



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA MII
Especialidad Mecánica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estudio y diseño de una protección deportiva

Autor: Jorge Gutiérrez Riopérez
Director: Dr. Antonio García y de Garmendia

Madrid
Junio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE MÁSTER

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

El autor D. Jorge Gutiérrez Riopérez DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Estudio y diseño de una protección deportiva, 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) Reproducirla 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.

5°. 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.

6°. 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 16 de junio de 2019

ACEPTA

Fdo. 

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:
Estudio y diseño de una protección deportiva
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico
2018-2019 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.

Jorge Gutiérrez Riopérez

Fdo.:



Fecha: 16/6/19

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO
Dr. Antonio García y de Garmendía

Fdo.:



Fecha: 16/6/19

Vº Bº del Coordinador de Proyectos
Prof. Dr. José Ignacio Linares Hurtado

Fdo.:

Fecha: / /



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA MII
Especialidad Mecánica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estudio y diseño de una equipación deportiva

Autor: Jorge Gutiérrez Riopérez
Director: Dr. Antonio García y de Garmendia

Madrid
Junio de 2019

ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA PROTECCIÓN DEPORTIVA

Autor: Gutiérrez Riopérez, Jorge.

Directores: García y de Garmendia, Dr. Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El Proyecto tiene como motivación mejorar el diseño técnico de una protección deportiva, tanto desde el punto de vista de la seguridad del jugador como de su ergonomía. El proyecto es un estudio que engloba ciencias tan variadas como la transmisión de calor, la estadística, ergonomía o la selección de materiales y las pone a disposición del diseño deportivo. Concretamente, se va a desarrollar una protección de pecho y hombro para el deporte americano, Lacrosse. Para realizar el diseño es necesario aplicar conocer las características mecánicas que la armadura requiere y de los materiales que se van a usar. Los objetivos que se van a abordar son el ajuste de la protección al cuerpo del jugador, el uso de recursos estadísticos y de optimización para definir las tallas, minimizar el riesgo de lesión en el jugador, incrementar la vida útil del producto y una equilibrada selección de materiales.

En el Capítulo 1 se sientan las bases del Proyecto, es necesario establecer una metodología y unos objetivos previos a la documentación para establecer el proceso de cálculo y de optimización. La motivación principal del proyecto es aumentar la calidad de las protecciones deportivas y que el jugador tenga comodidad en su uso.

En el siguiente capítulo se realiza una introducción al deporte, se comenta la gravedad de las lesiones y su frecuencia. En este caso, las lesiones que se intentan evitar son las de tronco superior y afectan a la articulación del hombro o al esternón. Además, se define la ergonomía de la protección en cuatro variables fundamentales: movimiento, peso, transferencia de calor y transpiración. Todas las variables son estudiadas en profundidad y se busca su equilibrio sin afectar radicalmente al precio. El apartado finaliza con un estado del arte de las actuales protecciones de Lacrosse y las posibles mejoras en el nuevo diseño. Dado su origen, la totalidad de las empresas están asentadas en Norte América y tienen una visión restringida del mercado.

Durante el tercer capítulo se usan las necesidades establecidas en el anterior capítulo y se empieza hablar del diseño de una prenda deportiva y la selección de sus materiales. El diseño de la ropa deportiva no es trivial pues tiene requisitos exigentes con el jugador y su

medio. Se establecen futuros diseños conceptuales y nuevas partes que se desean implementar, como alargar la protección superior en el hombro o separar los velcros de la armadura y que constituyan una pieza aislada. Finalmente se busca la aplicación de nuevas propuestas y se define como aumentar la vida útil del producto mediante distintos enfoques.

El primer enfoque es mediante la sustitución de piezas que sufren un desgaste acelerado frente al resto de la protección. Será solucionado mediante la implementación de velcros como pieza única. El segundo enfoque para aumentar la vida útil es facilitar la ergonomía en el movimiento y que la protección se ajuste correctamente al jugador. El ajuste comienza desde que el jugador escoge una talla u otra. Se ha tomado una muestra estadística de un equipo de Lacrosse y de sus diferentes medidas del cuerpo o fisiológicas. Posteriormente, se realiza un estudio mediante un algoritmo de clústeres que asegura un correcto ajuste mediante tres medidas del cuerpo. Como resultado se obtienen las medidas exactas de las tres diferentes tallas.

En el tercer capítulo del diseño el proyecto se centra en la transmisión de calor, transpiración y ergonomía térmica. Es fundamental que el jugador pueda encontrar un confort térmico durante el juego y que su equipación le permita jugar sin impedimentos. Se desarrollan las diferentes formas de transmisión de calor y se aplican a los distintos tamaños de la muestra. Se concluye con la explicación del comportamiento de la permeabilidad en la estructura sándwich de la protección.

El último capítulo que está enfocado al diseño atañe a la selección de materiales mediante el software CES Edu Pack. Se seleccionan cinco materiales distintos para la protección y sus distintas aplicaciones. Las propiedades de los materiales son calculadas en función de las necesidades de la prenda y el juego. Desde vapor de agua que se intenta evaporar, energía de impacto que debe absorber, propiedades físicas de desgaste... Por último, se realiza un cálculo del precio, peso o propiedades generales de cada talla en función de las propiedades recientemente obtenidas.

