridos por la falsa cabeza.

Para facilitar la comprensión de estos valores, se crea la Figura 48 donde se representan las aceleraciones en un gráfico de barras y los desplazamientos mediante una línea continua. Como se puede observar, los resultados que se obtienen en estos ensayos difieren ligeramente de lo que cabría esperar por los resultados obtenido en las simulaciones de las calotas de manera independiente.

Puede concluirse, por tanto, que la calota interior se fabricará con polipropileno (PP) de densidad 20 kg/m^3 . Sería posible realizar una calota interior en la que, además, se combinara este material con poliestireno expandido (EPS) de 12 kg/m^3 pero se obtienen resultados ligeramente peores.

En cuanto a la calota exterior, se aprecia como 4 materiales destacan frente a los demás. Estos materiales son la fibra de carbono de alta resistencia, los materiales codificados como spectra 900 y 1000 (tricomposite) y, finalmente, el kevlar 49. Debido a las ínfimas diferencias en cuanto a la protección que ofrecen se opta por utilizar fibra de carbono frente a los otros materiales. A pesar de ser algo más denso y añadir peso al casco, la Fibra de Carbono resulta mucho más barata que el resto de materiales. Mientras que el precio de la fibra de carbono se encuentra entre los 20 y los 26,7 €/kg, el precio de los materiales spectra y el kevlar se encuentran entre 67,7 y 114 €/kg y 55,9 y 158 €/kg, respectivamente.

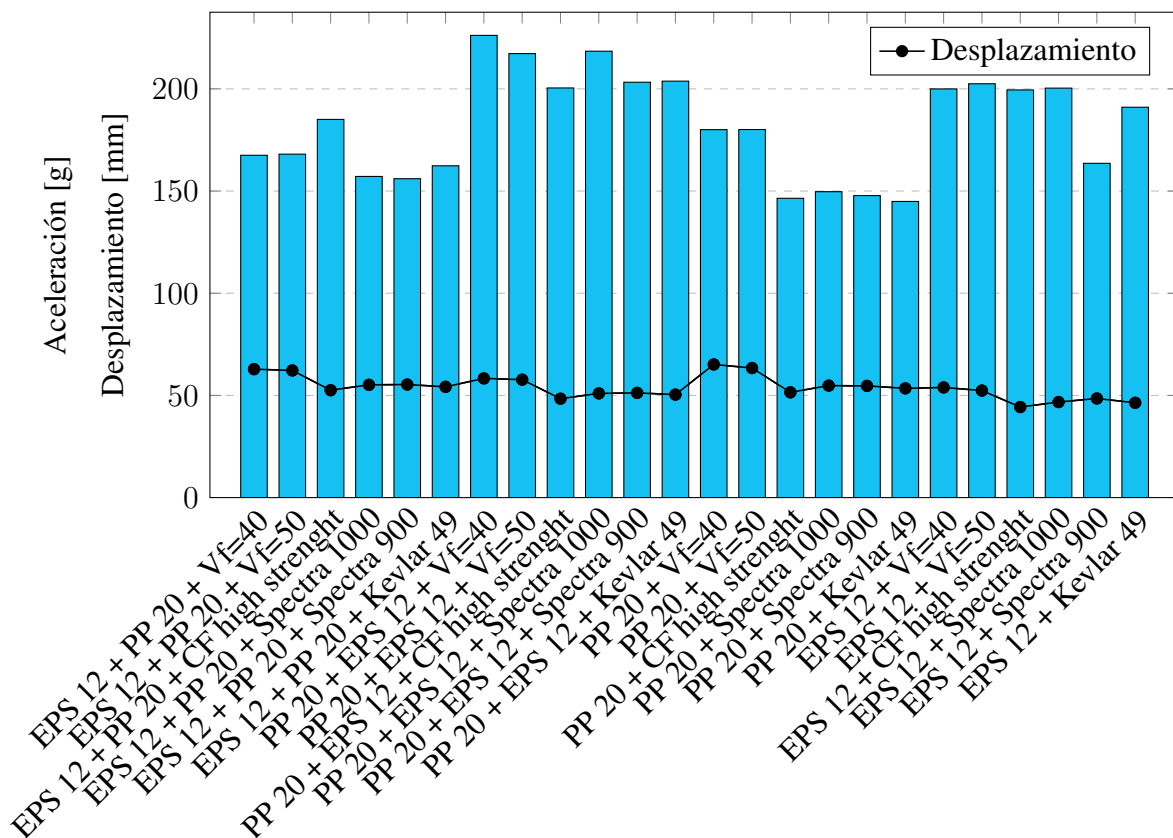


Figura 48. Aceleraciones para diferentes combinaciones de calotas interiores y exteriores

Finalmente, el resto de materiales a utilizar serán el policarbonato para la pantalla y el aluminio para los pasadores. Los pasadores se fabrican en aluminio ya que, ensayados con acero, ofrecen los mismos resultados.

A modo de resumen, se incluye la Tabla 13 donde se indican los diversos elementos que componen el casco, el material del que estarán fabricados y el peso que aporta cada uno al total. En esta misma tabla puede observarse como el peso total del casco se encuentra alrededor de los 2,6 kg, un peso relativamente reducido y que permite que el casco resulte cómodo durante su uso.

Parte	Material	Peso [kg]
Calota exterior	Fibra de carbono de alta resistencia	2,147
Calota interior	Polipropileno de 20 kg/m ³	0,215
Pantalla	Polycarbonato	0,223
Pasadores	Aluminio	0,021
Total		2,606

Tabla 13. Partes que componen el casco, material del que están fabricados y su peso.

3.2. Simulación

El objetivo de la presente sección será el de explicar en detalle las diferentes simulaciones que se realizan con los modelos diseñados y que han sido presentados en la Sección 3.1: *Diseño*.

3.2.1. Herramientas utilizadas

Al igual que se realizó con el diseño, a continuación se presentan las principales herramientas utilizadas en las diversas simulaciones que se han llevado a cabo:

- **Ansys Workbench Release 17.2:** se trata del software principal utilizado para realizar las distintas simulaciones. Se hace uso principalmente de los módulos *Explicit Dynamics*, *Static Structural* y *Fluid Flow (Fluent)*. Cabe mencionar que, debido a las limitadas capacidades computacionales que ofrecía un ordenador de usuario común, para la resolución de estas simulaciones se utiliza el Cluster de Ordenadores de Alto Rendimiento (HPC) de la *Universidad RWTH Aachen*¹⁹, los cuales disponen de una licencia educativa con ciertas limitaciones en cuanto al número de nodos y elementos del sistema.
- **Matlab R2016b:** es el software con el cual se realizan los cálculos necesarios para la homologación. Los scripts utilizados se adjuntan en los Anexos 3: *Cálculo del HIC (1)*, 4: *Cálculo del HIC (2)* y 5: *Cálculo de la integral respecto al tiempo de las fuerzas inducidas en el yunque en el ensayo de proyecciones*.

Además de estas dos herramientas, en un primer lugar se hizo uso del software *SIMULIA Abaqus Student Edition 2017* para realizar simulaciones que, finalmente, no son presentadas en este proyecto.

¹⁹<http://www.itc.rwth-aachen.de/cms/IT-Center/Dienste/kompletter-Servicekatalog/~hhre/Hochleistungsrechnen/>

3.2.2. Análisis estructural

Los principales análisis estructurales llevados a cabo son los necesarios para simular los ensayos de absorción de impacto, de proyecciones y fricción superficial y de absorción de rigidez. El resto de ensayos, o bien no aplican al no disponer el casco de cierre, o bien no han podido realizarse por limitaciones temporales o computacionales. Sin embargo, tal y como se indica en el Capítulo 7: *Conclusiones y posibles mejoras*, estas simulaciones deberían realizarse además de, lógicamente, someter un prototipo final del casco a las diversas pruebas.

A continuación, se detallan las simulaciones llevadas a cabo y su proceso de diseño.

3.2.2.1. Ensayos de absorción de impacto

En primer lugar, se simulan los diversos impactos necesarios para la homologación. En ellos, el casco debe impactar, con una determinada velocidad, contra un yunque, plano o en cuña, y las aceleraciones sufridas por la falsa cabeza deben ser medidas. Esta aceleración no podrá ser nunca superior a 275 g y el HIC a un valor de 2400. Tanto estos valores, como los yunques a utilizar, las velocidades o los puntos de impacto se detallan en el Subsección 2.10.1: *Homologación ECE/ONU R22*. A pesar de que la norma solo exige que se registren 9 impactos, se ha simulado también el impacto en el punto S con el yunque en cuña.

El ensayo, al tratarse de un ensayo de impacto y de tener una duración muy limitada, se simula utilizando el módulo de *Explicit Dynamics* del software *Ansys Workbench*.

En un primer paso, deben definirse los materiales a utilizar, lo cual se realiza utilizando las propiedades mencionadas en la Subsubsección 3.1.6.4: *Materiales* o, en caso de estar disponibles, como el caso del aluminio o del acero, los materiales ya incluidos en el propio software.

El segundo paso, se trata de la geometría del ensayo. Para ello, previamente se realizan los diversos modelos de ensayo en los que se incluye el casco montado sobre la falsa cabeza y el yunque que será utilizado para ensayar. Con el objetivo de minimizar la duración del ensayo, la geometría utilizada para ensayar se realiza de tal manera, que el tiempo en caída libre sea prácticamente nulo. En la Figura 49 se representa la posición inicial del casco respecto al yunque, cuya separación es de aproximadamente 0,5 mm.

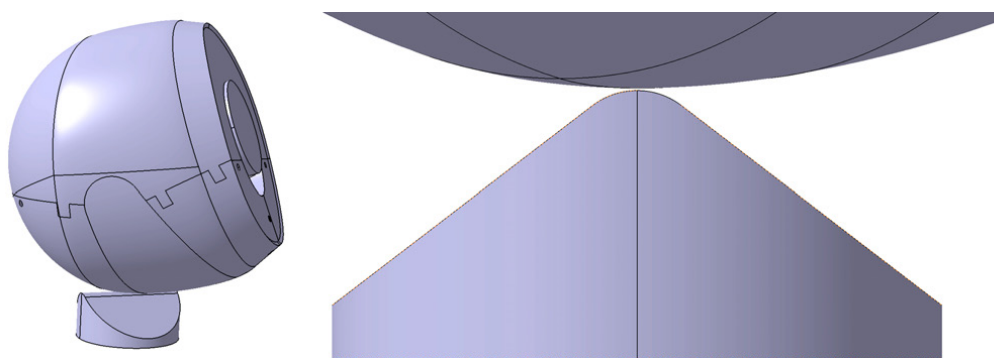


Figura 49. Posición inicial del casco y el yunque de ensayo en los ensayos de impacto.

El último paso antes de resolver es la configuración de la simulación, la cual se divide en varios subpasos:

1. Se indica el material de cada pieza. En estos ensayo, el yunque estará fabricado en acero estructural, la falsa cabeza en Magnesio K1A²⁰, los pasadores en aluminio, la calota interior en polipropileno (PP) de densidad 20 kg/m³ y la calota exterior en fibra de carbono de alta resistencia.

Además de indicar el material, se indica que tanto el yunque como la falsa cabeza son elementos rígidos debido a que no sufrirán deformaciones, ya que en la realidad sus deformaciones son prácticamente inexistentes. Los elementos rígidos, al no sufrir deformaciones, solo utilizan la densidad de entre todas las propiedades del material. En el caso del Magnesio K1A, se modifica la densidad de manera que la masa de la falsa cabeza sea de 4,1 kg, la definida en la normativa para una falsa cabeza talla E.

2. En caso de ser necesario, se definen sistemas de coordenadas adicionales. En estos ensayos no son necesarios por lo que se hace uso del sistema de coordenadas global predeterminado.
3. Se añaden las conexiones que tendrán lugar en el sistema durante la simulación. Se dividen en dos tipos diferentes:
 - Contactos: dentro de este grupo se señalan los diversos contactos o uniones entre piezas, de manera que se restrinja su movimiento relativo. Los contactos, además de los definibles por medio de comandos APDL, son:
 - Bonded: no existe penetración, separación o deslizamiento entre las caras o los ejes de los dos elementos en contacto.
 - No separation: similar a *bonded*, excepto que puede ocurrir deslizamiento entre las caras de contacto.

²⁰<http://www.cadexinc.com/headforms.php>

- Frictionless: no existe penetración, pero las superficies pueden deslizar y separarse sin ningún tipo de resistencia que lo impida.
- Rough: similar a *frictionless*, excepto que no se permite el deslizamiento.
- Frictional: permite un deslizamiento con una resistencia proporcional al coeficiente de fricción definido por el usuario. Además, se permite la separación entre piezas sin ningún tipo de resistencia.

En los ensayos realizados se distinguen dos principales grupos de contactos:

- El primer grupo de contactos es el que tiene lugar entre la cara exterior de calota interior y la cara interior de la calota exterior que forman el casco. Diversos estudios [46] [47] [48] [49] demuestran que contactos con coeficientes de fricción y dinámicos entre 0,3 y 0,5 provocan una simulación más realista. Por ello, se definen este tipo de contactos como *frictional* con coeficientes de valor 0,3 al ser el valor más crítico de los dos.
- El segundo grupo de contactos se trata de los que tienen lugar en las uniones. En este caso, al no definirse los muelles del sistema de uniones, ya que aumentan de manera muy significativa el tiempo de ejecución, se introduce un contacto entre la base del pasador y la cavidad en la calota interior tal y como se representa en la Figura 50. Este grupo de contactos, de nuevo, se define como *frictional* con coeficientes de valor 0,3.

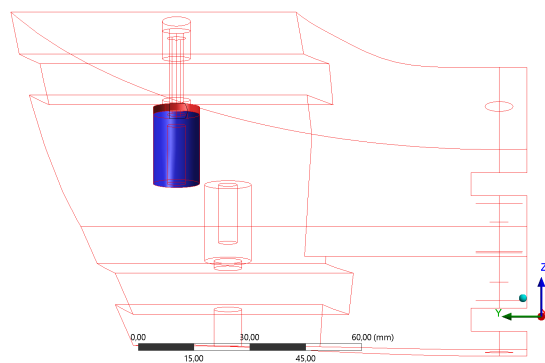


Figura 50. Definición de los contactos entre los pasadores (rojo) y la calota interior (azul).

- Interacciones entre cuerpos: este tipo de conexiones detecta el contacto entre dos elementos a lo largo del ensayo y provoca colisiones entre ellos, evitando que dos elementos se “ignoren” cuando no debieran hacerlo. En este caso, al igual que con los contactos, se definen las interacciones entre todos los cuerpos como *frictional* con coeficientes de fricción y dinámicos de 0,3 siguiendo las recomendaciones

presentadas en los estudios previamente mencionados.

4. Se realiza el mallado de los elementos que componen el casco. Debido a las limitaciones de la licencia de estudiante de la que se dispone, se genera la mejor malla posible siempre limitada por el número de elementos que permite utilizar dicha licencia.

La malla se genera utilizando la preferencia de malla explícita debido al ensayo utilizado. Además, se activa la opción de generar la malla con la función de curvatura, de manera que los elementos curvados, especialmente los pequeños como los pasadores en la zona de uniones, dispongan de una malla mejor que produzca resultados más exactos. Se trata también de combinar esta función con la de proximidad, pero el número de elementos supera de manera muy significativa el límite que ofrece la licencia. En la Figura 51 se presenta la malla de uno de los ensayos donde puede apreciarse una malla más detallada en la zona de las uniones y en la zona de impacto.

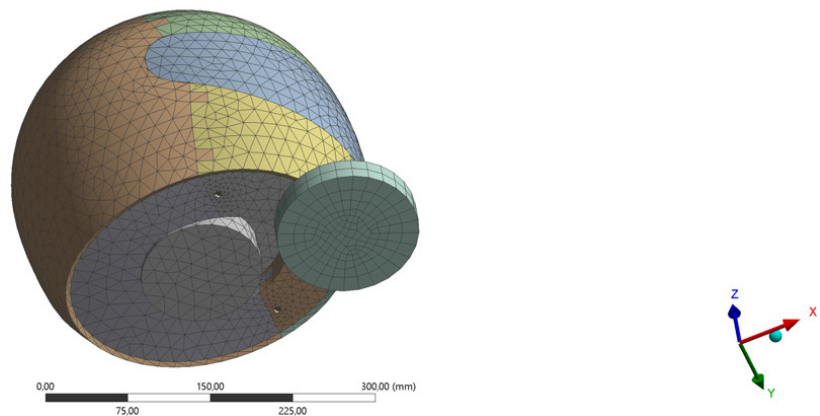


Figura 51. Mallado del ensayo de impacto con yunque plano en el punto S.

Finalmente, con estas opciones, se obtiene una malla con una buena calidad, con un valor medio de 0,7927. En la Figura 52 se incluye el informe generado por el software respecto a la calidad del mallado de uno de los ensayos a modo de ejemplo debido a la similitud con el resto.

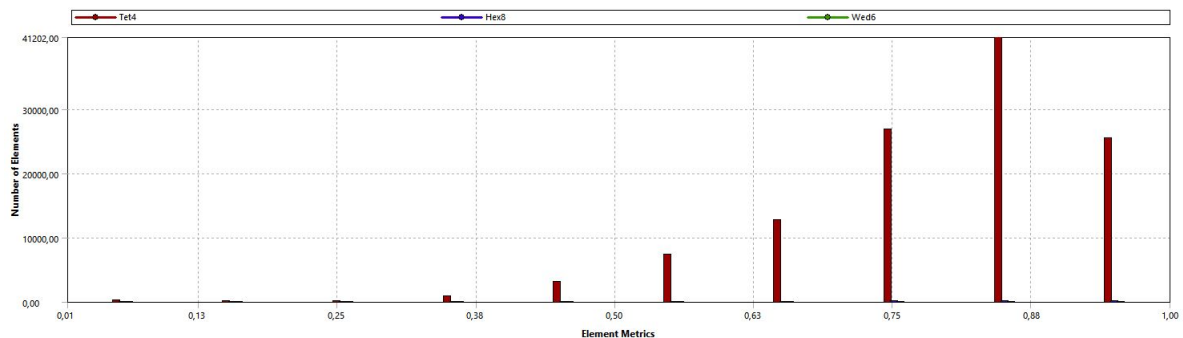


Figura 52. Calidad de la malla en uno de los ensayos de impacto.

5. Se definen las propiedades del ensayo, principalmente la duración del ensayo. Con el objetivo de minimizar al máximo la duración de ejecución de los ensayos, pero obtener los valores necesarios, se realizan ensayos de una duración total de 20 ms. De esta manera se obtienen curvas completas para las aceleraciones y es posible calcular el desplazamiento máximo que sufre la falsa cabeza.

Un sistema explícito es numéricamente estable si:

$$\Delta t < \Delta t_{crit} \approx \frac{L_{crit}}{c} \quad (2)$$

donde c representa la velocidad de propagación de las ondas en el material isotrópico y se calcula como:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

Debido a la existencia de elementos de pequeño tamaño, L_{crit} toma un valor muy reducido, provocando que Δt_{crit} también lo haga y por tanto el tiempo de ejecución sea muy elevado. Con el objetivo de reducir el tiempo de ejecución de los ensayos, se activa la opción Automatic Mass Scaling y se fija la opción Minimum CFL Time Step en 5E-08 s, de manera que Δt_{crit} tome este valor aproximadamente. La opción Automatic Mass Scaling modifica la densidad de los elementos críticos, provocando así un incremento de Δt_{crit} . Se considera aceptable un incremento de la masa de en torno a un 2 o 3 %.

```
SIMULATION ELAPSED TIME SUMMARY

EXECUTION FROM CYCLE      1 TO    400598
ELAPSED RUN TIME IN SOLVER =    5.31125E+02 Minutes
TOTAL ELAPSED RUN TIME    =    7.33083E+02 Minutes
JOB RAN OVER      16 SLAVES
JOB RAN USING Platform MPI
JOB RAN USING DECOMPOSITION AUTO

Problem terminated .... wrapup time reached

Problem terminated .... wrapup time reached
```

Código 1. Salida del solucionador en uno de los ensayos donde se indica el tiempo de ejecución.

De este modo, tal y como puede comprobarse en el Código 1, se obtienen unos tiempos de ejecución que, a pesar de seguir siendo muy elevados (algo más de 12 horas por

simulación), incrementan la viabilidad de la solución al compararlos con los ensayos en los que no se activa la opción Automatic Mass Scaling. En este último caso, la duración de los ensayos llega a superar las 100 horas.

6. Se aplican las condiciones de frontera y los resultados que se desea que sean calculados.

En los ensayos de impacto, en primer lugar, se fija el yunque al espacio, de manera que no pueda desplazarse. Además, se aplica una condición inicial de velocidad al conjunto del casco y la falsa cabeza, siendo ésta de 7,5 m/s en todos los puntos de impacto excepto en el punto S, donde será de 5,5 m/s tal y como se indica en la normativa.

Finalmente, se incluyen el desplazamiento vertical de la falsa cabeza y su aceleración como resultados a calcular. De esta manera, pueden obtenerse los resultados de las aceleraciones que sufre la cabeza, necesarios para la homologación, así como su desplazamiento para comprobar que la cabeza no llega a impactar directamente con el yunque. Además, se incluyen la deformación total de todos los elementos del sistema y la velocidad de la cabeza también como resultados. Con el primero, se obtiene una animación completa del impacto de manera que se pueda observar visualmente la dinámica del impacto. El segundo resultado permite comprobar la velocidad de la cabeza en todo momento, en especial antes del impacto para comprobar que la condición inicial de velocidad se cumple.

Por último, se resuelve el sistema y se realiza un post-procesado de los resultados obtenidos, el cual se presenta en la Subsección 4.1.1: *Ensayos de absorción de impacto*. AUTODYN es el *solver* utilizado por el módulo *Explicit Dynamics*.

3.2.2.2. Ensayos de proyecciones y fricción superficial

En realidad, este ensayo no es más que otro ensayo de impacto con otra geometría, otras condiciones de frontera y otros resultados a calcular. Por ello, al igual que en los ensayos de impacto, se hace uso del módulo *Explicit Dynamics*. Además, al solo variar estos tres elementos, algunos de los pasos son idénticos a los descritos en la Subsubsección 3.2.2.1: *Ensayos de absorción de impacto* y, por tanto, solo serán citados.

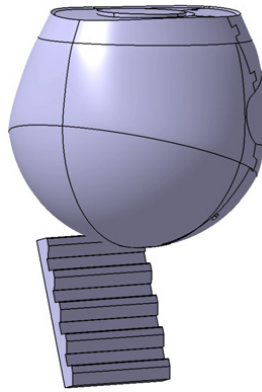


Figura 53. Geometría usada en el ensayo de proyecciones y fricción superficial.

El primer paso de definir los materiales del ensayo es idéntico al descrito previamente.

Posteriormente, se importa la geometría del ensayo, previamente creada y presentada en la Figura 53.

De nuevo, el último paso antes de la resolución consiste en configurar la totalidad del sistema. De los subpasos presentados anteriormente, solo varían el número 5, en lo referido a la duración del ensayo, y el número 7, al variar las condiciones de frontera y los resultados a calcular. A continuación se presentan únicamente las diferencias en estos dos pasos:

5. En este caso, la duración total del ensayo puede verse reducida al no ser necesario calcular desplazamientos o aceleraciones, cuya variación pueda tener cierto retardo respecto al momento del impacto. Únicamente las fuerzas inducidas en el yunque son calculadas. Por tanto, la duración total de este ensayo se reduce hasta 1 ms, un valor más que suficiente para que tenga lugar el impacto.

7. Las condiciones de frontera varían levemente respecto a los ensayos de absorción de impacto. El yunque sigue fijándose en el espacio y sigue aplicándose una condición inicial de velocidad al conjunto del casco y la falsa cabeza. Sin embargo, en esta situación la velocidad aplicada es de 8,5 m/s. En cuanto a los resultados, se calculan las fuerzas de reacción en el yunque en los tres ejes de coordenadas globales del sistema. Además, al igual que se realizó en los ensayos de absorción de impacto, se añade la velocidad de la cabeza como resultado a calcular para comprobar que la condición inicial de velocidad se aplica correctamente.

3.2.2.3. Ensayos de rigidez

Para este tipo de ensayos, por su naturaleza, se hace uso del módulo *Static Structural*. La documentación del propio software *Ansys* define un análisis mediante *Static Structural* como un “estudio donde se determinan los desplazamientos, las tensiones, las deformaciones y las fuerzas en estructuras o componentes causadas por cargas que no inducen inercia significativa o efectos amortiguadores” [50]. En este ensayo, al no producirse ningún choque o ningún evento que produzca inercia significativa en los elementos a estudiar, es posible aplicar este módulo. Además, mediante el uso de este módulo y no otros como *Transient Structural* o *Explicit Dynamics* se consigue reducir el tiempo de ejecución de manera muy significativa. Sin embargo, la utilización del módulo *Transient Structural* podría haber resultado útil en para esta simulación.

Un ejemplo en vídeo de este ensayo puede encontrarse en [51] para su mejor comprensión.

El primer paso, al igual que en los ensayos de impacto y de proyecciones, consiste en definir los materiales e importar la geometría previamente creada de manera específica para este ensayo. En este caso, con el objetivo de simplificar el estudio, se importa únicamente el casco, sin estar montado en una falsa cabeza ni incorporar las placas que se mencionan en la descripción del ensayo en la Subsección 2.10.1: *Homologación ECE/ONU R22*.

Los siguientes pasos, de nuevo, son parcialmente idénticos a los descritos en los ensayos anteriores:

1. Tiene lugar la asignación de materiales a los distintos módulos que definen el casco.
2. Al igual que en los ensayos anteriores, se hace uso únicamente del sistema de coordenadas global predeterminado.
3. Caracterización de las distintas conexiones que tienen lugar en el casco como *frictional* de coeficientes 0,3.
4. Se realiza el mallado de todos los elementos siguiendo el mismo criterio que ha sido descrito previamente.
5. Con el objetivo de simular los contactos con las placas, no añadidas al ensayo para simplificarlo y reducir el tiempo de ejecución, se crean dos *Named Selections*. Se tratan de conjuntos de puntos, vértices, superficies, partes, elementos o nodos que se agrupan

bajo un mismo nombre y a las que puede seleccionarse de manera conjunta mediante una llamada. De este modo, se definen dos conjuntos de elementos, en uno de los cuales se aplicará la fuerza que sería la que tendría lugar por la placa y, en el otro conjunto, se aplicarán unas condiciones de desplazamiento cero de manera que estos puntos queden fijados en el espacio.

6. Se definen las propiedades del ensayo. En este caso, a diferencia de los ensayos realizados con el módulo *Explicit Dynamics*, no se define la duración total del ensayo, si no el número de *steps* y su duración que aparecen representados en la Figura 54. Además de esta definición, se activa la opción *Large Deflection* para que se tengan en cuenta la no linealidad de los materiales utilizados.
7. Finalmente, se aplican las condiciones de frontera y los resultados a calcular por medio de la simulación. En este caso, se aplica una fuerza, siguiendo la norma a una de las *Named Selections* creadas en el casco, con los valores presentados en la Figura 54 y se aplica una condición de no desplazamiento a la otra *Named Selection*. En cuanto a los resultados, se obtienen las deformaciones totales y direccionales del casco para su estudio.

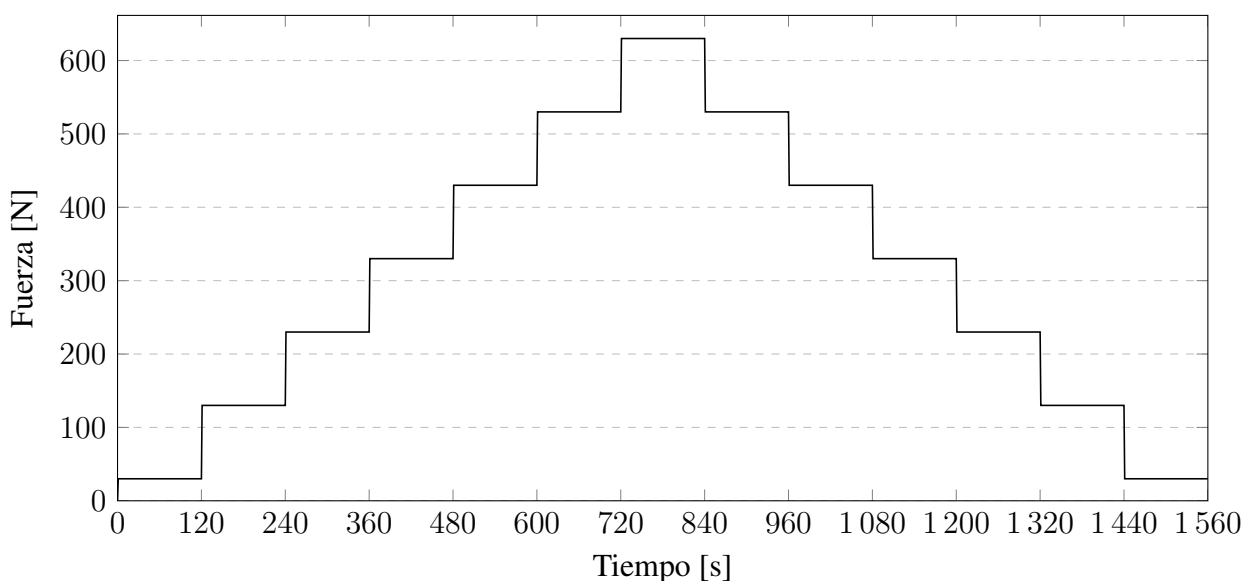


Figura 54. Fuerza aplicada en el ensayo de rigidez en cada *step*.

3.2.3. Análisis aerodinámico

El análisis aerodinámico, a pesar de tener menor importancia que el estructural para el diseño del casco, se realiza en primer lugar, con el objetivo de obtener un modelo aerodinámico. De

este modo, se busca conseguir un producto que ofrezca poca resistencia al aire y que no se vea sometido a grandes fuerzas debidas al viento que provoquen incomodidad durante su uso.

Para ello, se estudian 4 variaciones del modelo final que se presentó en la Subsubsección 3.1.6.1. Estas 4 variaciones, presentadas en la Figura 55, difieren en la inclusión de un spoiler trasero o una visera. La primera variación estudiada consta únicamente del casco, sin añadidos como el spoiler o la visera. Posteriormente, se estudian dos tipos de spoiler traseros que varían en su forma. Por último, se estudia la inclusión de una visera que, como se mencionó en las Subsubsecciones 3.1.5.3: *Cronología* y 3.1.6.1: *Modelo* será un módulo opcional.

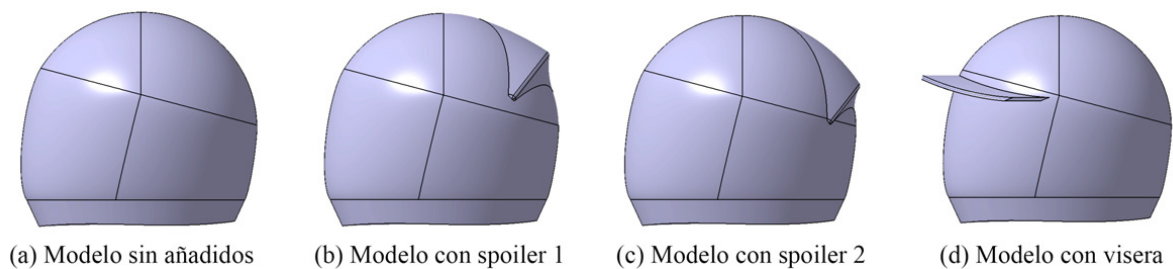


Figura 55. Variaciones utilizadas en el análisis aerodinámico.

Para la creación del diseño, se hace uso del módulo *Fluid Flow (Fluent)* del software *Ansys Workbench Release 17.2*. En primer lugar debe crearse la geometría a analizar. En este caso, a diferencia de los estudios estructurales, esta geometría debe modificarse mínimamente. Tras importar la geometría y aplicar la simetría a lo largo del plano longitudinal vertical del casco, se genera un *enclosure* o recinto que recubra la geometría del casco y por donde circulará el viento. Posteriormente, se realiza una operación booleana entre este recinto y la geometría del casco para obtener la presentada en la Figura 56, equivalente a un túnel de viento.

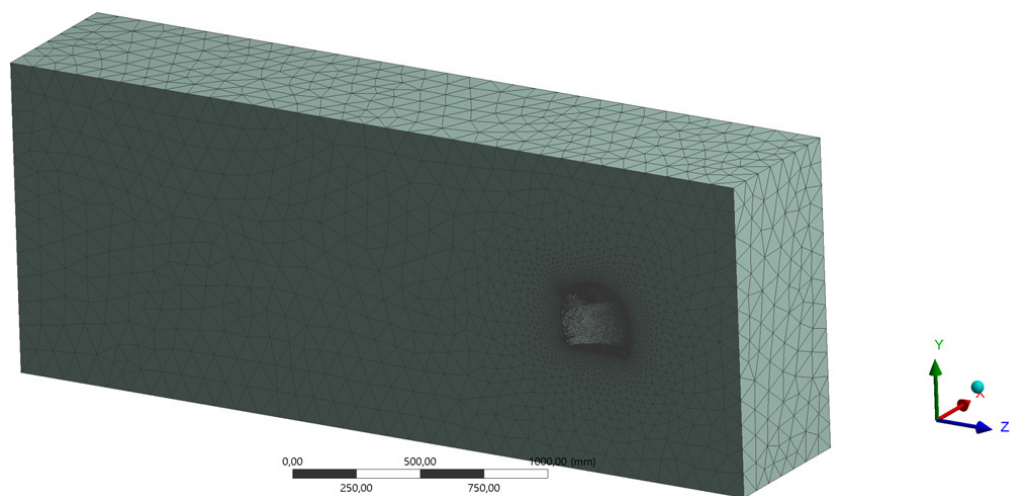


Figura 56. Geometría y mallado utilizados en el análisis estructural.

Tras generar esta geometría, se procede a la creación de la malla. Para ello, se presta especial atención a la zona de la geometría del casco, donde se utilizan elementos lineales de unos 5 mm, utilizando la opción del software de generar una malla óptima para CFD. De esta manera se obtiene el mallado mostrado en la Figura 56.

Posteriormente, con la finalidad de facilitar etapas posteriores, se crean 7 *Named Selections* asociadas a distintas superficies:

- **Velocity inlet:** superficie del recinto por donde se producirá la entrada del viento que se utiliza en el ensayo.
- **Symmetry plane:** como su propio nombre indica, se trata del plano de simetría que coincide con el plano longitudinal vertical del casco.
- **Top:** superficie que limita el recinto por su zona superior.
- **Symmetry side:** superficie que limita el recinto por su zona lateral.
- **Pressure outlet:** superficie del recinto por donde se producirá la salida del viento que se utiliza en el ensayo.
- **Down:** superficie que limita el recinto por su zona inferior.
- **Casco:** superficie que representa el casco y que tiene lugar al realizarse la operación booleana mencionada previamente.

La última etapa, consiste en la configuración de la simulación. En este caso, para la solución de la simulación, se utiliza un *solver* basado en presiones y será una simulación de tipo estacionario. Para el estudio, se utiliza el modelo turbulento de *Spalart-Allmaras*²¹.

En el apartado de condiciones de contorno, gracias a las *Named Selections* definidas previamente, se automatiza la asignación de las zonas a su tipo, por lo que no es necesaria ninguna modificación.

Los valores de referencia son calculados a partir de la *Named Selection* Velocity inlet, de manera que se definan las propiedades del aire. Sin embargo, el área se modifica para utilizar el área proyectada del casco en la dirección de movimiento del aire.

²¹https://en.wikipedia.org/wiki/Spalart%E2%80%93Allmaras_turbulence_model

A continuación, se definen diversas propiedades del modelo utilizado en la solución. En este caso, se utiliza un esquema acoplado o *coupled*. En cuanto a la discretización espacial, se utiliza un gradiente basado en mínimos cuadrados. La presión, el momento y la modificación de la viscosidad en flujo turbulento son calculadas haciendo uso de ecuaciones de segundo grado. Estas propiedades son definidas de esta manera para acelerar la convergencia del cálculo. A pesar de incrementar el tiempo de ejecución de cada iteración, al disponer de unas capacidades de computación muy elevadas, se consigue reducir el tiempo de ejecución total mediante este método.

Para el cálculo de los coeficientes de arrastre y de sustentación del casco, se añaden dos monitores que, además, guardan los resultados de cada iteración en un archivo externo para facilitar su postprocesado. De manera adicional, para asegurar que los resultados obtenidos son correctos, se reduce el valor crítico de convergencia. De este modo, para concluir que el estudio ha convergido, los residuales deben ser menores a $1\text{E-}05$ en lugar de $1\text{E-}03$.

Finalmente, previo a la ejecución del cálculo, se inicializa la solución mediante una inicialización híbrida que permite comenzar la solución con unos resultados de las iteraciones más similares a los resultados finales.

Capítulo 4

Cálculo y análisis de los resultados

ESTE capítulo será el utilizado para presentar los resultados que se obtienen de las diversas simulaciones.

Como ya se presentó en la Sección 3.2: *Simulación*, se realizan dos tipos de análisis diferentes, estructural y aerodinámico, cuyos resultados pasan a presentarse a continuación.

4.1. Análisis estructural

En un primer lugar, se presentan los resultados de las distintas simulaciones encuadradas dentro del análisis estructural

4.1.1. Ensayos de absorción de impacto

La primera simulación llevada a cabo tiene como objetivo estudiar la capacidad del casco de absorber el impacto en caso de accidente.

Para su homologación, las aceleraciones sufridas por la falsa cabeza en todo momento deben ser inferiores a 275 g tal y como se presentó en la Subsección 2.10.1: *Homologación ECE/ONU R22*. Además, se calcula el parámetro *Head Injury Criterion*, cuyo cálculo fue presentado en dicha sección, el cual no debe superar un valor de 2400.

En las Figuras 57 y 58, se presentan las aceleraciones sufridas por las cabezas, a lo largo de la duración de la simulación. Las simulaciones, llevadas a cabo con la configuración presentada en la Subsubsección 3.2.2.1: *Ensayos de absorción de impacto*, tienen una duración de 20 ms.

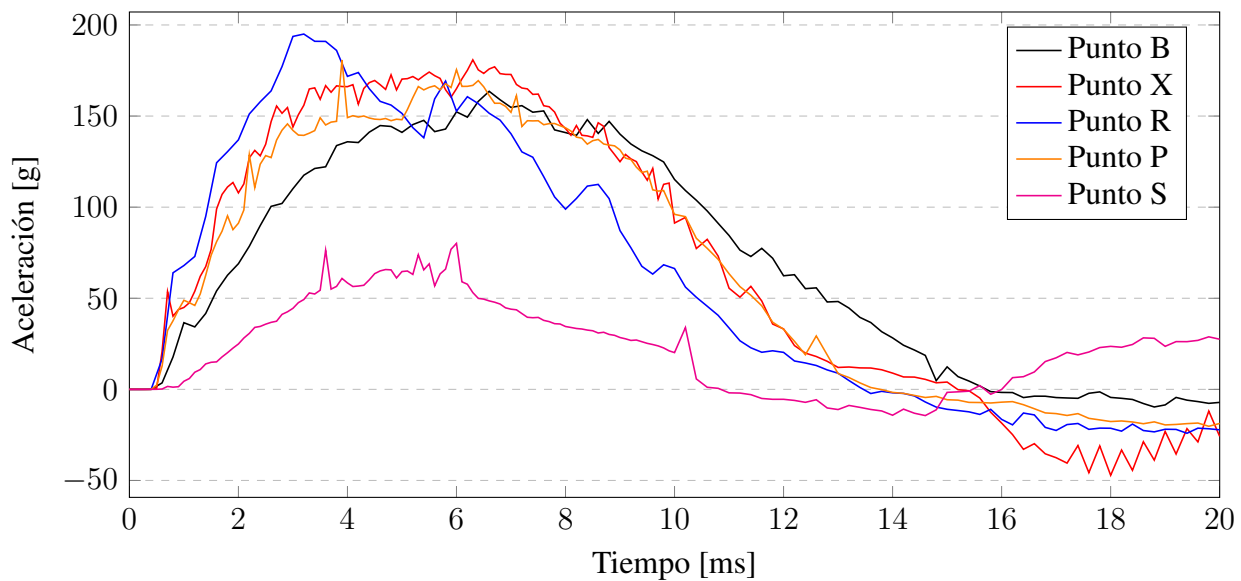


Figura 57. Aceleraciones en los ensayos de impacto con yunque plano.

Puede comprobarse como, en cualquiera de los dos tipos de impacto, con yunque plano y en cuña, no se supera en ningún momento la aceleración límite de homologación de 275 g. El ensayo más crítico se trata del impacto en el punto P contra el yunque en cuña, donde se obtienen aceleraciones algo superiores a las 200 g.

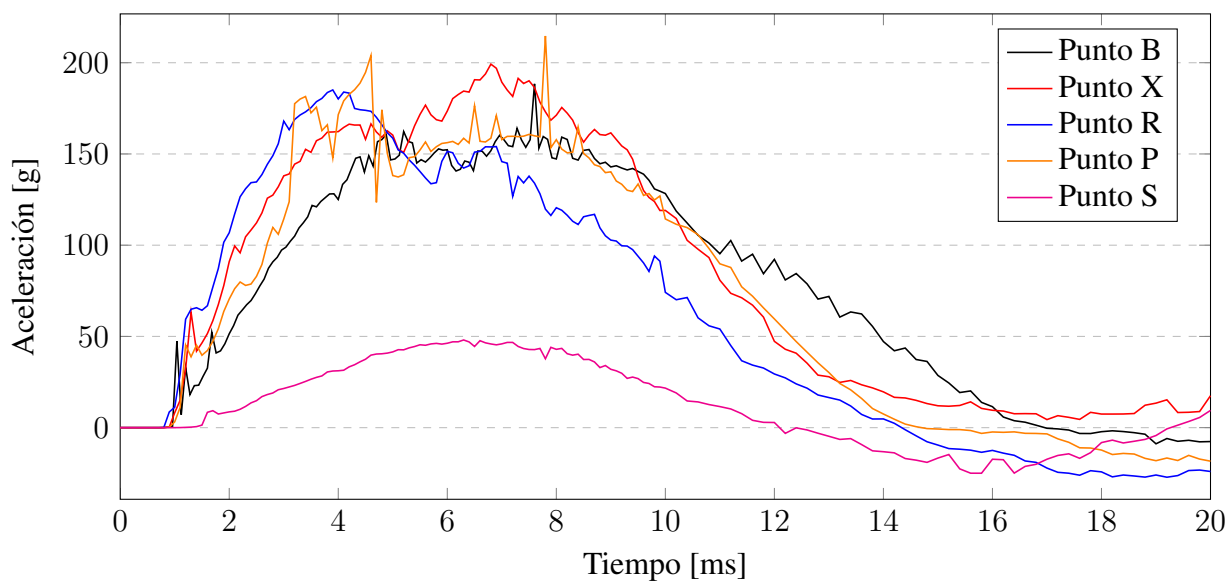


Figura 58. Aceleraciones en los ensayos de impacto con yunque en cuña.

Respecto al cálculo del HIC, en el código presentado en el Anexo 3: *Cálculo del HIC (1)* se

presenta el primer método, más simple, donde en primer lugar se ajustan los puntos obtenidos de los ensayos para obtener la ecuación de la aceleración en función del tiempo para posteriormente calcular el HIC durante un intervalo de tiempo único y definido. Este intervalo de tiempo utilizado para evaluar, se encuentra limitado a 36 ms [52] [53], aunque usualmente se utilizan intervalos de tiempo de 15 ms [54]. En este caso, se utilizan intervalos de esta 15 ms.

Tras analizar los valores y observar los ajustes de las curvas, este método no resultaba del todo exacto. Por tanto, mediante un método alternativo, cuya autoría corresponde a Roger Stafford²², se realiza un cálculo más preciso. Este cálculo, presentado en el Anexo 4: *Cálculo del HIC (2)*, se realiza para todos los intervalos posibles y, finalmente, el valor útil resulta el mayor de todos. Por otro lado, la integral, en lugar de obtenerse por medio del ajuste de la curva, se realiza mediante una integral numérica trapezoidal de todos los puntos, resultando de esta manera más exacta. Con este método, se obtienen valores mucho más elevados de HIC, en ocasiones muy próximos al límite homologable.

Sin embargo, en ocasiones el HIC no se considera suficiente para evaluar las lesiones craneales. Considerar únicamente la aceleración translacional y su duración obviando la velocidad de rotación y la dirección del momento tiende a subestimar la gravedad de las lesiones [55] [56] [57].

A modo de resumen, en la Tabla 14 y la Figura 59, se presentan las aceleraciones máximas, sufridas por la cabeza, su desplazamiento máximo y el valor HIC calculado por los dos métodos. En la Figura 59 también se representa el valor límite de homologación para el HIC.

Yunque	Punto	Acel. [g]	Desp. [mm]	HIC (1)	HIC (2)
Plano	B	163,58	48,322	1294,5	1779,7
Cuña	B	188,43	54,071	1462,4	1917,8
Plano	X	180,86	35,021	1368,0	2348,6
Cuña	X	199,22	50,152	1720,1	2378,0
Plano	R	195,01	28,076	1076,4	2002,1
Cuña	R	185,09	31,886	1114,4	1859,1
Plano	P	180,80	35,101	1155,7	1996,9
Cuña	P	214,67	31,886	1547,9	2210,2
Plano	S	80,11	78,052	46,8	117,6
Cuña	S	48,06	48,06	22,0	60,5

Tabla 14. Aceleraciones máximas, desplazamientos máximos y HIC calculados en los ensayos de impacto.

²²<https://groups.google.com/forum/#!topic/comp.soft-sys.matlab/eRdRgfhqMss>

Ciertos estudios [58], han demostrado de manera estadística que para un impacto con un HIC de valor 1000, un adulto medio tiene un 18 % de probabilidad de lesión craneal grave (AIS 4), un 55 % de probabilidad de lesión seria (AIS 3) y un 90 % de probabilidad de lesión craneal moderada (AIS 2).

AIS son las siglas utilizadas para definir la Escala de Daño Simplificada o *Abbreviated Injury Scale* en inglés [59], donde la clasificación de la gravedad de las lesiones se realiza de acuerdo a la probabilidad de supervivencia sin tener en cuenta factores como discapacidades corporales o costes económicos.