Finalmente, se determina un presupuesto del Proyecto para evaluar los gastos que supone de forma profesional pero autónoma llevar a cabo el diseño de una prenda deportiva.

Al final del Proyecto se encuentran las conclusiones que establecen la mejora de la técnica frente al producto actual. Han sido divididas en: función principal, medio ambiente y ergonomía. Como función principal se entiende el uso protector en el juego mientras que en medio ambiente se analizan los resultados de los materiales reciclados o como se ha incrementado la vida útil del producto. En cuanto a los resultados en la ergonomía se divide en dos grupos, la ergonomía térmica y el ajuste al cuerpo.

Por último, se establece como futuras vías de investigación la implementación del diseño en la fabricación, llevar a cabo el diseño de otras protecciones similares o la estrategia de mercado del nuevo producto.

STUDY CASE & DESIGN OF A SPORT PROTECTIVE GEAR

Author: Gutiérrez Riopérez, Jorge.

Director: García y de Garmendia, Dr. Antonio.

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

PROJECT SUMMARY

The project aims to improve the technical design of a sports protection, both from the point of view of player safety and ergonomics. The project is a study that encompasses sciences as varied as heat transmission, statistics, ergonomics or the selection of materials and makes them available to sports design. Specifically, it will develop a chest and shoulder protection for the American sport, Lacrosse. To carry out the design, it is necessary to apply the mechanical characteristics that the armor requires and the materials that will be used. The objectives to be addressed are the adjustment of the protection to the player's body, the use of statistical resources and optimization to define the sizes, minimize the risk of injury to the player, increase the useful life of the product and a balanced selection of materials.

In Chapter 1, the fundamentals of the Project are set. It is necessary to establish a methodology and objectives prior to the documentation to begin the calculation and optimization process. The core motivation of the project is to increase the quality of sports protection and that the player has comfort in its use.

In the next chapter, an introduction to the sport is made, the severity of the injuries and their frequency are commented. In this case study, the injuries that are tried to be avoided are those related to the upper trunk which affects the shoulder joint or the sternum. In addition, the ergonomics of protection is defined in four fundamental variables: movement, weight, heat transfer and transpiration. All the variables are deeply studied, and their equilibrium is sought without radically affecting the price. The section ends with a state of the art of the current protections of Lacrosse and the possible improvements in the new design. Given the sport's origin, all the companies base in North America and have a restricted view of the market.

During the third chapter, the needs established in the previous chapter are used and we start talking about the design of a sports garment and the selection of its materials. The design of sportswear is not trivial because of its demanding requirements with the player and his environment. Future conceptual designs and new parts to be implemented are established, such as lengthening the upper protection on the shoulder or separating the

Velcro from the armor and constituting an isolated piece. Finally, the application of new proposals is sought and defined as increasing the useful life of the product through different approaches.

The first approach is to replace parts which suffer accelerated wear against the rest of the protection. It will be solved by implementing Velcros as a single piece. The second approach to increase his life is to facilitate the ergonomics in the movement and ensure that the protection is adjusted correctly to the player. The adjustment starts from the moment the player chooses one size or another. A statistical sample of a Lacrosse team and its different body or physiological measurements has been taken. Subsequently, a study is made by means of a clustering algorithm that ensures a correct adjustment by means of three measures of the body. As a result, the exact measurements of the three different sizes are obtained.

In the third chapter of the project's design focuses on heat transmission, transpiration, and thermal ergonomics. It is essential that the player can find a thermal comfort during the game and that his equipment allows him to play without impediments. The different forms of heat transmission are developed and applied to the different sizes of the sample. It concludes with the explanation of the permeability behavior in the sandwich structure of the protection.

The last chapter focuses on design concerns the selection of materials through the CES Edu Pack software. Five different materials are selected for protection and their different applications. The properties of the materials are calculated according to the needs of the garment and the game. From water vapor that is trying to evaporate, impact energy that must absorb, physical properties of wear ... Finally, a calculation of the price, weight or general properties of each size is made based on the properties recently obtained.

Finally, the Project's budget is determined to evaluate the expenses that professionally but autonomously supposed to carry out the design of a sports garment.

In the end, the conclusions explain the improvement of the technique against the current product. They have been divided into the main function, environment and ergonomics. The main function is the protective use of the game while in the environment the results of the

recycled materials are analyzed or how the product's useful life has been increased. As for the results in ergonomics, it is divided into two groups: thermal ergonomics and fit to the body.