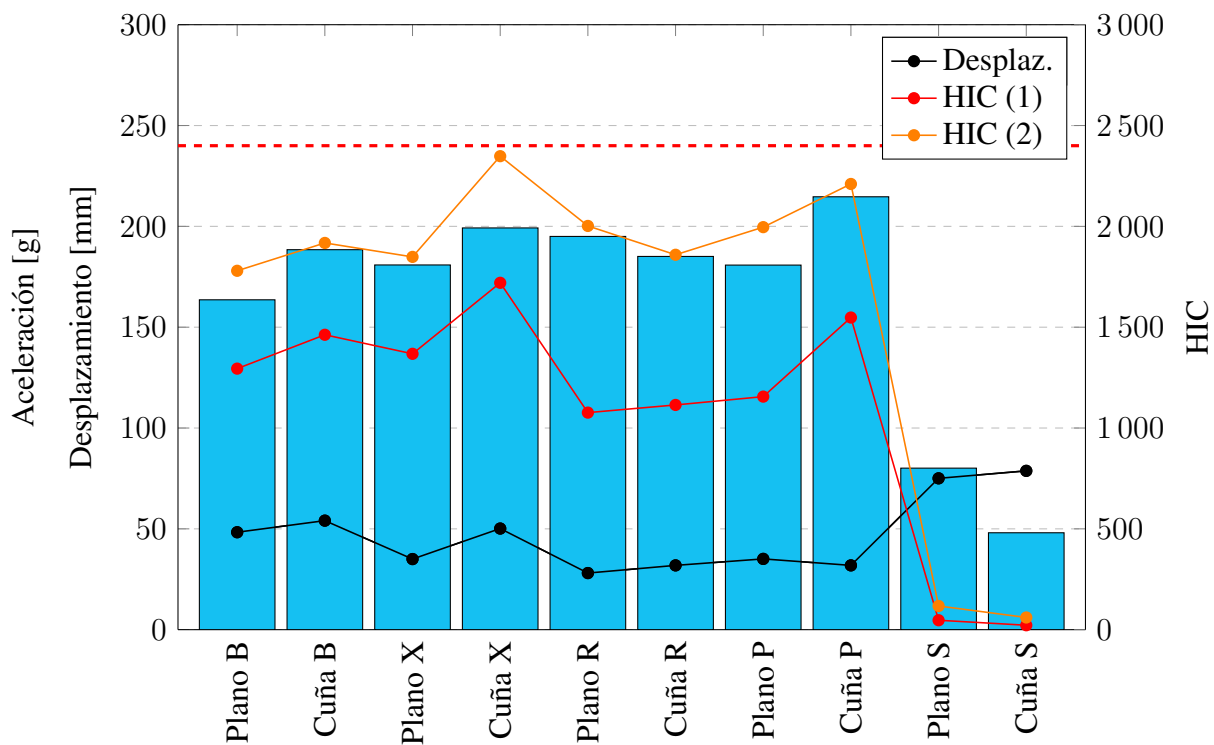


Figura 59. Aceleraciones máximas, desplazamientos máximos y HIC calculados en los ensayos de impacto.

El HIC es universalmente aceptado como un predictor correlacionado positivamente con la probabilidad de daño. Sin embargo, no existe una conexión determinista entre el valor que toma el HIC y los daños que tienen lugar. Para ello, ciertos estudios [60] han conseguido encontrar mediante correlación logística una relación entre el valor de HIC y la probabilidad de daños severos representada mediante la Ecuación 4:

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(a+bx)}} \quad (4)$$

donde $P(x)$ representa la probabilidad de lesión para un valor x del llamado predictor de lesiones,

donde un valor 0 para x representa una ausencia de lesiones y 1 la presencia de lesiones. Los valores de a y b son obtenidos de manera experimental. En la Figura 60 se presentan las distintas curvas para el HIC calculadas en [60], donde un valor de EB cercano a 0 representa una mayor fidelidad a la realidad.

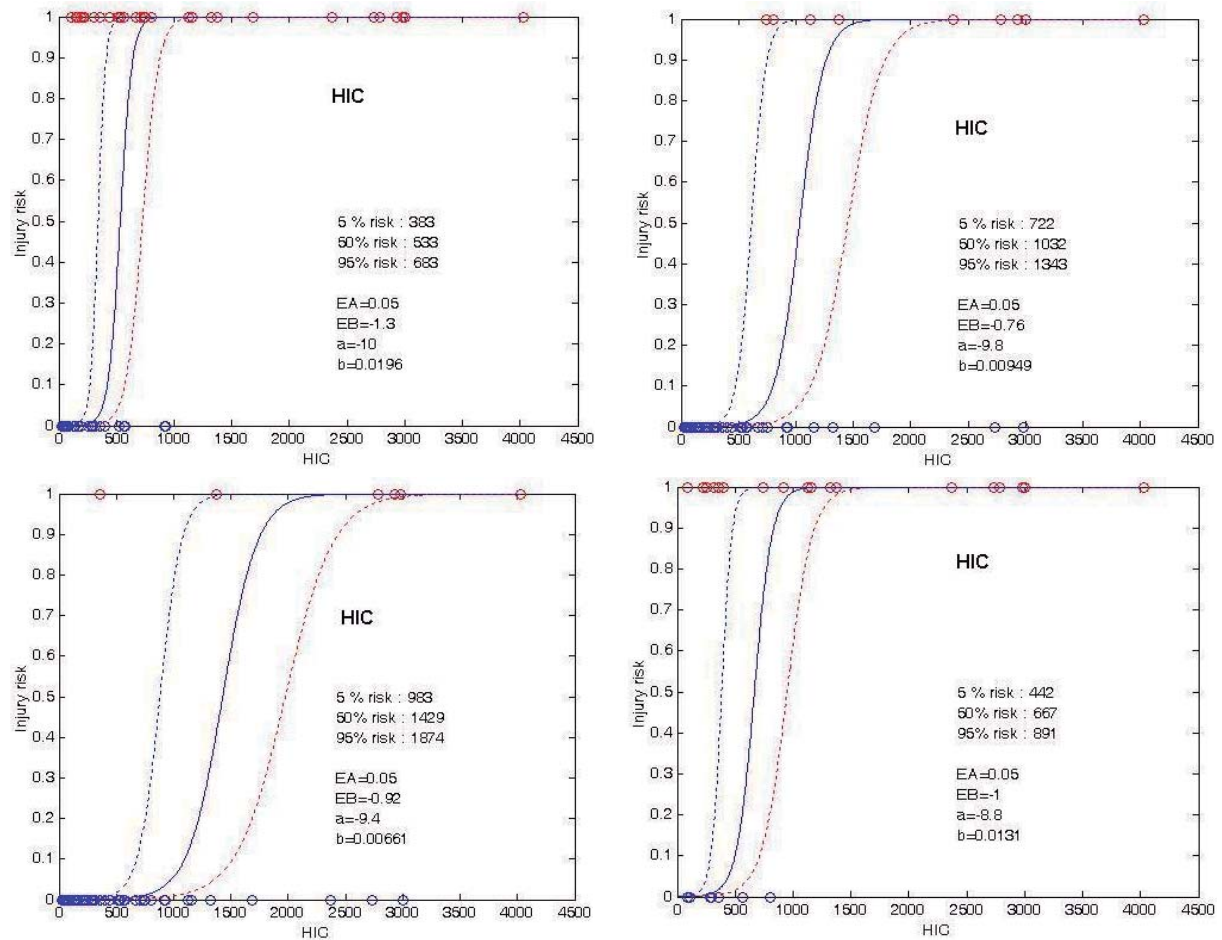


Figura 60. Curvas de probabilidad de lesión en funcion del HIC. [60].

Debe mencionarse que los desplazamientos presentados para los impactos en el punto S no pueden tenerse en cuenta para estudiar si la falsa cabeza impacta con el yunque o no. Esto es debido a que, tal y como se representa en la Figura 61, a consecuencia del impacto, sufre un movimiento de rotación que provoca desplazamientos “no reales” en la dirección de estudio.

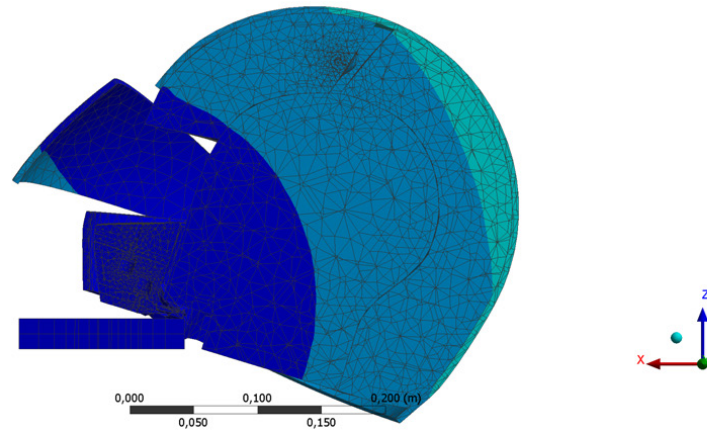


Figura 61. Impacto en el punto S, donde los desplazamientos no son válidos para estudiar impactos de la falsa cabeza contra el yunque.

Con el objetivo de comprobar que no existe un desplazamiento suficiente de la falsa cabeza como para impactar con el suelo, se obtiene de las simulaciones la Figura 62. Esta situación corresponde al momento de mayor desplazamiento de entre todas las simulaciones de impacto a excepción de las realizadas en el punto S por lo descrito anteriormente. Es decir, en la Figura 62 se representa el momento de mayor desplazamiento en el ensayo de impacto en el punto B contra el yunque en cuña.

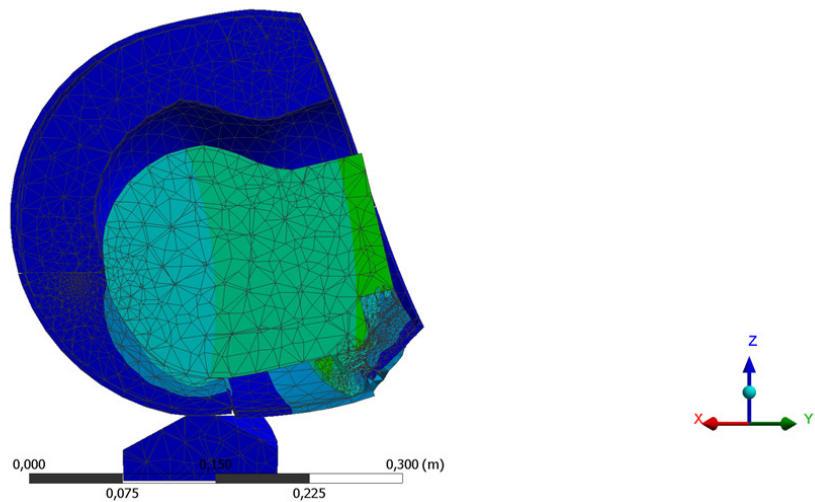


Figura 62. Momento de máximo desplazamiento de la falsa cabeza, que no llega a impactar con el yunque.

4.1.2. Ensayos de proyecciones y fricción superficial

En la simulación del ensayo de proyecciones, tal y como se describió en la Subsección 3.2.2.2: *Ensayos de proyecciones y fricción superficial*, no se definen sistemas de

coordenadas adicionales, sino que se utiliza el sistema de coordenadas global predeterminado.

Sin embargo, para este ensayo, deben calcularse las fuerzas inducidas en el yunque medidas en su eje longitudinal. En la Figura 63, se presenta una representación, en alzado, del sistema de coordenadas global (y,z) y del sistema de coordenadas del yunque (1,2).

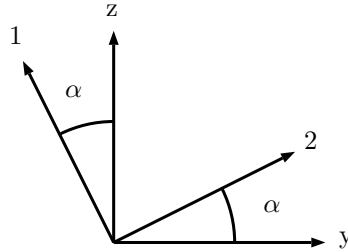


Figura 63. Representación del sistema de coordenadas global (y,z) y del yunque (1,2)

Por tanto, para calcular las fuerzas inducidas en el eje longitudinal del yunque, se hace uso de la Ecuación 5 donde $\alpha = 15^\circ$.

$$1 = -y \sin \alpha + z \cos \alpha \quad (5)$$

En la Figura 64 se representan las fuerzas inducidas en el eje longitudinal del yunque (1 en la Figura 63). Puede comprobarse como, la fuerza máxima alcanzada se encuentra en torno a los 600 N, muy alejada del valor límite de 2500 N establecido en la normativa.

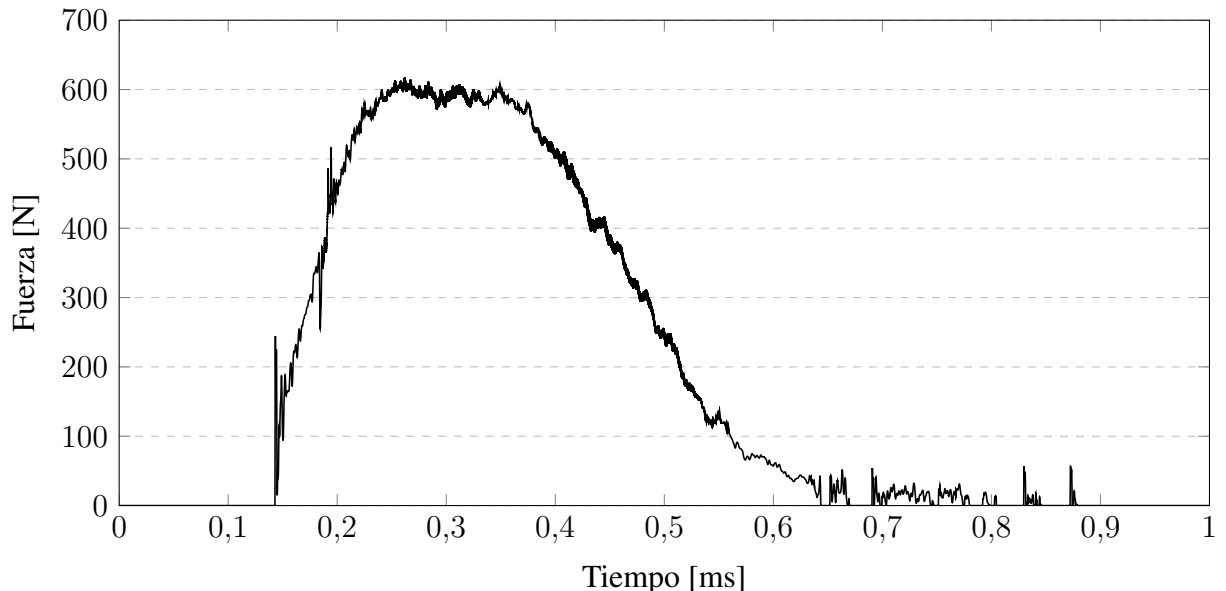


Figura 64. Fuerza inducida en el yunque en el ensayo de proyecciones.

Además, mediante el código presentado en el Anexo 5: *Cálculo de la integral respecto al tiempo de las fuerzas inducidas en el yunque en el ensayo de proyecciones*, se calcula su integral

respecto al tiempo. El valor calculado es de 0,1939 Ns, de nuevo mucho menor que los 12,5 Ns que se establecen como valor límite en la misma normativa.

4.1.3. Ensayos de rigidez

Los ensayos de rigidez se dividen en dos simulaciones. En la primera, se estudia la rigidez del casco respecto al plano longitudinal vertical del casco mediante la aplicación de una carga en dicho plano. En la segunda, se aplica una carga idéntica pero, en este caso, de modo que se estudie la rigidez respecto al plano transversal del casco.

Los resultados de ambos ensayos son presentados en la Figura 65.

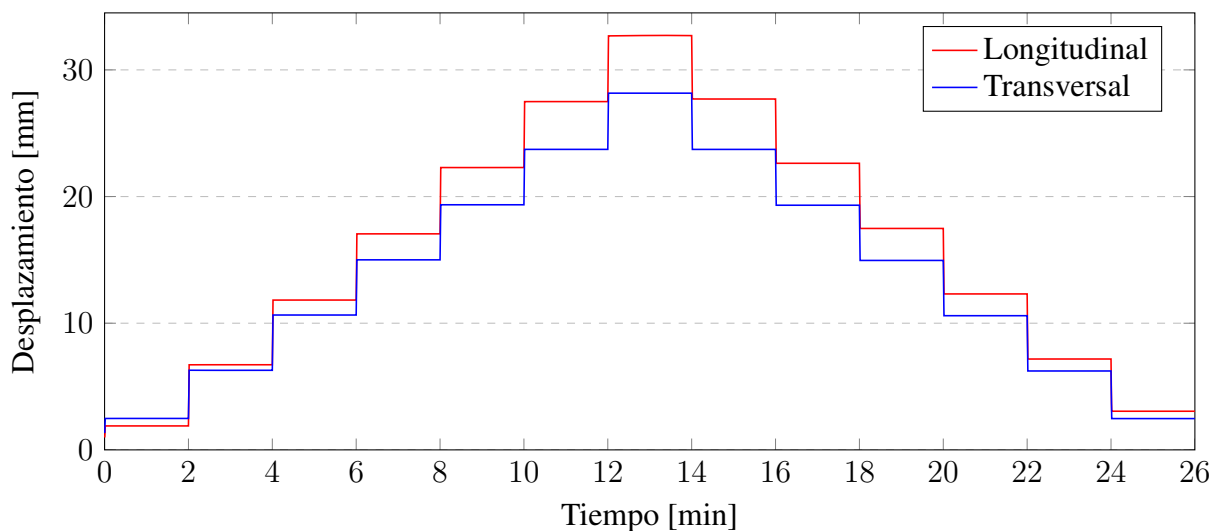


Figura 65. Deformaciones medidas en los ensayos de rigidez.

Además, en la Tabla 15 se presentan los valores mencionados explícitamente en la normativa y que deben ser utilizados para comprobar que esta se cumple. Estos valores son las deformaciones sufridas por el casco tras la aplicación de la primera carga de 30 N, tras la carga de 630 N y la segunda carga de 30 N.

	Longitudinal	Transversal
30 N (1)	1,8915	2,4704
630 N	32,7060	28,162
30 N (2)	3,0504	2,4814

Tabla 15. Valores de deformaciones (en mm) calculados y utilizados para comprobar el cumplimiento de la normativa de homologación.

Puede comprobarse que, como parece lógico, la deformación máxima en el eje longitudinal es mayor que en el transversal. Además la diferencia de deformaciones entre un eje y otro incrementa al incrementar la carga aplicada. De igual manera, las diferencias entre deformaciones sufridas en los intervalos de carga y de descarga son más significativas en el estudio del eje longitudinal que en el del eje transversal.

En cuanto a las limitaciones impuestas por la normativa para certificar la homologación del producto, se comprueba que se cumplen:

- La deformación medida bajo la carga de 630 N en ninguno de los dos ejes excede la medida bajo la carga inicial de 30 N en más de 40 mm. Para la simulación llevada a cabo en el eje longitudinal esta diferencia de deformaciones toma un valor de 30,8145 mm mientras que en el eje transversal es de 25,6916 mm.
- La deformación medida tras reducir la carga a 30 N, de nuevo, no excede en ninguno de los ejes la medida al aplicar la carga de 30 N inicial en más de 15 mm. En el caso del eje longitudinal, se produce una diferencia de deformaciones entre ambos instantes de 1,1589 mm mientras que en el eje transversal la diferencia entre deformaciones es prácticamente inexistente.

4.2. Análisis aerodinámico

Tal y como se describió en la Subsección 3.2.3: *Análisis aerodinámico*, en el presente análisis se estudian las características aerodinámicas de cuatro modelos distintos de cascos. Específicamente, se calculan sus coeficientes de arrastre, C_d , y de sustentación, C_l , a tres velocidades distintas: 50, 85 y 120 km/h. De este modo se pretende obtener una serie de valores para dichos coeficientes que ayuden a entender cómo de cómodo será el casco durante su uso.

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 16 y la Figura 67

Para incrementar la comodidad, se busca diseñar un casco con un coeficiente de sustentación C_l lo más próximo a 0 posible. Esto significa que las fuerzas que se ejercen sobre el casco y que provocan desplazamientos en dirección descendente se compensan con las que provocan desplazamientos ascendentes. De esta manera, ni el casco ni la cabeza sufren fuerzas que deban ser contrarrestadas por el usuario provocando incomodidad.

		50 km/h	85 km/h	120 km/h
Sin añadidos	Cd	0,2494	0,2478	0,2477
	Cl	0,1682	0,1609	0,1583
Con spoiler 1	Cd	0,2613	0,2602	0,2571
	Cl	0,2032	0,2027	0,1993
Con spoiler 2	Cd	0,2980	0,3067	0,3132
	Cl	0,2502	0,2577	0,2629
Con visera	Cd	0,3307	0,3589	0,3623
	Cl	0,3546	0,3863	0,3914

Tabla 16. Coeficientes de arrastre y sustentación para los distintos modelos y distintas velocidades.

En cuanto al coeficiente de arrastre, se busca reducirlo al máximo ya que representa la resistencia de un objeto en un medio fluido, en este caso el aire. Por tanto, un coeficiente de arrastre reducido permitirá al casco soportar menores fuerzas que se opongan a su movimiento como las presentadas en la Figura 66.

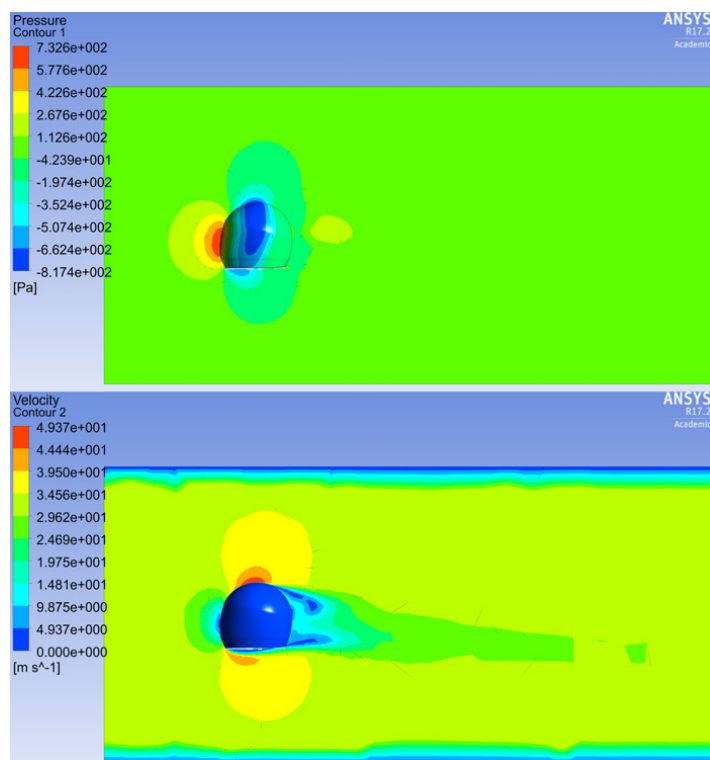


Figura 66. Contornos de presiones y velocidades obtenidos en el ensayo a 120 km/h con el casco sin añadidos.

En la Figura 67, puede observarse como el casco sin añadidos presenta mejores resultados que el resto de cascos tanto en el arrastre como en la sustentación. Además, puede extraerse que se produce una pequeña disminución de estos coeficientes cuando las velocidades del aire se ven incrementadas. Esto se traduce en que, a mayores velocidades, el casco será algo más cómodo.

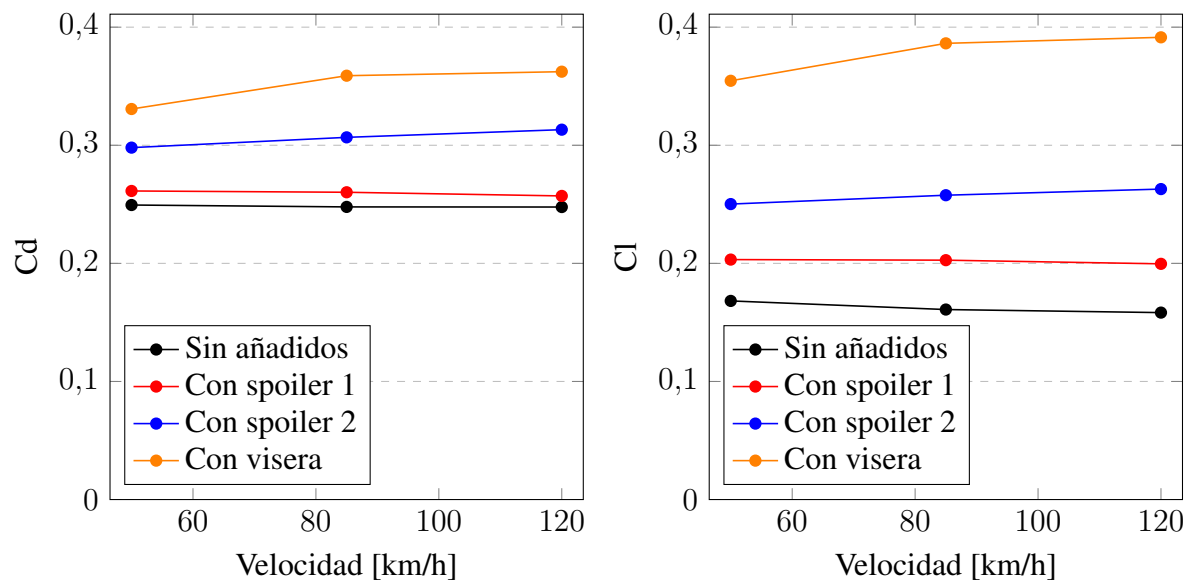


Figura 67. Coeficientes de arrastre y sustentación para los distintos modelos y distintas velocidades.

La adición de los spoilers traseros, a pesar de buscar reducir estos coeficientes, no hace más que incrementarlos y, por tanto, empeorar su desempeño aerodinámico. Debido a esto, se descarta su utilización.

En el caso de la visera, parece lógico que su inclusión reduce la eficiencia aerodinámica. Sin embargo, tal y como se describió en la Sección 4.2: *Análisis aerodinámico*, la visera se diseña como un módulo opcional que permite su uso solo cuando se considere necesario. De esta manera, se consigue un uso más aerodinámico del casco y, en caso de considerarse útil, incluir la visera a costa de reducir la aerodinámica del casco.

Capítulo 5

Estudio económico

DEBIDO a la naturaleza del producto y a su diseño innovador, resulta muy complicado estimar su coste de fabricación, ya que deberían realizarse muchas hipótesis que podrían reducir la fiabilidad de dicho estudio. Por ello, se decide desarrollar un Modelo Canvas del producto como alternativa al estudio económico convencional. Este modelo es utilizado para analizar los modelos de negocio de diversos productos o firmas, especialmente Startups.

Mediante este modelo es posible enfocarse en lo realmente importante del negocio y del producto. Gracias a ello, se promueve una flexibilidad en el modelo de negocio que permita mejorarlo, así como incrementar la facilidad para comprenderlo de manera simple y visual.

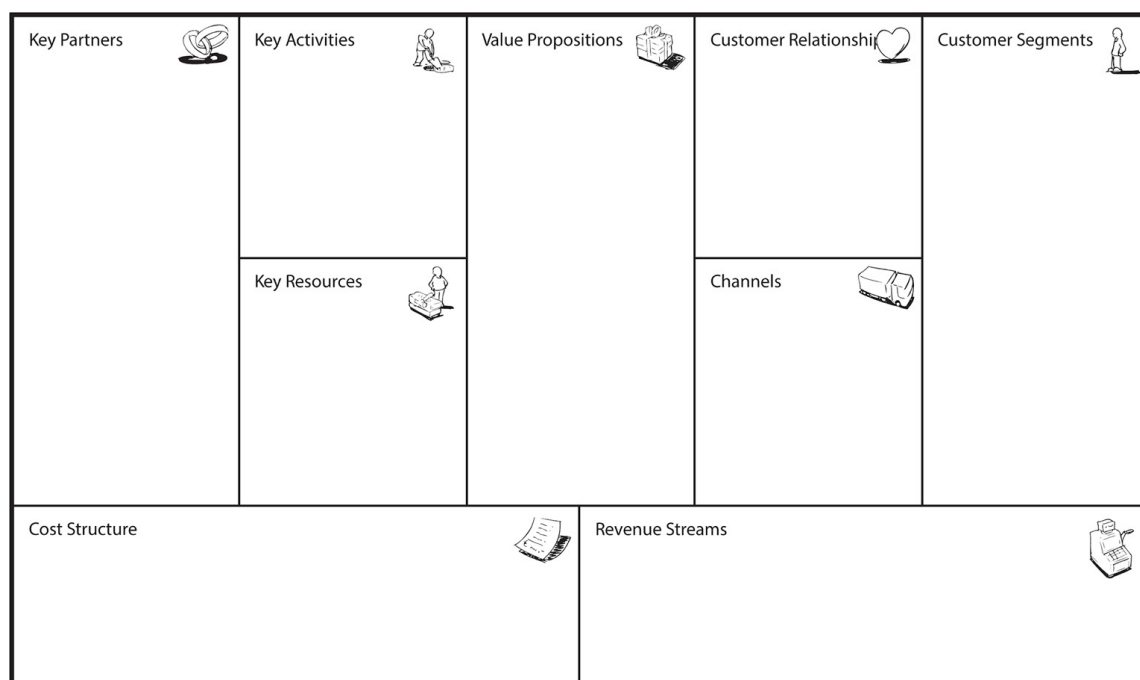


Figura 68. Lienzo del Modelo Canvas sin rellenar. [63].

Debido a que el Modelo Canvas es utilizado para favorecer una mejora constante del modelo de negocio, el que se presente a continuación continuará sufriendo modificaciones, por lo que podría tomarse como el modelo de negocio inicial. Es el sistema conocido como la metodología *Lean Startup*. Consiste en una reducción de los ciclos de desarrollo de los distintos productos de una compañía y un lanzamiento de productos iterativos que sean continuamente mejorados mediante el aprendizaje y el feedback aportado por sus usuarios [62].

El Modelo Canvas, cuyo lienzo se presenta en la Figura 68 aún sin rellenar, se compone de 9 bloques diferentes que serán los presentados a lo largo de este capítulo.

5.1. Segmentos de clientes

En este bloque se incluyen los principales grupos de usuarios a los que se encuentra orientado el casco. Estos grupos deben ser claramente diferenciables al tener distintas necesidades, distintos canales e incluso distintas relaciones con ellos.

Los clientes son el principal sustento de un negocio. Mediante la compra del producto por su parte, se financia el negocio y se promueve su rentabilidad. Para maximizar esta rentabilidad, deben satisfacerse adecuadamente las necesidades de los distintos bloques de clientes de manera que estos se encuentren predispuestos a adquirir el producto y usarlo.

El casco desmontable que se ha estudiado cuenta con tres principales nichos o segmentos de clientes:

- Los compradores individuales que utilizan la motocicleta a **diario**, usualmente en zona urbana, y buscan un producto cómodo de utilizar y de transportar en el día a día. Está formado, principalmente, por clientes que, por la naturaleza de su empleo o por la localización de su vivienda, utilizan la motocicleta a diario y, además, lo hacen en zonas de velocidades no muy elevadas, donde la necesidad de protección en caso de accidente es algo menor. Sin embargo, buscan a cambio un producto que favorezca su transporte y almacenamiento en el día a día e, incluso, que puedan utilizar modularmente, pudiendo aumentar el presupuesto a invertir para ello.
- Los compradores individuales que utilizan la motocicleta de manera muy **ocasional** y buscan un casco que puedan mantener almacenado ocupando el menor espacio posible.

Debido a su uso ocasional, buscan un producto que, a pesar de proteger de manera destacable, no tenga un precio muy alto.

- Las **empresas de alquiler** de motocicletas por horas, las cuales deben proveer de cascos a sus usuarios. Estos cascos, que habitualmente se encuentran almacenados en la propia motocicleta, en caso de ser desmontables, permiten utilizar menos espacio, el cual podría ser utilizado para otras necesidades. Además, sus usuarios podrían utilizar el casco con o sin mentonera, es decir, su flexibilidad de uso sería mayor. Por último, sería posible la sustitución de módulos de manera independiente, reduciendo notablemente los costes de sustitución de los cascos en los casos en que se pudiera, aumentando la rentabilidad de la empresa a largo plazo.

5.2. Propuestas de valor

Las propuestas de valor no son más que los beneficios o el valor que aporta al cliente el uso del producto. Es decir, estas propuestas de valor indican la necesidad que se soluciona, cómo se hace y, por tanto, qué aporta valor al producto.

Debido a la existencia de multitud de cascos en el mercado, la protección no supone un valor al ya estar presente, aunque pudiera mejorarse si se comparara con algunos de los cascos en el mercado. Sin embargo, podrían considerarse como propuestas de valor lo presentado a continuación:

- En primer lugar, parece lógico que las capacidades de **almacenamiento y transporte** se ven incrementadas de manera notable. Debido a la reducción de volumen una vez desmontado, su transporte y almacenamiento pueden ser realizados de manera más sencilla, eficiente y económica.
- Se posibilita la **sustitución de módulos** en caso de ser necesario. De esta manera, se permite sustituir solo los módulos dañados o deficientes en lugar del casco completo con el consiguiente ahorro que ello ocasiona.
- Es posible un **uso modular** del casco que, a pesar de estar presente en ciertos cascos, se hace más notable en este producto. Los cascos modulares de motocicleta suelen permitir la no utilización de la mentonera, pero no una completa separación entre esta y el resto del

casco.

- Debido a la no inclusión de un cierre tradicional y a su rápido sistema de montaje y desmontaje, tiene lugar un **incremento de comodidad** en el uso del casco.

5.3. Canales

Por canales se entienden las vías por las que el producto o la propuesta de valor se da a conocer a los diferentes compradores así como los que permiten la comunicación entre ambas partes. Por ello, estos canales incluyen tanto la publicidad como los canales de distribución y venta del producto. Es importante su selección ya que serán los medios por los cuales el producto adquirirá visibilidad.

Estos canales pueden ser tanto propios como de terceros. Debido a la naturaleza del producto, los canales pueden dividirse principalmente en dos:

- La venta de productos a empresas de alquiler de motocicletas, debido al limitado número de estas, se realizará de **forma directa**. Además, es posible que estas empresas, en caso de no ser contactadas directamente, desconozcan la existencia de este modelo de casco y no se encuentren buscando un producto similar.
- La venta a los usuarios individuales, por razones obvias, no puede ser realizada de manera directa. En este caso, se hará uso de una **página web** y **tiendas de terceros** en combinación con un uso de **redes sociales** que permita captar clientes y realice las funciones de marketing de manera mucho más económica. Además, se utilizará un **equipo comercial** o de marketing que se encargará de generar publicidad para televisión, internet o que promocionará el producto en ferias de motor o motocicletas.

Además de estos dos canales de venta, se contará con un canal de **entrega** que transporte el casco de los almacenes o la fábrica al domicilio del cliente o a la empresa.

5.4. Relaciones con el cliente

Se entiende por relación con el cliente todo tipo de interacción que estos tengan con la empresa durante el proceso de compra-venta y, posteriormente, durante toda la vida útil del producto. Por medio de estas interacciones se busca informar al usuario de las ventajas del producto, permitir una evaluación de este y prestar un servicio post venta tras su compra.

Durante el proceso de marketing y de venta, se contará con **equipos especializados**, los cuales podrán ser contactados por medio de correo electrónico, llamada telefónica, mensajería instantánea como WhatsApp, redes sociales o en persona en ferias o eventos especiales. De este modo, el cliente podrá ser informado de las ventajas que ofrece el casco así como probarlo, permitiendo que pueda comprobar dichas ventajas. Por este medio se prestará un servicio personalizado al cliente lo más rápido posible.

Además, se buscará prestar un servicio **post venta** excelente de manera que sirva como señal de identidad de la empresa. Este servicio post venta intentará promover una confianza de los usuarios en la empresa y el producto, de modo que se cree una fidelización de estos.

Según la popularidad del producto se extienda, las relaciones con los clientes serán más extensas y, por tanto, serán necesarias nuevas vías de interacción.

5.5. Fuentes de ingresos

Parece lógico que la principal fuente de ingresos será la **venta directa** del producto, tanto a usuarios individuales como a empresas, los cuales realizarán, en principio, un único pago por el importe total del precio del casco y su transporte.

Sin embargo, además de la venta directa del casco se distinguen ciertas fuentes de ingresos alternativas:

- Además de la venta directa, tendrá lugar una **venta de módulos** de manera individual para sustituir los que puedan haber sido dañados o se deseen sustituir por otras razones.
- Por un pequeño importe, los cascos podrán ser **personalizados** a gusto del cliente, lo cual repercutirá en un ingreso extra por cada casco.

- Unido al punto anterior, los cascos fabricados para las empresas de alquiler de motocicleta podrán incluir **publicidad**, lo cual, de nuevo, supone una fuente de ingresos adicional tanto para el fabricante como para el comprador.

Tanto las ventas en grandes cantidades como las personalizaciones masivas de cascos podrán ser vendidos a un precio más reducido. Esto es debido a que los costes de fabricar los productos se verán reducidos al distribuir los costes fijos entre más productos.

Se dispondrá de una serie de cascos fabricados y listos para su venta. Si embargo, en aquellos casos donde se desee la personalización del producto o la inclusión de publicidad, estos cascos se fabricarán tras recibir el pedido y un porcentaje estipulado del pago final. De esta manera, se dispone de cierta cantidad de productos lista para su venta de manera instantánea, pero se realizarán nuevos en caso de necesidad.

Por tanto, podrían contabilizarse los ingresos mediante la Ecuación 6

$$I = \sum_{i=1}^{i=n_1} N_i \cdot (Pr_i + Pe_i + Pu_i) + \sum_{m=1}^{m=n_2} N_m \cdot P_m \quad (6)$$

donde I representa los ingresos totales, n_1 el número de lotes vendidos, N_i la cantidad de cascos de cascos del lote i , Pr_i su precio, Pe_i los ingresos adicionales por su personalización, Pu_i los ingresos adicionales por la publicidad, N_m la cantidad de módulos m vendidos y P_m su precio.

5.6. Actividades clave

Las actividades clave son aquellas acciones que resultan cruciales para que se cumplan las proposiciones de valor y se permita cumplir con el resto de elementos de los distintos bloques.

A pesar de que deberá estudiarse en detalle su viabilidad y la posibilidad de externalización, la principal actividad será la **fabricación** de los módulos fabricados en polipropileno y fibra de carbono. Sin embargo, la visera y sus elementos de fijación, la pantalla, los pasadores y el cierre, en caso de incluirse, serán externalizados.

Además de la fabricación, se distinguen distintas actividades que pueden resultar claves para el modelo de negocio:

- Deberá garantizarse la calidad de los productos fabricados, tanto por la propia empresa como por proveedores, por medio de un exhaustivo **control de calidad** para asegurar la protección y el correcto funcionamiento del casco.
- Se gestionará de manera efectiva y eficiente la **cadena de suministro** con el objetivo de minimizar los costes y el tiempo de espera tras realizar los pedidos.
- Se realizará una continua **búsqueda de clientes**, tanto vendedores o compradores del producto como interesados en publicitarse con el objetivo de expandir su uso.
- Parte de los beneficios serán invertidos en **investigación y desarrollo** de nuevas capacidades o recursos que permitan mejorar el producto o lanzar nuevos al mercado.
- Como ya se mencionó previamente en la Sección 5.4: *Relaciones con el cliente*, se contará con un **servicio post-venta** que haga destacar el negocio y busque la fidelización de los clientes así como atraer nuevos.

5.7. Recursos clave

Son los recursos necesarios para cumplir con la propuesta de valor y poder cumplir a largo plazo con los canales, las relaciones y los ingresos que se han presentado previamente. Los recursos pueden ser tangibles, intangibles o humanos.

Los principales recursos que dotan al producto de una posición preferente respecto a otros son:

- La **propiedad intelectual** del producto que protege su producción y la limita. Además, puede ser utilizada para otorgar licencias de explotación a cambio de beneficios.
- El acceso a los **materiales** necesarios para fabricar el casco como la espuma de polipropileno o la fibra de carbono.
- De igual manera que en el punto anterior, el acceso a la **maquinaria** necesaria para fabricar, testear y comprobar la calidad del producto que se pretende vender.
- El **capital humano** de los trabajadores que componen la empresa. Este capital incluye, entre otros, a los ingenieros, al equipo comercial o a los trabajadores del servicio post venta que permiten que la compañía realice sus tareas.

- La **financiación** necesaria para poder comenzar con la fabricación y distribución del negocio. Podrá ser obtenida por medio de créditos de entidades bancarias o mecanismos más innovadores como el *crowdfunding*.
- Las **plataformas** que permiten la venta y distribución del producto como la página web, las redes sociales, los almacenes o las flotas de vehículos.

5.8. Socios clave

Guardando cierta relación con las dos secciones anteriores, se presentan en este bloque las relaciones o los socios claves del negocio. Destacan:

- En un primer lugar pueden encontrarse los **proveedores** tanto de los materiales como de los elementos que se externalizan.
- Por otro lado, se pueden encontrar las **empresas de alquiler** de motocicletas por horas, de las cuales se espera una gran cantidad de pedidos de cascos y módulos con publicidad, lo que supondrá un sustento económico del producto. Además, debido a su extendido uso, será una manera de promocionar el producto y darlo a conocer al público general.
- También se encuentran las **tiendas de terceros** o distribuidores, que además de poner el casco a disposición del cliente, realizarán por su parte tareas de marketing de las que se favorecerán ambas empresas.
- En caso de externalizar la **distribución** de los productos a los clientes, la relación con la empresa encargada de ello será de gran importancia.

5.9. Estructura de costes

En este bloque se presentan los principales costes asociados a la creación del negocio.

Se distingue, en primer lugar entre dos tipos de costes: fijos, es decir, independientes del volumen de producción y variables, es decir, dependientes de este volumen de producción.

Con el objetivo de obtener el máximo beneficio, se busca minimizar estos costes. Especialmente, se busca minimizar los costes fijos, ya que pueden suponer una gran barrera en la

viabilidad del negocio, especialmente en sus primeras etapas de creación y desarrollo.

Dentro de estos dos tipos, se pueden encontrar:

■ Costes fijos

- Coste de los **bienes inmuebles** necesarios para la producción y la gestión de la empresa. Estos costes serán minimizados en un primer lugar y la inversión se incrementará según sea necesaria.
- Coste de la **maquinaria** necesaria para la fabricación de los cascos y sus distintos elementos.
- **Salarios** de los trabajadores, que en un primer lugar serán únicamente de los mínimos trabajadores necesarios o de los emprendedores implicados en el negocio.
- Coste de mantenimiento de la **patente** mientras esta siga siendo válida.
- Costes relacionados con el diseño de la **página web** y su mantenimiento.

A pesar de que los costes asociados al mantenimiento de la patente y a la página web son menores que el resto de costes fijos, se han incluido debido a tratarse de aspectos claves para el correcto funcionamiento del negocio.

■ Costes variables

- Costes de **producción** de los cascos entre los que se encuentran el coste de los materiales, de los elementos externalizados o de la obra de mano externa necesaria en ciertas situaciones.
- Coste de **distribución** del producto una vez terminado para ser entregado al cliente.
- Coste de **promoción** del producto como pueden ser los incurridos por la presencia en ferias, inversiones en campañas de marketing o posicionamiento SEO/SEM.

5.10. Lienzo

Una vez discutidos cada uno de los 9 bloques, estos se disponen en el Lienzo del Modelo Canvas presentado en la Figura 68. Una vez hecho, se dispone de toda la información de manera resumida y concisa tal y como se presenta en la figura Figura 69.

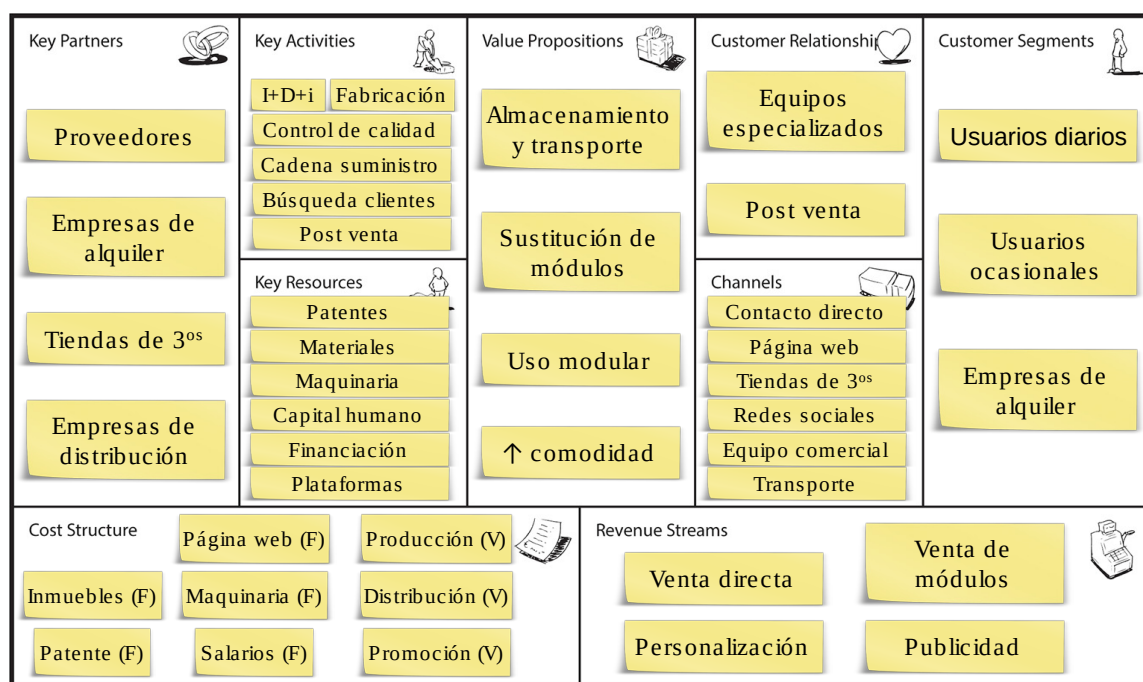


Figura 69. Lienzo del Modelo Canvas relleno. [63].

Capítulo 6

Análisis DAFO

TRAS la presentación del modelo de negocio y realizar su estudio económico, se procede a realizar un análisis DAFO de este. El análisis DAFO es una herramienta utilizada para estudiar las características internas y externas de una empresa o un modelo de negocio y distinguir cuales son positivas y cuales negativas. Suele ser utilizado para conocer cuál es la situación real en la que se encuentra la empresa y planificar las estrategias que debe seguir en un futuro [64].

Su nombre, DAFO, se debe a los cuatro bloques que componen la matriz:

- Debilidades
- Amenazas
- Fortalezas
- Oportunidades

Sin embargo, en ocasiones se habla de análisis FODA o DOFA, al reordenar estos términos, o incluso SWOT por sus siglas en inglés.

Sin entrar en grandes detalles, se presentan los términos incluidos en la Figura 70, muchos de los cuales ya se han presentado o se han podido deducir de lo descrito en el Capítulo 5: *Estudio económico*.

6.1. Fortalezas

Para comenzar con el análisis interno, en las fortalezas se busca identificar los atributos propios de la organización o del producto que permiten que esta disponga de una ventaja competitiva respecto a sus competidores. Entre las fortalezas del modelo de negocio destacan:

- El producto que se busca producir y comercializar se trata de un producto innovador que provoca que la compañía destaque frente a la competencia. Además, debido a su formato de módulos, es posible obtener ingresos tanto por la venta de cascos como por la venta de módulos independientes.
- La fabricación de ciertos módulos del producto puede ser externalizada, permitiendo ahorrar recursos y reducir los costes fijos durante los primeros lotes de producción. Además, puede llegarse a obtener una mayor calidad del producto, al limitar la atención a los módulos de fabricación propia. Por su parte, los proveedores de los módulos externalizados, cuentan con esta misma ventaja. Cabe destacar también, que los módulos externalizados se tratan de módulos accesorios o menos innovadores, por lo que la propiedad intelectual y la posibilidad de abogar por un secreto industrial en su fabricación es más viable.
- Como ya se explicó en las Secciones 5.4: *Relaciones con el cliente* y 5.6: *Actividades clave*, se buscará prestar un servicio post venta que haga destacar a la organización y pueda atraer nuevos clientes y fidelizar a los que ya lo son.
- Por último, debido a la reducida dimensión de la compañía, el modelo de negocio busca un trato personal con el cliente. Esto tendrá lugar bien por medio de los contactos directos con los clientes que realicen pedidos de grandes lotes, o bien por medio de las redes sociales o la página web, donde se prestará una atención personalizada al cliente. Además, en las tiendas de terceros utilizadas para su venta, se dispondrá siempre de una línea de contacto directa que puedan utilizar los clientes en caso de que algún tipo de duda no pueda ser respondida por los trabajadores de dicha tienda. De esta manera la atención personalizada puede ser mantenida.

6.2. Debilidades

En cuanto a los aspectos negativos del análisis interno, se encuentran las debilidades. Se entiende por debilidad aquel elemento, en este caso de la empresa, que constituye una barrera en la consecución de los logros.

Las principales debilidades encontradas en el modelo de negocio son:

- La supervivencia de la empresa depende, al menos en un principio, totalmente del éxito del producto al ser el único del que dispone. En caso de una baja acogida, la organización no dispone de productos alternativos que puedan facilitar su supervivencia.
- Unido al punto anterior, existe un gran riesgo de que el producto no sea aceptado. Al tratarse de un producto innovador, no se dispone de referencias previas que puedan asegurar su éxito.
- La alta inversión necesaria para comenzar con la producción y comercialización del producto supone otra gran debilidad de este modelo de negocio. A pesar de la posibilidad de externalizar diferentes módulos o tareas, la infraestructura necesaria podría considerarse como elevada.
- Para poder realizar esta inversión inicial, es necesario contar con una fuente de financiación inicial que apueste por el producto. Parece lógico que, a pesar de tratarse de un producto innovador y con unas características destacables, obtener esta financiación no es siempre fácil y viable.

6.3. Oportunidades

Los aspectos positivos del análisis externo son las denominadas oportunidades. Es decir, son los factores positivos que tienen lugar en el entorno o en la relación de la organización con él.

En el presente modelo de negocio destacan:

- Debido a la naturaleza del producto y su amplia aplicación, es posible realizar acuerdos con distintas compañías. Especialmente, las empresas de alquiler de motocicletas por horas, tal y como se presentó en la Sección 5.1: *Segmentos de clientes* pueden favorecer de

manera destacable el producto. Sin embargo, estos acuerdos no deben limitarse solo a los clientes, si no que se debe tener en cuenta a todos los socios presentados en el Sección 5.8: *Socios clave*.

- Una gran oportunidad que surge de la posible relación con las empresas de alquiler de motocicletas, se encuentra en la publicidad. Hasta el momento, la publicidad en cascos de motocicleta había estado prácticamente limitada a competiciones de motor. Sin embargo, la gran visibilidad que suponen estos vehículos en las grandes ciudades puede promover acuerdos con terceros que buscan publicitarse como ya sucede en la actualidad con ciertos turismos o vehículos comerciales.
- Otro punto clave se encuentra en el parque automovilístico de motocicletas, el cual se encuentra en constante crecimiento tal y como se presenta en la Tabla 17. En dicha tabla puede comprobarse como, en 15 años, el número de motocicletas en España se ha duplicado mientras que el número de ciclomotores ha sufrido un aumento y un posterior descenso. Sin embargo, con la aparición de las empresas de alquiler de motocicletas y ciclomotores por horas, se espera que este número vuelva a aumentar, especialmente en las grandes ciudades.

Años	Parque de vehículos por tipos								
	Camiones y furgonetas	Autobuses	Turismos	Motocicletas	Tractores	Remolques y semirremolques	Otros	Ciclomotores	Total parque
2002	4.091.875	56.953	18.732.632	1.517.208	167.014	287.220	212.830	2.044.242	27.109.974
2003	4.188.910	55.993	18.688.320	1.513.526	174.507	306.842	241.354	2.143.593	27.313.045
2004	4.418.039	56.957	19.541.918	1.612.082	185.379	330.933	287.333	2.242.046	28.674.687
2005	4.655.413	58.248	20.250.377	1.805.827	194.206	353.946	339.259	2.311.773	29.969.049
2006	4.910.257	60.385	21.052.559	2.058.022	204.094	380.147	388.597	2.343.124	31.397.185
2007	5.140.586	61.039	21.760.174	2.311.346	212.697	404.859	427.756	2.430.414	32.748.871
2008	5.192.219	62.196	22.145.364	2.500.819	213.366	418.629	436.631	2.410.685	33.379.909
2009	5.136.214	62.663	21.983.485	2.606.674	206.730	412.840	447.363	2.352.205	33.208.174
2010	5.103.980	62.445	22.147.455	2.707.482	199.486	414.673	450.514	2.290.207	33.376.242
2011	5.060.791	62.358	22.277.244	2.798.043	195.960	415.568	459.117	2.229.418	33.498.499
2012	4.984.722	61.127	22.247.528	2.852.297	186.964	410.369	460.196	2.169.668	33.372.871
2013	4.887.352	59.892	22.024.538	2.891.204	182.822	407.847	463.181	2.107.116	33.023.952
2014	4.839.484	59.799	22.029.512	2.972.165	186.060	413.155	475.872	2.061.044	33.037.091
2015	4.851.518	60.252	22.355.549	3.079.463	195.657	426.510	420.734	2.023.211	33.412.894
2016	4.879.480	61.838	22.876.830	3.211.474	207.889	443.598	425.411	1.987.470	34.093.990

Tabla 17. Evolución del parque automovilístico español entre 2002 y 2016. [65].

- Finalmente, debido a que el producto a comercializar se trata de un producto innovador y el primer concepto de casco de motocicleta desmontable, se cuenta con una posición pionera. Esta posición pionera favorece la publicidad y el reconocimiento del producto y

de la organización frente a nuevas organizaciones con productos más tradicionales.

6.4. Amenazas

Por último, los aspectos negativos encontrados dentro del análisis externo son las llamadas amenazas. Se trata de los elementos, acciones o situaciones que tienen lugar en el entorno y que pueden suponer algo negativo para la organización.

Destacan:

- A pesar de disponer de la propiedad intelectual del producto, este puede ser fácilmente imitado o utilizado como base para nuevas ideas sorteando su patente. Además, la detección de vulneraciones de la propiedad intelectual es difícil de llevar a cabo y, en caso de tener lugar, se trata de un proceso con unos costes muy elevados.
- Por otro lado, el nicho o segmento de clientes del producto es muy específico y reducido. La concepción de un casco de motocicleta desmontable parece idónea para usuarios ocasionales o que utilicen la motocicleta como medio de transporte para recorridos cortos y mayoritariamente por vía urbana. Sin embargo, los usuarios de motocicletas de alta cilindrada o con fines de ocio parecen menos dispuestos a utilizar este tipo de casco.
- El hecho de que muchos usuarios puedan decidir no utilizar el casco puede deberse a la errónea concepción de que, debido a su modularidad y desmontaje, su protección sea insuficiente o reducida. A lo largo del Capítulo 4: *Cálculo y análisis de los resultados* se ha demostrado que la protección del casco es muy elevada y cumple con la normativa vigente en Europa y, en muchas ocasiones, con mejores resultados que otros cascos. Sin embargo, cabe mencionar que, en condiciones idénticas, entre dos cascos cuya única diferencia sea la posibilidad de desmontaje o no, el no desmontable siempre ofrecerá una protección algo mayor.
- Finalmente, al igual que el resto de cascos, el producto se depende de manera muy significativa de la normativa vigente en todo momento. Por ejemplo, en una situación donde la existencia de cascos desmontables en el mercado comenzará a incrementarse notablemente podrían incluirse ciertos ensayos en la normativa para este tipo de cascos que pudieran revocar su homologación.

6.5. Matriz

A modo de resumen de todo lo descrito previamente, en la Figura 70 se presenta la matriz DAFO del modelo de negocio, también detallado en el Capítulo 5: *Estudio económico*.

	Positivo para alcanzar el objetivo	Negativo para alcanzar el objetivo
Origen interno atributos de la empresa	Producto innovador Posibilidad de externalización Excelente servicio post venta Trato personal	Dependencia del éxito del producto Alto riesgo Inversión inicial elevada Falta de financiación inicial
Origen externo atributos del entorno	Acuerdos con empresas Publicidad en los cascos Creciente parque automovilístico Posición pionera	Imitable a pesar de la patente Nicho de clientes específico Concepción de peor protección Dependencia de la normativa

Figura 70. Matriz DAFO.

Capítulo 7

Conclusiones y posibles mejoras

EL objetivo del presente capítulo es el de realizar un pequeño resumen de las conclusiones obtenidas del diseño del casco. De esta manera, se puede obtener una visión general de lo presentado a lo largo de todos los capítulos anteriores.

De igual manera, se realiza una pequeña encuesta, similar a la realizada en la Subsección 3.1.3: *Estudio de mercado*, en la que se busca obtener la visión de los clientes potenciales respecto al producto y una posible compra.

Finalmente, con el objetivo de permitir un desarrollo posterior y más detallado del casco, se presentan las posibles mejoras que podrían aplicarse o en futuras etapas de desarrollo.

7.1. Conclusiones

A lo largo del presente proyecto se ha demostrado que es técnicamente posible diseñar un casco de motocicleta desmontable que, además de proteger al usuario de posibles impactos, sea homologable según la normativa ECE/ONU R22 y facilite su transporte y almacenamiento cuando este no esté en uso. Además, debido a su propia naturaleza, la comodidad se ve incrementada, ya no solo en su almacenamiento, ya que se permite su uso modular y sin necesidad de utilizar un cierre tradicional para su sujeción.

El casco, compuesto por diferentes módulos, algunos unidos de manera fija entre si y otros por uniones desmontables, dispone también de ciertos módulos opcionales como la visera, que

podrían ser incrementados en número en futuros desarrollos.

Con el objetivo de facilitar su visualización, en la Figura 71 se incluye un modelo interactivo del diseño final del casco. Esta figura puede ser manipulada para su visualización como si de un software CAD se tratara, pudiendo rotar, desplazar u ocultar elementos. Para su correcta visualización en modo interactivo es necesario utilizar el software [Adobe Reader](#), debe habilitarse esta función y hacer clic en la figura.

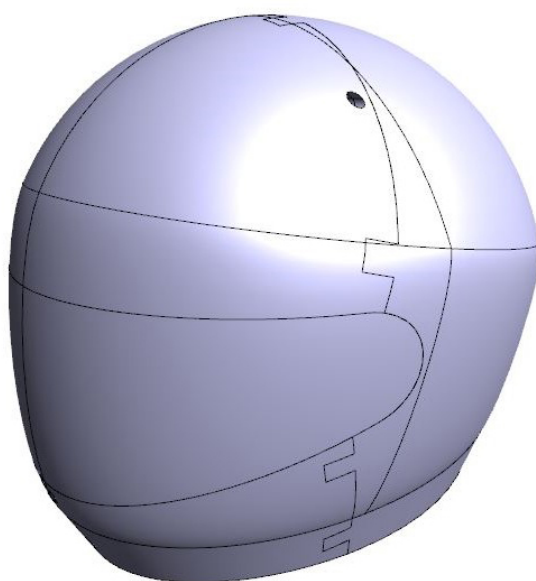


Figura 71. Modelo 3D animado del diseño final.

También se ha realizado un estudio económico mediante el Modelo Canvas como método alternativo a un estudio económico clásico. De esta manera se han estudiado los principales elementos del modelo de negocio permitiendo siempre su mejora continua.

De igual manera, en el Capítulo 6: *Análisis DAFO* se realiza un pequeño estudio de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del producto y de su modelo de negocio con el objetivo de conocer su situación real y que estrategias deberán ser seguidas en el futuro.

7.2. Posibles mejoras

A pesar de que el diseño final del producto podría considerarse satisfactorio, parece lógico que este podría ser mejorado de diversas maneras. Algunas de estas mejoras podrían ser:

- Resulta obvio que, a pesar de haber simulado los diversos ensayos, estos deben ser llevados a cabo de manera real para certificar su homologación.
- Por limitaciones de tiempo y de capacidad computacional, los diversos ensayos han sido simulados únicamente con el casco completo, es decir, con mentonera, y sin visera. Sin embargo, para homologar su uso sin mentonera o con visera, deberían simularse y ensayarse también en estas situaciones para comprobar que cumplen de igual manera las limitaciones.
- De igual manera, la totalidad de los ensayos que son realizados para la homologación deberían ser simulados.
- De nuevo, debido a las extensas duraciones de los ensayos, no se han realizado ensayos de sensibilidad para estudiar la influencia del grosor de la calota exterior en la protección. En caso de poder reducir dicho grosor, además de material, es posible reducir de manera significativa el peso del casco, incrementando notablemente su comodidad de uso.
- Relacionado con el punto anterior, además de una reducción uniforme del grosor de la calota exterior, podría resultar interesante realizar una optimización topológica de los diversos módulos que componen el casco. Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante el módulo *Topology Optimization* del propio *Ansys Workbench Release 17.2* utilizado para el resto de simulaciones. Para ello, los resultados de los diversos ensayos son utilizados para estudiar las zonas donde tienen lugar mayores o menores esfuerzos y, por tanto, donde puede reducirse dicho grosor. Como resultado, al igual que se mencionó previamente, se consigue, además de una reducción de material, una reducción de peso que provoca que la comodidad de uso del casco sea mayor.
- En cuanto a la definición de la espuma de polipropileno, esta podría ser estudiada en mayor detalle, a costa de incrementar el coste computacional de la simulación. Existen dos principales posibilidades:

- Haciendo uso del software *LS-DYNA*, sería posible utilizar un modelo más real de las espumas utilizadas en los cascos. Estos materiales han sido estudiados en multitud de estudios y se pueden encontrar detallados en la web del propio software²³.
 - Por otro lado, podrían definirse, a partir de ensayos uniaxiales, biaxiales y de cortantes, las funciones Tensión-Energía utilizadas para definir la hiperelasticidad de este tipo de materiales. Para ello, sería necesario utilizar la herramienta *Curve Fitting* que suministra *Ansys Workbench Release 17.2*.
- La definición de ciertos materiales como el EPS o el tricomposite depende, en gran manera, de su fabricación o de los materiales que lo compongan. Por ello, una posible mejora sería la de ensayar los materiales y utilizar los resultados de dichos ensayos en las simulaciones
 - Como se mencionó en la Subsubsección 3.2.2.3: *Ensayos de rigidez*, la utilización del módulo *Transient Structural* podría haber resultado útil en dichos ensayos. Sin embargo, debido a limitaciones computacionales y temporales, se utiliza el módulo *Static Structural*.
 - En la Subsección 4.1.1: *Ensayos de absorción de impacto* se ha podido comprobar como ciertos valores del HIC se encuentran próximos al límite homologable. Por tanto, una posible mejora sería la de tratar de optimizar este valor en aquellas situaciones donde sea más crítico.
 - A pesar de haber realizado un breve estudio aerodinámico del casco, el principal objetivo del casco es el de diseñar un producto que cumpla con la normativa de homologación. Por este motivo, se ha prestado mayor atención al estudio estructural. Sin embargo, el casco podría ser mejorado de manera notable si el estudio aerodinámico fuera mejorado y se consiguieran obtener mejores coeficientes aerodinámicos que hicieran el casco más cómodo, especialmente a altas velocidades.
 - Finalmente, los análisis DAFO suelen, a menudo complementarse con análisis PEST o PESTEL. Se realizan previos al análisis DAFO y sus nombres se deben a los diversos factores que se estudian. En el análisis PEST se estudian los factores políticos, económicos, sociales y tecnológicos, mientras que en el análisis PESTEL, además se estudian los aspectos ecológicos y legales.

²³<http://www.lstc.com/dynamat/>

7.3. Encuesta final

Finalmente, con el objetivo de estudiar la opinión final de los potenciales compradores, se realiza una pequeña encuesta a aquellos usuarios que completaron la realizada en la Subsección 3.1.3: *Estudio de mercado*.

Esta encuesta se realiza de manera anónima y únicamente fue contestada por 29 usuarios. En ella se pide valorar el casco con un valor entre 0 y 10 y si lo comprarían o no. Los resultados de dicha encuesta se encuentran resumidas en la Tabla 18 y se adjuntan íntegros en el Anexo 6: *Encuesta final*.

Dato	Valor
Lo comprarían	18
No lo comprarían	11
Media de valoración	6,79
Mediana	7

Tabla 18. Resultados obtenidos en la encuesta final.

Puede, por tanto, concluirse que el producto diseñado sería comprado por un gran porcentaje de los usuarios de motocicleta encuestados y, además, recibe una calificación elevada por estos.

Bibliografía

- [1] **Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior**, *Las principales cifras de la Siniestralidad Vial, España 2016*. <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/>
- [2] **Fundación Mapfre. Area prevención y seguridad vial**, “*Cascos con Historia*”. http://www.jerez.es/fileadmin/Image_Archive/Movilidad/Semana_Movilidad_2017/Cascos_con_Historia.pdf
- [3] **David Robledo, Soy Motero**, *¿Qué tipos de casco de moto existen? | Consejos de usuario | Motoguía*. <https://www.soymotero.net/que-tipos-de-casco-de-moto-existen-18073/>
- [4] **Peris Correduría de Seguros**, *¿Qué tipos de casco de moto hay?* <http://www.peris.es/seguros-de-moto/que-tipos-de-cascos-de-moto-hay/>
- [5] **Cascos de Moto**, *Cascos de moto con sistemas desmontables y convertibles*. <http://cascosdemoto.net/cascos-de-moto-con-sistemas-desmontables-y-convertibles/>
- [6] **Roberto Ruiz, AboutEspañol**, *Tipos de cascos de moto*. <https://www.aboutespanol.com/tipos-de-cascos-de-moto-2401048>
- [7] **MotoyCasco**, *Cascos para motoristas: Tipos, características y precios*. <https://motoycasco.com/accesorios-motorista/cascos>
- [8] **Surfboard**, *LA GUÍA DEL CASCO - Posibles preguntas resueltas inside*. <https://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=2668896>
- [9] **Eugenio D., Motos para el A2**, *Tipos de cascos de moto ¿Qué casco me compro?* <https://motosparaela2.com/2015/06/19/tipos-de-cascos-de-moto-que-casco-me-compro/>

- [10] **Motocard**, *Shark Evoline Series3: el casco abatible más funcional*.
<http://blog.motocard.com/novedades/shark-evoline-serie3/>
- [11] **Morrillu, Motorpasión Moto**, *6D Helmets: seguridad a alta y baja velocidad*. <https://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/6d-helmets-seguridad-a-alta-y-baja-velocidad>
- [12] **Motobuykers**, *Partes y materiales de los cascos de moto*.
<https://www.motobuykers.es/weride/materiales-de-los-cascos-de-moto/>
- [13] **Overade**, *OVERADE*. <https://www.overade.com/shop/en/>
- [14] **Ulule**, *El casco plegable de Overade*. <https://es.ulule.com/overade/>
- [15] **El Tio del Mazo**, *Probamos el Carrera Foldable, un casco para ciudad*.
<https://www.eltiodelmazo.com/2016/12/16/probamos-el-carrera-foldable-un-casco-para-ciudad/>
- [16] **Closca Design**, *Closca Helmet*. <https://closca.com/products/fuga-helmet?variant=53832191509>
- [17] **Sara Soria, Auto Bild**, *Closca Fuga, el casco plegable para montar en bicicleta*. <https://www.autobild.es/noticias/closca-fuga-casco-plegable-para-montar-bicicleta-259295>
- [18] **FEND**, *FEND*. <https://fend.io/>
- [19] **Morpher Folding Helmet Technology**, *Flat Folding Bicycle Helmet Online*.
<https://www.morpherhelmet.com/>
- [20] **BioLogic**, *PangoTM Folding Helmet*. <http://www.thinkbiologic.com/products/pango-folding-helmet>
- [21] **J. Daley**, *Chinese Officials Seize 3.1 Tons of Pangolin Scales | Smart News | Smithsonian*. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/customs-seizure-shines-spotlight-pangolin-worlds-most-trafficked-animal-180961580/>
- [22] **LID Helmets**, *The ultimate, eco-friendly, folding, urban nike helmet*.
<http://www.lidhelmet.com/en/>

- [23] **Hövding**, *Hövding - the new bicycle helmet with an airbag*. <https://hovding.com/>
- [24] **Mehmet Kurt, Kaveh Laksari, Calvin Kuo, Gerald A. Grant, David B. Camarillo**, *Modeling and Optimization of Airbag Helmets for Preventing Head Injuries in Bicycling*.
- [25] **Mikael Colville-Andersen, Wired**, *The 20 most bike-friendly cities in the world, from Malmö to Montreal*. <https://www.wired.com/story/world-best-cycling-cities-copenhagenize/>
- [26] **Alina Dumitrache, Autoevolution**, *Students Creates Proteus Foldable Motorcycle Helmet Concept*. <https://www.autoevolution.com/news/students-creates-proteus-foldable-motorcycle-helmet-concept-35872.html>
- [27] **Golem Innovation, Kickstarter**, *[A L P H A] PROJECT - Major Evolution in Helmet History !* <https://www.kickstarter.com/projects/163273950/a-l-p-h-a-project-major-evolution-in-helmet-histor/description>
- [28] **Vozz Helmets**, *THE HELMET*. <http://www.vozzhelmets.com/the-helmet.html>
- [29] **20minutos**, *Los accidentes de moto causan hasta cinco veces más muertes que los de coche*. <https://www.20minutos.es/noticia/3192363/0/accidentes-moto-causan-cinco-veces-mas-muertes-que-coche-seis-veces-mas-costos-salud/>
- [30] **Fundación Mutua Madrileña**, *Estudio de siniestralidad vial en motocicletas*. <http://www.fundacionmutua.es/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1288110148832&ssbinary=true>
- [31] **Rick K., webBikeWorld**, *DOT Vs. ECE Helmet Safety Standards*. <https://www.webbikeworld.com/dot-vs-ece-helmet-safety-standards/>
- [32] **Vito Rispo, Ridelust**, *What Type Of Motorcycle Helmet Should You Buy?* <http://www.ridelust.com/what-type-of-motorcycle-helmet-should-you-buy/>
- [33] **Visordown**, *World first - APC Airbag safety helmet*. <http://www.visordown.com/news/products/world-first-apc-airbag-safety-helmet>
- [34] **Ministerio de la Presidencia**, *Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo*. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-23514>

- [35] **Ministerio de la Presidencia**, *Real Decreto 965/2006, de 1 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento General de Circulación, aprobado por Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre*. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-15406>
- [36] **United Nations Economic Comission for Europe**, *Agreement concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these prescriptions*. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r022r4e.pdf>
- [37] **Biker Garaje**, *Uso del casco en Estados Unidos de América y España | Motociclismo en Biker Garaje*. <http://www.bikergaraje.com/2015/06/uso-del-casco-en-estados-unidos-de.html>
- [38] **Google Patents**, *US2625683A - Crash Helmet - Google Patents*. <https://patents.google.com/patent/US2625683A/>
- [39] **Google Patents**, *US3723992A - Substantially double-shell helmet - Google Patents*. <https://patents.google.com/patent/US3723992A/>
- [40] **Google Patents**, *EP0108694B1 - Dispositif d'assujettissement amélioré des casquest - Google Patents*. <https://patents.google.com/patent/EP0108694B1/>
- [41] **Sonawane Atul**, *Headform | 3D CAD Model Library | GrabCAD*. <https://grabcad.com/library/headform-1>
- [42] **Bell Powersports**, *Custom 500 Motorcycle Helmet | Bell Helmets*. https://www.bellhelmets.com/en_eu/custom-500-61
- [43] **WhiteDogBikes**, *Inside a Motorcycle Helmet - WhiteDogBikes Blog*. <http://www.whitedogbikes.com/whitedogblog/inside-full-face-motorbike-helmet/>
- [44] **Y. Z. Beju, J. N. Mandal**, *Expanded polystyrene (EPS) geofoam: preliminary characteristic evaluation*.
- [45] **Prof. J. N. Mandal**, *Geosynthetics Engineering: In Theory & Practice*.
- [46] **F. A. O. Fernandes, R. J. Alves de Sousa, R. Willinger, C. Deck**, *Finite Element Analysis of Helmeted Impacts and Head Injury Evaluation with a Commercial Road Helmet. Structural Engineering & Mechanics, 2013*.

- [47] **N. J. Mills, S. Wilkes, S. Derler, A. Flisch**, *Finite Element Analysis of Helmeted Impacts and Head Injury Evaluation with a Commercial Road Helmet*. *International Journal of Impact Engineering*, Elsevier, 2009, 36 (7), pp. 913.
- [48] **U. E. Ozturk, G. Anlas**, *Finite element analysis of expanded polystyrene foam under multiple compressive loading and unloading*. *Materials & Design*, 32 (2), 2011, pp. 773-780.
- [49] **P. Pinnoji, P. Mahajan**, *Analysis of impact-induced damage and delamination in the composite shell of a helmet*. *Materials & Design*, 31 (8), 2010, pp. 3716-3723.
- [50] **SAS IP**, *Static Structural Analysis*. https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb_sim/ds_static_mechanical_analysis_type.html
- [51] **CadexInc**, *Cadex Inc. Helmet Rigidity Testing Bench - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=y85qOyFEjcA>
- [52] **B. G. McHenry**, *Head Injury Criterion and the ATB*. <http://www.mchenrysoftware.com/HIC%20and%20the%20ATB.pdf>
- [53] **H. W. Henn** *Crash Tests and the Head Injury Criterion. Teaching Mathematics and its applications*, 17 (4), 1998, pp. 162-170. <http://www.health.uottawa.ca/biomech/courses/apa6903/CrashTests%20and%20the%20HIC.pdf>
- [54] **U.S Army - CECOM, University of Virginia Impact Biomechanics Program, U.S Army Aberdeen Test Center** *A Test Methodology for Assessing Demining Personal Protective Equipment (PPE)*. <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA458677>
- [55] **A. Bellora, R. Krauss, L. Van Poolen** *Meeting Interior Head Impact Requirements: A Basic Scientific Approach*. *Society of Automotive Engineers*, Paper No. 2001-01-0469, 2001.
- [56] **S. Kleiven** *Influence of Impact Direction to the Human Head in Prediction of Subdural Hematoma*. *Journal of Neurotraume*, 20 (4), 2003, pp. 365-379.
- [57] **J. Mordaka, S. Kleiven, M. Van Schijndel - De Nooij, R. De Lange, L. J. Guerra Casanove, E. Carter, H. Von Holst** *The Importance of Rotational Kinematics in Pedestrian Head to Windshield Impacts*. *IRCOBI Conference*, Maastricht, 2007.

- [58] **M. Mackay** *The increasing importance of the biomechanics of impact trauma*. *Sadhana*, 32 (4), 2007, pp. 397-408. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12046-007-0031-9>
- [59] **Insurance Institute for Highway Safety** *Moderate Overlap Frontal Crashworthiness Evaluation. Guidelines for Rating Injury Measures*. http://www.iihs.org/media/dcc9d5d6-c301-4f92-a7b5-dad13ffc7766/6h8G8A/Ratings/Protocols/current/measures_frontal.pdf
- [60] **D. Marjoux, D. Baumgartner, C. Deck, R. Willinger** *Head injury prediction capability of the HIC, HIP, SIMon and ULP criteria*. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 2008, pp. 1135–1148. <http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc0111/2006/Session2/26.pdf>
- [61] **Wikipedia, La enciclopedia libre** *Coeficiente de arrastre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Coeficiente_de_arrastre&oldid=102583644
- [62] **Wikipedia, La enciclopedia libre** *Lean startup*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Lean_startup&oldid=103862062
- [63] **Alex Cowan** *The 20 Minute Business Plan: Business Model Canvas Made Easy*. <https://www.alexandercowan.com/business-model-canvas-templates/>
- [64] **Wikipedia, La enciclopedia libre** *Análisis DAFO*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=An%C3%A1lisis_DAFO&oldid=108861778
- [65] **Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior**, *Anuario estadístico general 2016*. <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/anuario-estadistico-de-general/Anuario-estadistico-general-2016.pdf>
- [66] **Ramón Losada, Hit The Road Motoblog**, “No quitar en caso de accidente” *ENTREGA I: Historia del CASCO de moto*. <http://hittheroadmotoblog.blogspot.com.es/2011/08/no-quitar-en-caso-de-accidente-entrega.html>
- [67] **jose678**, *Guía - Cascos, y otras protecciones. ¿Cual es el mejor y por qué?* <http://www.mediavida.com/foro/motor/guia-cascos-otras-protecciones-cual-mejor-594353>
- [68] **Motopoliza.com**, *Como elegir tu casco: estos son los tipos de casco y sus características*. <https://www.motopoliza.com/consejos-seguros-y-motos/ventajas-de-las-motos/dudas-de-motos/como-elegir-tu-casco-estos-son-los-tipos-de-casco-y-sus-caracteristicas/>

- [69] **Rastreator.com**, *Tipos de casco para moto*. <http://www.rastreator.com/seguros-de-moto/articulos-destacados/tipos-de-casco-para-moto.aspx>
- [70] **Buscador de Talleres**, *Seguridad Pasiva: Tipos de casco y aspectos a considerar en su elección*. <https://buscadordetalleres.com/blog/seguridad-pasiva-tipos-de-casco-y-aspectos-a-considerar-en-su-eleccion/>
- [71] **L. Font, Motorpasión Moto**, *Breve historia del casco*. <https://www.motorpasionmoto.com/seguridad/breve-historia-del-casco>
- [72] **De Motos Online**, *Historia y evolución de los cascos de motocicleta*. <http://demotosonline.com/evolucion-de-los-cascos-para-moto/>
- [73] **Juanjo Villalba, Blue BBVA**, *El casco de moto, una historia de seguridad y estilo*. <https://www.bluebbva.com/2013/09/el-casco-de-moto-una-historia-de-seguridad-y-estilo.asp>
- [74] **Motomarket.es**, *Casco Moto - Historia y Evolucion*. <http://motomarket.es/index.php/blog/10-blog-cascos-moto/34-casco-moto>
- [75] **Coche español**, *Historia de cascos de moto*. <http://www.automotriz.mobi/coches/driving-safety/driving-safety/146174.html>
- [76] **Guillermo Carvajal, La Brújula Verde**, *Los primeros cascos para motociclistas se utilizaron en la Isla de Man en 1914*. <https://www.labrujulaverde.com/2016/09/los-primeros-cascos-para-motociclistas-se-utilizaron-en-la-isla-de-man-en-1914>
- [77] **Jose Luis Pedragosa, Blog Inseguridad: cuando la prevención fracasa, HUGH CAIRNS: Lawrence de arabia y el casco**. <https://www.prevencionintegral.com/comunidad/blog/lideres-en-seguridad-vial/2016/07/07/hugh-cairns-lawrence-arabia-casco>
- [78] **Ramón Losada, Hit The Road Motoblog**, *“No quitar en caso de accidente” ENTREGA II: Las malditas Homologaciones*. http://hittheroadmotoblog.blogspot.com.es/2011/08/no-quitar-en-caso-de-accidente-entrega_19.html
- [79] **Andrés More, Explorando sobre ruedas**, *Seguridad en los Cascos ¿Cómo elegir uno?* <http://explorandosobreruedas.com/seguridad-en-los-cascos-como-elegir-uno/>

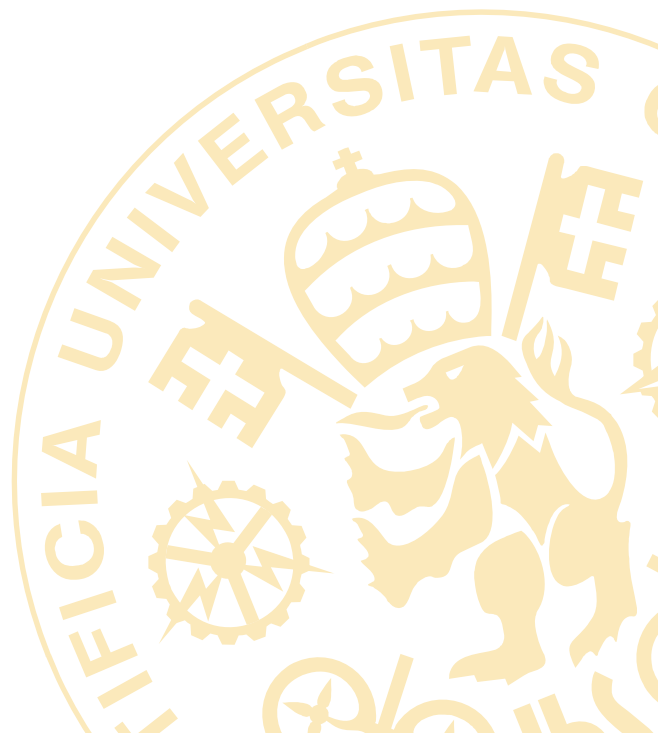
- [80] **Motoralia**, *¿Despiece de un casco!*. <http://www.motoralia.es/blog/tag/componentes-del-casco/>
- [81] **Motoblouz**, *Materiales y composición de los cascos de moto* <https://www.motoblouz.es/enjoytheride/guias-compras/elegir-casco-de-moto>
- [82] **Motoblouz**, *Comodidad interior del casco de la moto.* <https://www.motoblouz.es/enjoytheride/guias-compras/elegir-casco-de-moto/comodidad-interior-casco-de-moto?uid=157>
- [83] **Motoblouz**, *La pantalla del casco, una pieza complejo.* <https://www.motoblouz.es/enjoytheride/guias-compras/elegir-casco-de-moto/pantalla-casco-moto-analisis?uid=159>
- [84] **Motobuykers**, *¿Qué es el Pinlock? ¿Cómo funciona?* <https://www.motobuykers.es/weride/pinlock-para-casco-moto-funcional/>
- [85] **L. Font**, **Motorpasión Moto**, *¿Por qué caduca un casco?* <https://www.motorpasionmoto.com/seguridad/por-que-caduca-un-casco>
- [86] **Jonathon Ramsey**, **Autoblog**, *Folding motorcycle helmet nominated for Dyson Award.* <https://www.autoblog.com/2011/05/28/folding-motorcycle-helmet-nominated-for-dyson-award/>
- [87] **José Verdú**, **Dailymotos**, *Proteus... ¿Quién dice que los cascos no se pueden doblar?* <https://www.dailymotos.com/proteus-quien-dice-que-los-cascos-no-se-pueden-doblar/>
- [88] **Ramón Losada**, **Hit The Road Motoblog**, *“No quitar en caso de accidente” ENTREGA III: Lo último, Cascos con Airbag!*. <http://hittheroadmotoblog.blogspot.com.es/2011/09/no-quitar-en-caso-de-accidente-entrega.html>
- [89] **El blog de motónity**, *SHARP Test de Seguridad de Cascos - MOTONITY.* <https://www.motonity.com/blog/sharp-test-de-seguridad-de-cascos>
- [90] **SHARP The Helmet Safety Scheme**, *SHARP - THE HELMET SAFETY SCHEME.* <https://sharp.dft.gov.uk/>
- [91] **European Commission**, *Going abroad - European Commision.* http://ec.europa.eu/transport/road_safety/going_abroad/index_en.htm#

- [92] **Wikipedia, La enciclopedia libre**, *Criterio de lesión encefálica*.
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Criterio_de_lesi%C3%B3n_encef%C3%A1lica&oldid=102190373
- [93] **L. Eckstein**, *Structural Design of Vehicles: Lecture Notes*. Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen University.

DOCUMENTO II



PLANOS



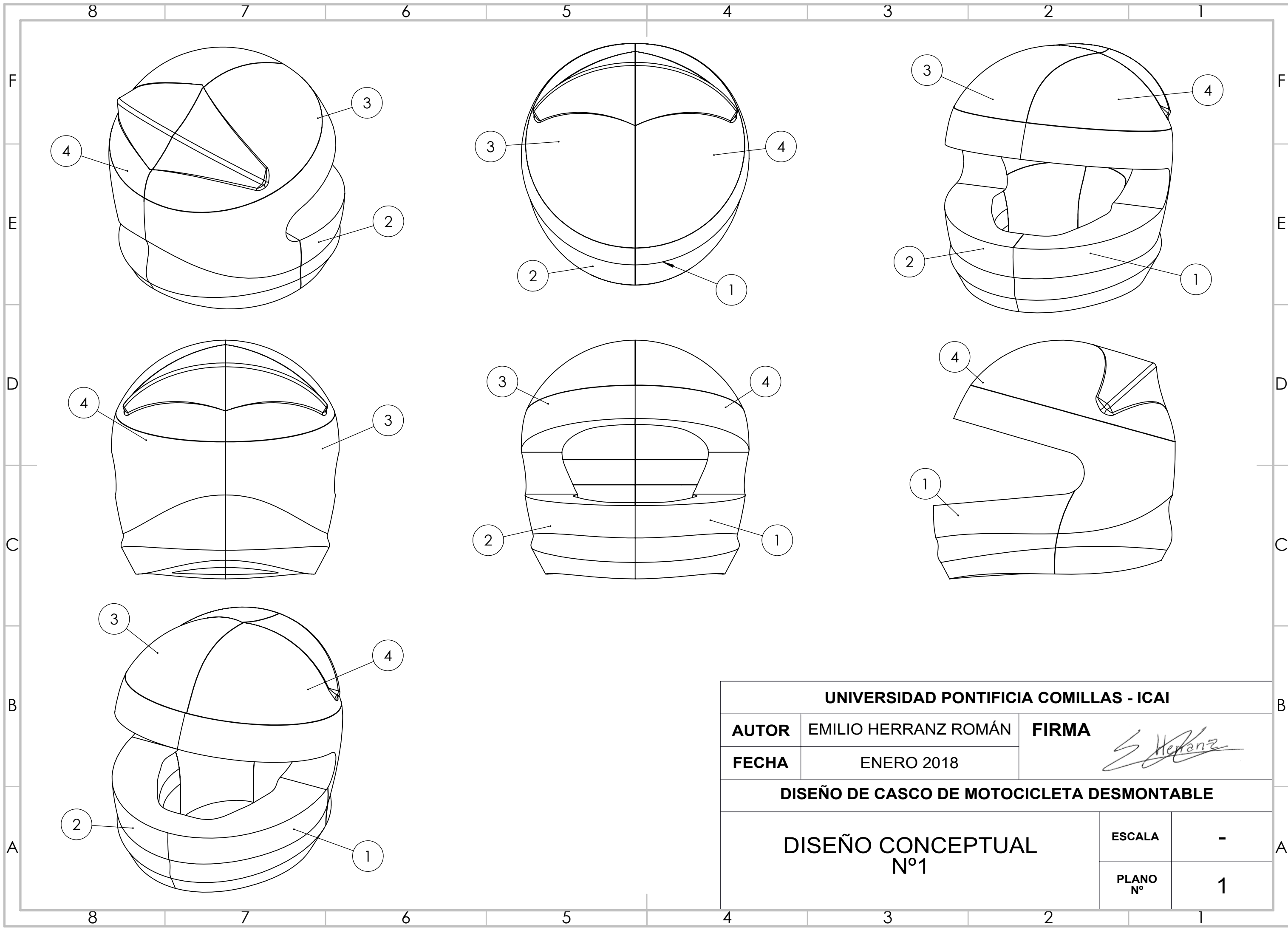
Lista de planos

Plano 1. Diseño conceptual nº 1

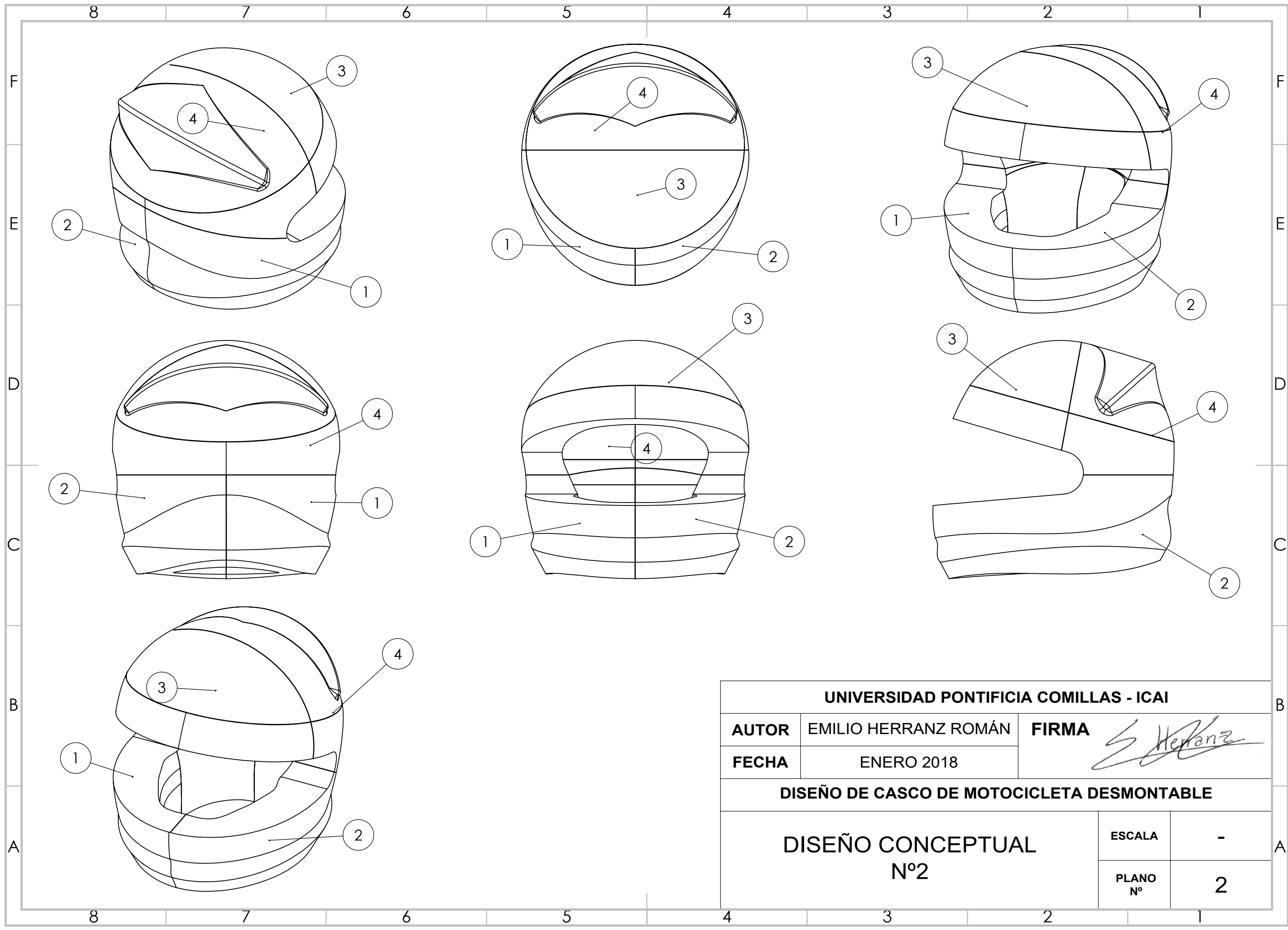
Plano 2. Diseño conceptual nº 2

Plano 3. Diseño conceptual nº 3

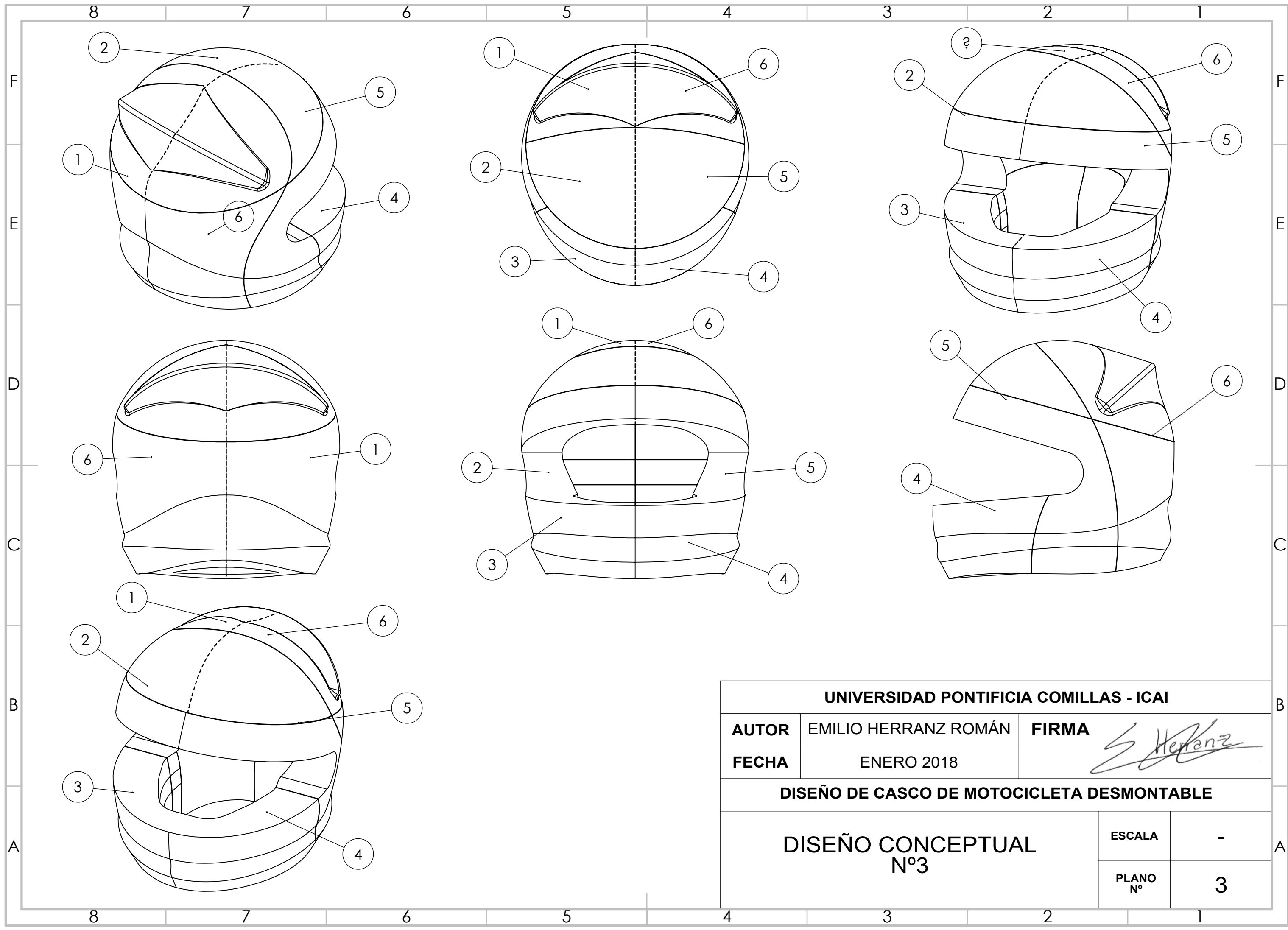
Plano 4. Diseño conceptual nº 4



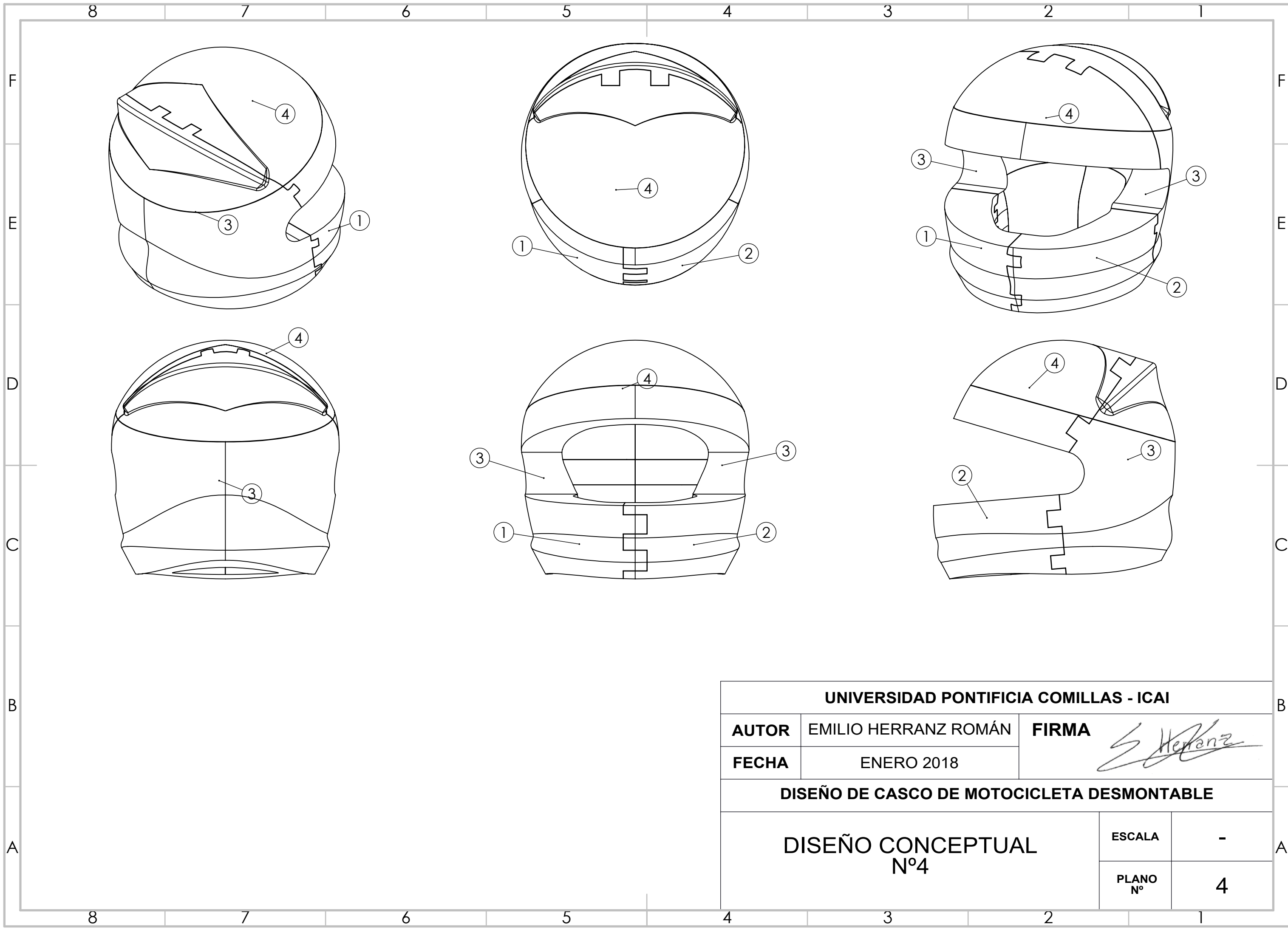
UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS - ICAI		
AUTOR	EMILIO HERRANZ ROMÁN	FIRMA 
FECHA	ENERO 2018	
DISEÑO DE CASCO DE MOTOCICLETA DESMONTABLE		
DISEÑO CONCEPTUAL Nº1	ESCALA	-
	PLANO Nº	1



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS - ICAI		
AUTOR	EMILIO HERRANZ ROMÁN	FIRMA 
FECHA	ENERO 2018	
DISEÑO DE CASCO DE MOTOCICLETA DESMONTABLE		
DISEÑO CONCEPTUAL Nº2	ESCALA	-
	PLANO Nº	2



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS - ICAI		
AUTOR	EMILIO HERRANZ ROMÁN	FIRMA 
FECHA	ENERO 2018	
DISEÑO DE CASCO DE MOTOCICLETA DESMONTABLE		
DISEÑO CONCEPTUAL Nº3	ESCALA	-
	PLANO Nº	3

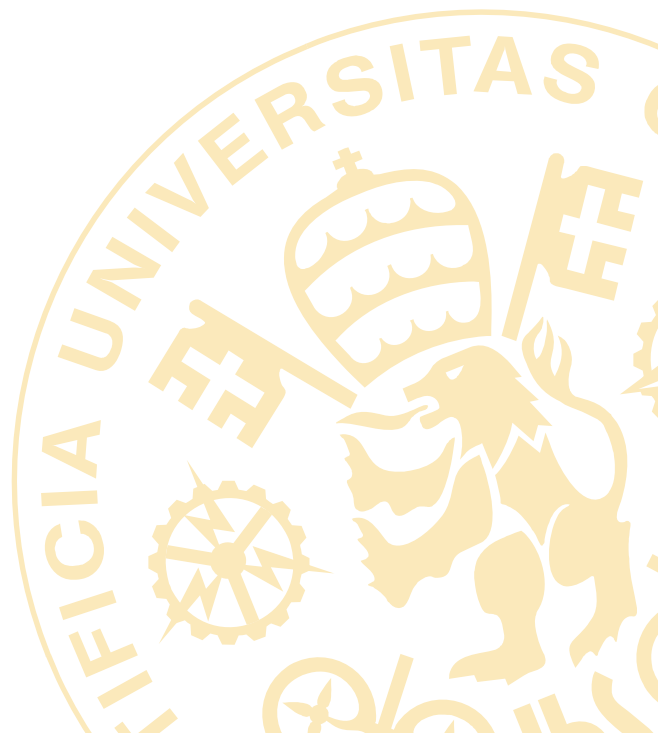


UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS - ICAI		
AUTOR	EMILIO HERRANZ ROMÁN	FIRMA 
FECHA	ENERO 2018	
DISEÑO DE CASCO DE MOTOCICLETA DESMONTABLE		
DISEÑO CONCEPTUAL Nº4	ESCALA	-
	PLANO Nº	4

DOCUMENTO III



ANEXOS



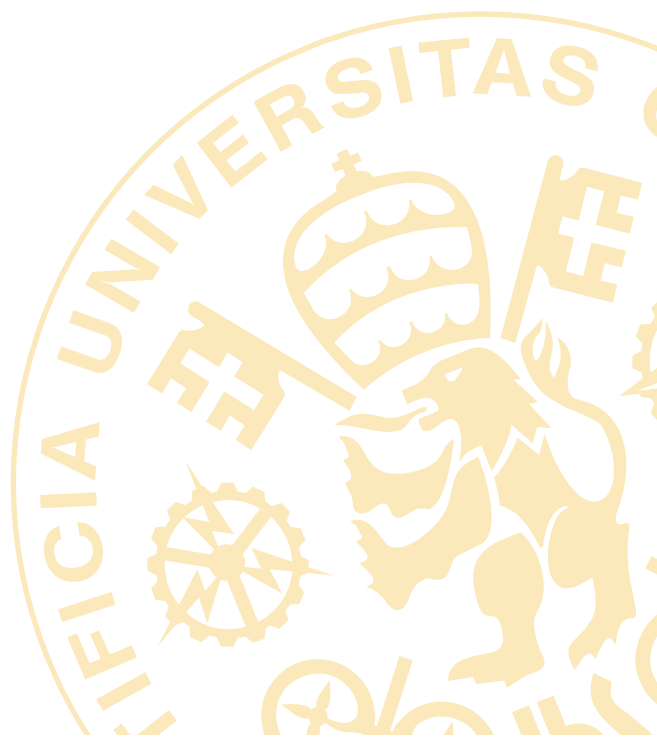
Índice

I. Anexos	3
1. Estudio de mercado	5
2. Bocetos de los diseños conceptuales	11
2.1. Modelos	11
2.1.1. Casco Egg-shell	11
2.1.2. Casco Plegable	12
2.1.3. Casco Closca	13
2.1.4. Casco Desmontable	14
2.2. Uniones	15
2.2.1. Unión Gancho	15
2.2.2. Unión Cierre	16
2.2.3. Unión de tornillo	17
2.2.4. Unión de grapas	17
2.2.5. Unión Engache	18
3. Cálculo del HIC (1)	19
4. Cálculo del HIC (2)	21
5. Cálculo de la integral respecto al tiempo de las fuerzas inducidas en el yunque en el ensayo de proyecciones	23
6. Encuesta final	25

PARTE I



ANEXOS



Anexo 1

Estudio de mercado

Protección	Diseño	Peso	Comodidad	Precio	Modul.	Durabilidad	Plegado
10	8	7	10	4	5	8	4
10	6	6	9	7	4	9	10
10	8	5	8	5	6	10	3
10	4	8	10	6	4	10	3
10	8	7	8	9	6	9	10
10	7	8	8	5	6	8	3
10	7	2	10	4	0	9	9
10	5	8	9	5	5	9	3
10	4	10	10	10	10	9	6
8	8	7	7	6	4	10	4
10	8	3	4	8	1	8	3
10	2	10	10	10	10	8	5
10	9	4	7	10	3	10	9
10	3	6	9	3	4	7	6
10	5	3	8	0	6	8	4
10	10	4	10	7	8	7	5
10	6	7	6	3	0	9	4
10	8	8	8	8	0	9	5
10	8	5	7	8	6	10	8
10	8	9	9	8	6	8	6
10	2	6	8	9	6	10	5

10	5	7	8	2	5	8	4
10	8	4	7	9	6	7	8
10	3	7	9	6	2	9	8
10	4	5	8	6	4	7	5
10	8	5	7	7	5	8	7
10	5	8	10	10	6	10	9
6	4	8	10	5	5	7	6
10	8	10	10	8	8	8	8
9	7	9	8	8	8	9	5
9	6	5	9	8	2	8	10
10	5	7	9	3	0	10	4
10	8	6	8	5	0	10	6
9	3	7	7	8	1	7	7
10	5	7	8	2	10	9	8
10	5	7	7	10	10	8	3
10	5	8	7	6	3	8	3
10	9	7	10	5	0	10	9
10	8	8	8	10	3	10	6
10	7	8	10	5	7	8	8
10	8	9	10	5	0	10	4
10	8	10	10	6	0	8	6
10	8	6	7	7	7	8	3
10	4	6	8	8	10	7	4
10	5	8	10	5	0	10	4
10	3	4	8	9	1	7	9
10	7	8	9	8	3	8	7
10	3	8	9	7	5	10	7
10	2	7	9	2	2	10	4
10	6	8	8	7	0	10	6
9	6	9	8	10	6	8	6
10	6	10	10	10	5	7	4

10	7	6	7	7	2	8	7
10	5	5	10	5	0	7	7
10	9	7	9	9	0	9	4
10	6	9	9	7	0	8	7
10	3	6	8	6	4	9	6
8	9	10	9	10	6	9	6
10	8	9	9	7	5	10	9
10	8	8	10	6	5	9	4
9	8	7	8	6	6	7	3
10	4	7	8	7	8	9	6
10	6	4	8	7	3	8	7
10	8	10	10	3	3	9	3
7	2	5	5	8	0	8	5
10	10	8	6	1	7	10	3
10	7	5	8	6	3	10	4
9	10	8	8	7	5	10	6
10	7	7	6	9	0	8	5
10	6	10	10	10	5	8	3
10	7	8	9	7	0	8	3
10	8	6	9	6	8	8	3
10	2	8	10	4	0	7	9
10	5	9	9	5	10	8	10
10	7	5	10	6	0	9	9
10	6	7	8	9	2	10	7
10	9	7	9	8	6	9	10
10	8	8	9	7	4	10	4
5	8	5	10	8	0	9	7
8	8	10	10	0	7	10	7
9	7	8	10	5	7	8	3
10	8	6	8	8	5	9	5
10	7	7	9	5	0	8	5

10	1	7	10	5	7	10	3
8	5	7	10	6	10	7	6
10	6	6	8	6	4	8	9
10	6	8	8	7	6	8	3
10	6	8	8	8	3	10	10
10	3	7	9	7	6	9	4
10	6	7	8	7	5	7	7
10	7	5	5	3	0	10	10
8	5	8	10	9	10	7	9
7	5	5	7	8	7	8	5
9	8	6	8	5	8	10	3
10	8	8	9	7	5	10	9
8	7	5	10	8	5	8	8
10	8	5	6	8	3	9	9
10	7	5	9	8	0	10	4
10	5	2	8	4	0	8	7
10	8	8	9	3	6	7	5
10	6	5	7	6	0	9	3
10	3	6	8	8	7	9	8
9	8	3	8	5	3	7	10
10	8	0	10	7	5	10	9
10	10	7	9	1	9	10	9
10	7	8	9	3	5	8	6
10	1	5	8	6	0	8	5
10	6	7	9	7	3	9	7
8	5	3	7	5	0	9	8
10	5	8	10	7	2	8	6
10	5	5	10	10	5	7	7
10	6	4	8	7	4	8	3
10	5	6	8	9	7	10	3
10	7	6	9	4	8	8	8

8	5	10	10	10	5	8	3
10	6	8	7	3	7	9	6
10	8	9	9	5	5	8	8
10	7	6	8	6	0	8	8
10	7	7	10	7	0	8	9
10	7	7	8	10	10	9	3
7	7	5	10	8	0	7	7
5	8	7	10	10	7	10	3
10	5	8	9	7	8	7	7
8	10	6	10	2	0	7	6
10	10	5	10	3	3	7	5
9	7	6	7	4	4	9	5
10	6	7	10	3	0	10	9
10	8	7	10	3	0	10	7
9	9	6	7	2	1	9	8
9	5	7	9	7	0	7	8

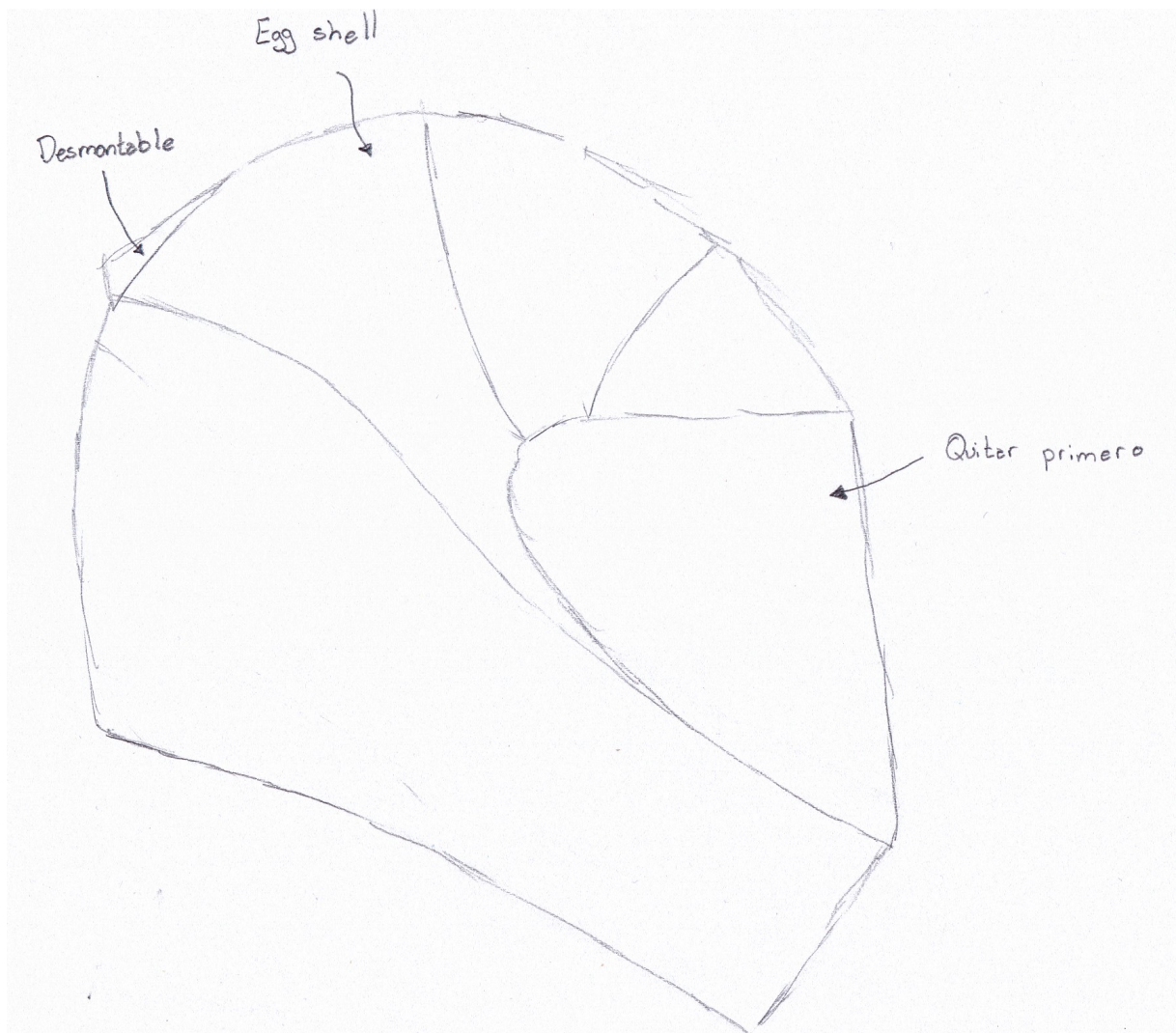
Tabla 1. Estudio de mercado completo

Anexo 2

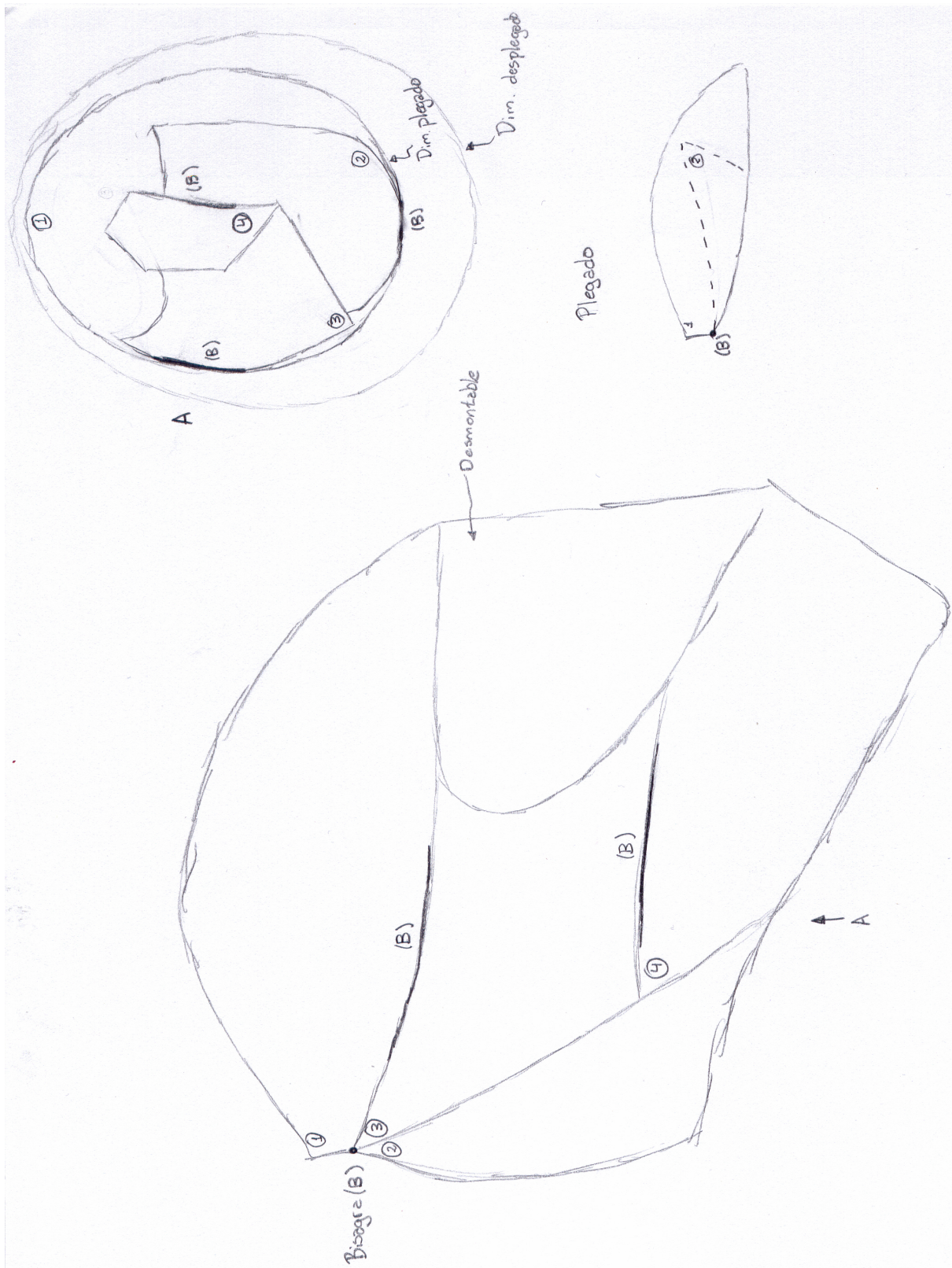
Bocetos de los diseños conceptuales

2.1. Modelos

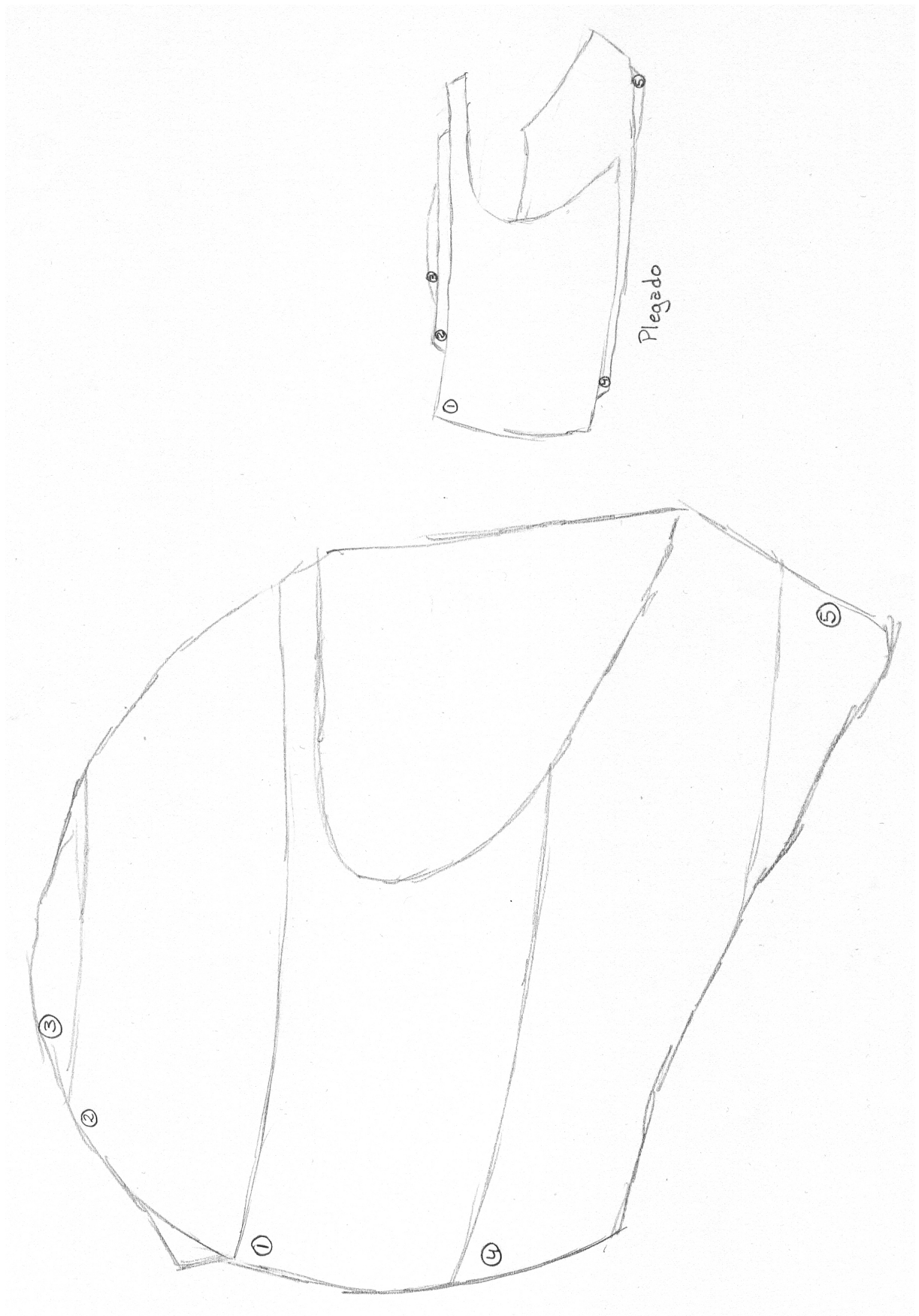
2.1.1. Casco Egg-shell



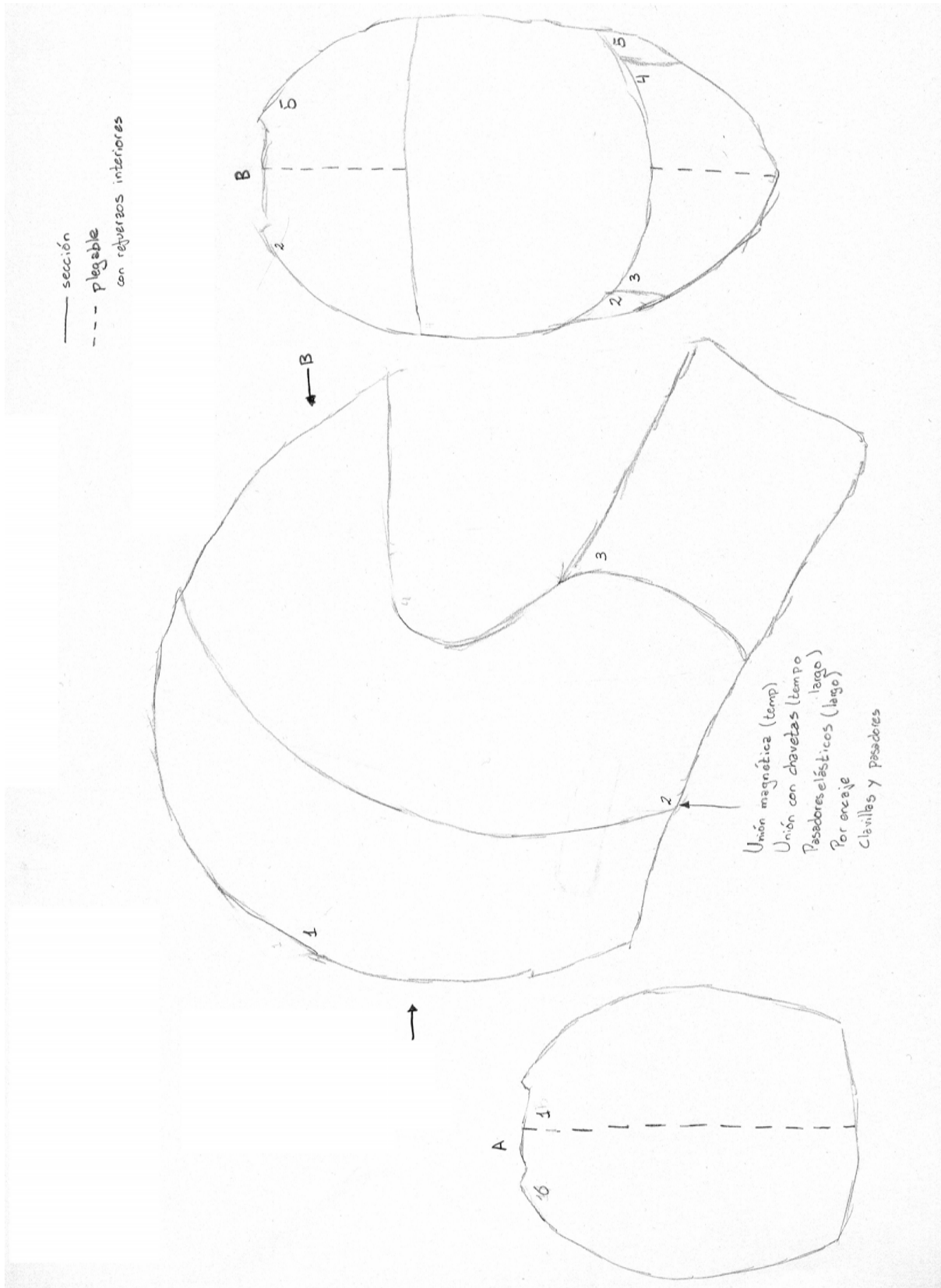
2.1.2. Casco Plegable



2.1.3. Casco Closca

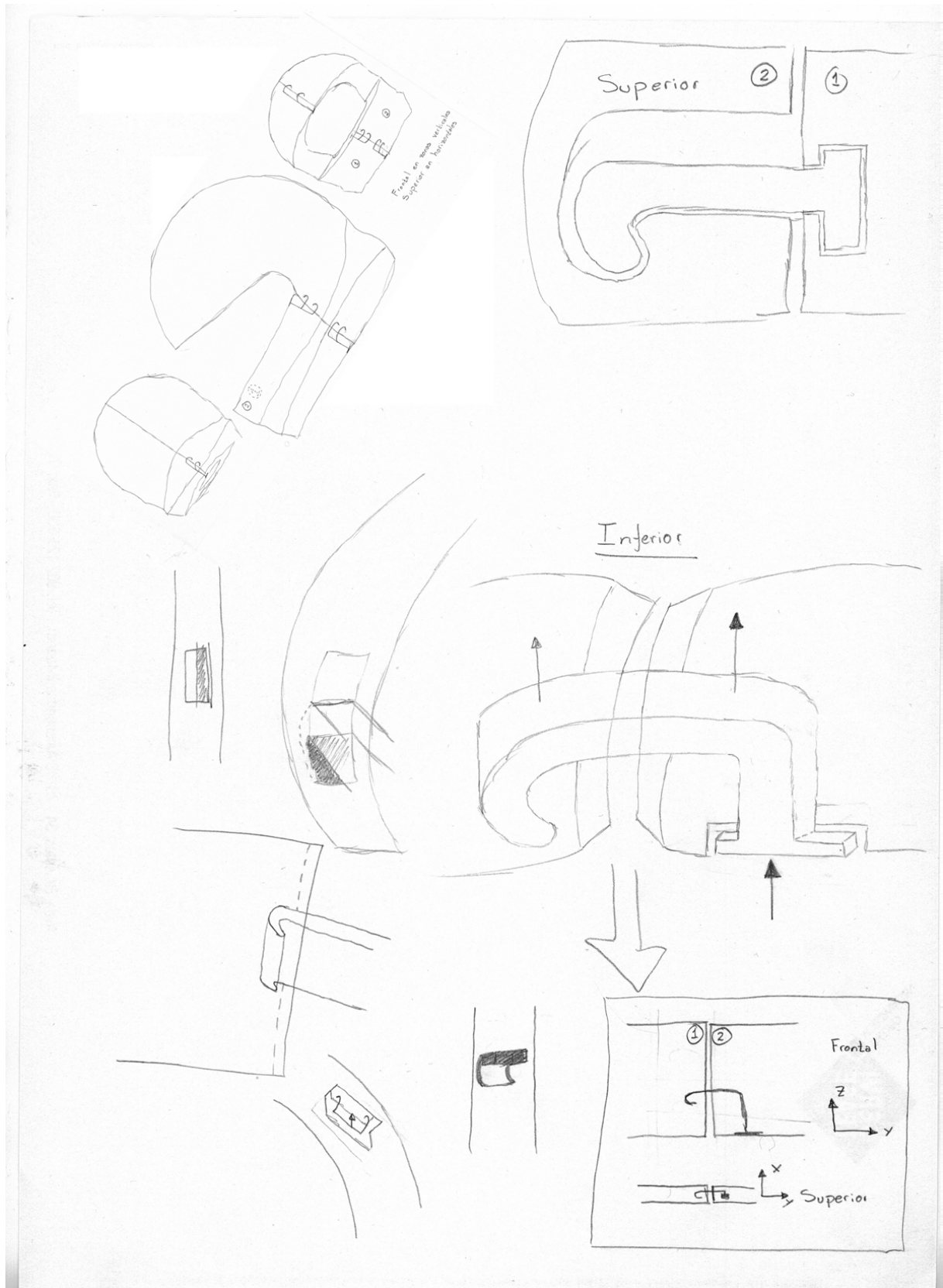


2.1.4. Casco Desmontable

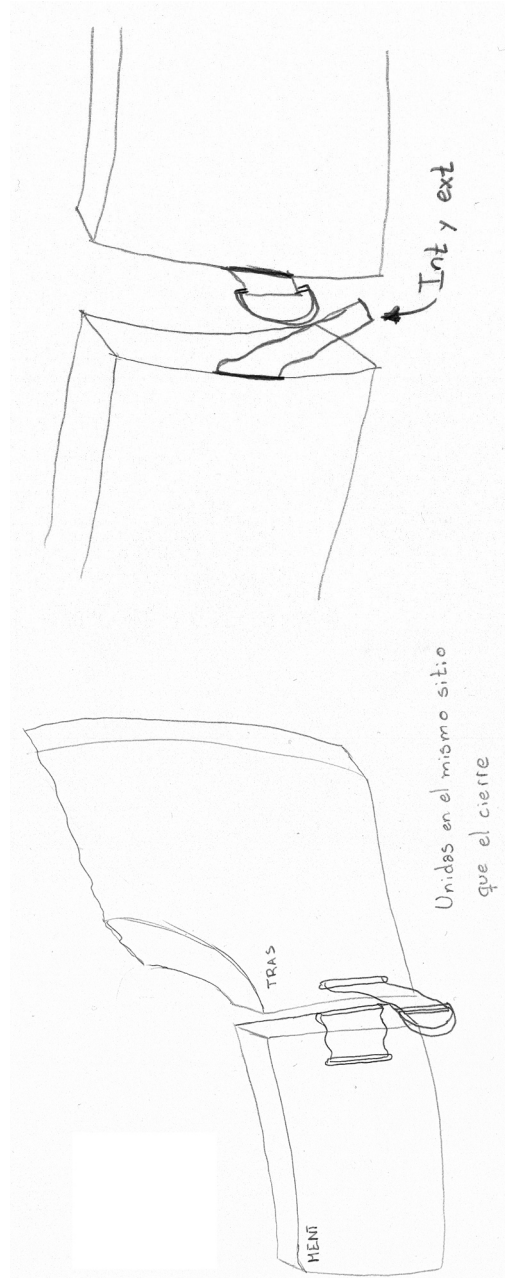


2.2. Uniones

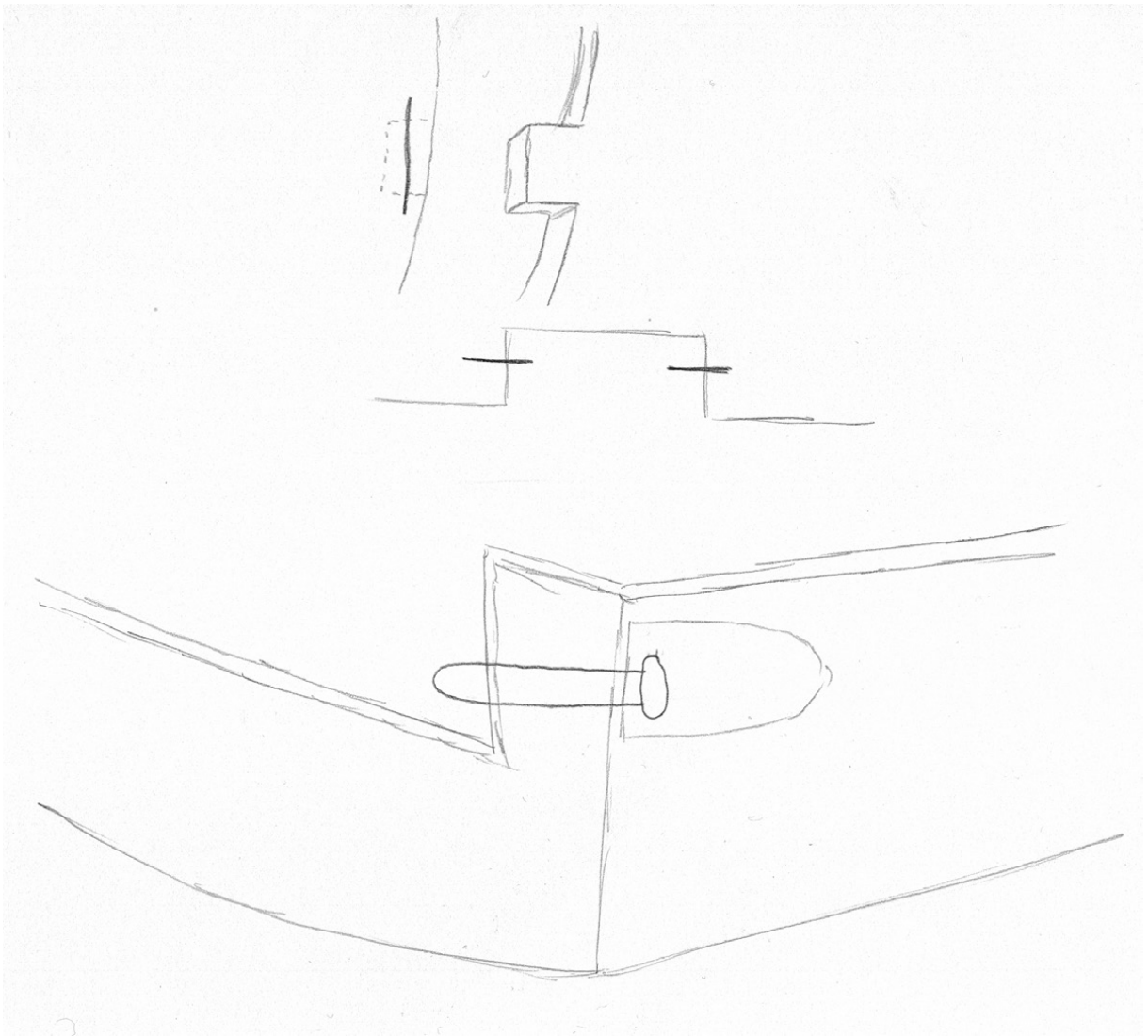
2.2.1. Unión Gancho



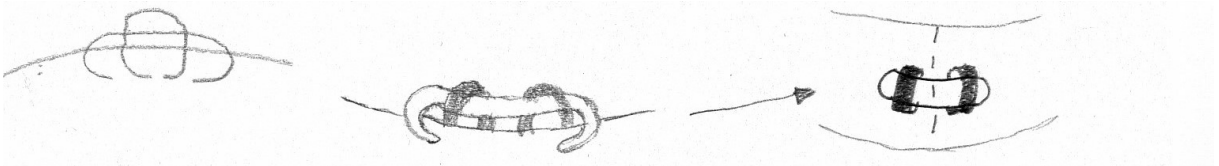
2.2.2. Unión Cierre



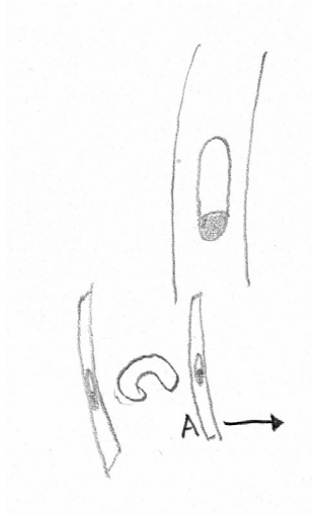
2.2.3. Unión de tornillo



2.2.4. Unión de grapas



2.2.5. Unión Engache



Anexo 3

Cálculo del HIC (1)

```
caso = input('Inserte numero de caso: ');
switch caso
    case 1
        hoja='Plano B';
    case 2
        hoja='Cuna B';
    case 3
        hoja='Plano X';
    case 4
        hoja='Cuna X';
    case 5
        hoja='Plano R';
    case 6
        hoja='Cuna R';
    case 7
        hoja='Plano P';
    case 8
        hoja='Cuna P';
    case 9
        hoja='Plano S';
    case 10
        hoja='Cuna S';
end

syms x;
n=20;
j=n
tiempo=xlsread('Impactos.xlsx', hoja, 'B2:B174');
acel=xlsread('Impactos.xlsx', hoja, 'D2:D174');
coefficients = polyfit(tiempo, acel, n);
funcion=0;
for i=1:1:n
    funcion=funcion+coefficients(i)*x^(j);
    j=j-1;
end
```

```
valor=(1/(tiempo(148)-tiempo(1))*int(funcion, tiempo(1),  
    tiempo(148)))^2.5*(tiempo(148)-tiempo(1));  
double(valor)
```

Anexo 4

Cálculo del HIC (2)

```
caso = input('Inserte numero de caso: ');
switch caso
    case 1
        hoja='Plano B';
    case 2
        hoja='Cuna B';
    case 3
        hoja='Plano X';
    case 4
        hoja='Cuna X';
    case 5
        hoja='Plano R';
    case 6
        hoja='Cuna R';
    case 7
        hoja='Plano P';
    case 8
        hoja='Cuna P';
    case 9
        hoja='Plano S';
    case 10
        hoja='Cuna S';
end

t=xlsread('Impactos.xlsx', hoja, 'B2:B174');
a=xlsread('Impactos.xlsx', hoja, 'D2:D174');
v = cumtrapz(t,a); % Velocity added from time t(1)
n = length(a);
hic = -inf;
for it = 1:n-1
    for jt = it+1:n
        h = (t(jt)-t(it))*((v(jt)-v(it))/(t(jt)-t(it)))^2.5;
        if h > hic
            hic = h;
        end
    end
end
```

end
end
hic

Anexo 5

Cálculo de la integral respecto al tiempo de las fuerzas inducidas en el yunque en el ensayo de proyecciones

```
syms x;  
n=20;  
j=n;  
tiempo=xlsread('Proyecciones.xlsx', 'B3:B20030');  
fuerza=xlsread('Proyecciones.xlsx', 'F3:F20030');  
coefficients = polyfit(tiempo, fuerza, n);  
funcion=0;  
for i=1:1:n  
    funcion=funcion+coefficients(i)*x^(j);  
    j=j-1;  
end  
valor=int(funcion, tiempo(1), tiempo(20028));  
double(valor)
```


Anexo 6

Encuesta final

Valoración	¿Compra?
8	SI
5	NO
5	NO
4	NO
10	SI
10	SI
10	SI
9	SI
6	SI
8	SI
5	NO
4	NO
9	SI
7	SI
9	SI
9	SI
2	NO
10	SI
3	NO
5	NO
10	SI

7	SI
7	SI
8	SI
10	SI
3	NO
9	SI
3	NO
2	NO

Tabla 2. Encuesta final completa