Finally, the implementation of design in manufacturing is established as future research paths, carrying out the design of other similar protections or the market strategy of the new product.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	23
1.1	MOTIVACIÓN	23
1.2	MISIÓN Y OBJETIVOS	25
1.3	METODOLOGÍA	25
1.4	RECURSOS A EMPLEAR.....	26
1.5	CONCLUSIONES	26
2	EL LACROSSE	27
2.1	INTRODUCCIÓN AL LACROSSE	27
2.2	LESIONES EN LACROSSE, DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE SEGURIDAD	29
2.3	LA ERGONOMÍA EN LAS PROTECCIONES	29
2.3.1	Movimiento	29
2.3.2	Peso	30
2.3.3	Transmisión de calor	30
2.3.4	Transpiración.....	30
2.4	INTRODUCCIÓN A LAS PROTECCIONES.....	30
2.5	ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO CONCEPTUAL	32
2.6	CONCLUSIONES DEL DISEÑO CONCEPTUAL	35
2.6.1	Mercado actual	35
2.7	CONCLUSIONES	36
3	DISEÑO I: EQUIPAMIENTO DEPORTIVO	39
3.1	DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN Y ERGONOMÍA	39
3.2	SELECCIÓN DE MATERIALES: INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS.....	40
3.3	ENERGÍA DE UNA BOLA DE LACROSSE:	41
3.4	SUSTITUCIÓN DE PIEZAS:	44
3.5	INCREMENTAR EL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO.....	45
3.6	CONCLUSIONES DEL DISEÑO CONCEPTUAL	46
3.6.1	Aplicación en el proyecto.....	46
3.7	CONCLUSIONES	47
4	DISEÑO II: TALLAS Y PARTES	49
4.1	MEDIDAS, TALLAS	49
4.1.1	Optimización y MNLP	50
4.1.2	Algoritmo de Lloyd.....	51

4.2	CONCLUSIONES	58
5	DISEÑO III: EL AISLAMIENTO TÉRMICO EN EL SER HUMANO.....	59
5.1	INTRODUCCIÓN AL AISLAMIENTO TÉRMICO	59
5.2	CONFORT TÉRMICO.....	60
5.3	CONDICIONES AMBIENTALES Y LA TRANSFERENCIA DE CALOR.....	62
5.4	SUPERFICIE DEL CUERPO HUMANO.....	62
5.5	ECUACIÓN DE CONFORT.....	63
5.6	CONVECCIÓN.....	66
5.7	RADIACIÓN.....	69
5.8	TRANSPIRACIÓN	72
5.9	CALCULO DEL CALOR DE EVAPORACIÓN.....	73
5.10	DIFUSIÓN EN LA PIEL	76
5.11	PÉRDIDA DE CALOR POR RESPIRACIÓN	78
5.12	CÁLCULOS FINALES POR TALLAS	79
5.13	CONCLUSIONES	80
6	DISEÑO IV: SELECCIÓN DE MATERIALES	83
6.1	SELECCIÓN DE MATERIALES	83
6.1.1	Material protector	84
6.1.2	Parte exterior	88
6.1.3	Material interior.....	92
6.1.4	Piezas rígidas.....	95
6.1.5	Adhesivo.....	98
6.2	APLICACIÓN DE LOS MATERIALES.....	99
6.2.1	Talla S.....	100
6.2.2	Talla M	101
6.2.3	Talla L	102
6.2.4	Permeabilidad de la protección	102
6.3	CONCLUSIONES	103
7	PRESUPUESTO	105
7.1	CAPITAL HUMANO	105
7.2	CONSUMIBLES	106
7.3	CONCLUSIONES	108
8	COMPARACIÓN DEL DISEÑO ACTUAL EN EL MERCADO	109

8.1	FUNCIÓN PRINCIPAL	109
8.2	MEDIO AMBIENTE	109
8.2.1	Materiales reciclados	110
8.2.2	Vida útil del producto:.....	110
8.3	ERGONOMÍA	111
8.3.1	Térmica y sudor.....	112
8.3.2	Ajuste al cuerpo.....	113
9	OBJETIVOS CONSEGUIDOS Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	115
9.1	INTRODUCCIÓN.....	115
9.2	OBJETIVOS DEL PROYECTO	115
9.3	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	116
10	BIBLIOGRAFÍA	119
10.1	ARTÍCULOS Y LIBROS.....	119
10.2	PÁGINAS WEB	120
11	ANEXO.....	121
11.1	MUESTRA ESTADÍSTICA	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Jugadores de Lacrosse durante un partido.....	23
Ilustración 2 Campo de Lacrosse y su distribución.....	27
Ilustración 3 Equipo Storm Lacrosse KITSC.....	28
Ilustración 4 Equipamiento protector en Lacrosse.....	31
Ilustración 5 Ejemplo de diseño conceptual de una prenda deportiva	39
Ilustración 6 Esquema estándar de la vida de un producto y su número de fallos	46
Ilustración 7 Tiras de velcro independientes.....	47
Ilustración 8 Ejemplo gráfico de la iteración de Voronoi	52
Ilustración 9 Diagrama de flujo de la Iteración de Voronoi.....	53
Ilustración 10 Calculo de la tasa metabólica mediante el programa Ergonautas	65
Ilustración 11 Método de aproximación de la diferencia de calor producida en la convección..	66
Ilustración 12 Material Protector Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio#	86
Ilustración 13 Material Protector Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio.....	87
Ilustración 14 Material Protector Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio.....	88
Ilustración 15 Material Exterior Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio.....	90
Ilustración 16 Material Exterior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio.....	92
Ilustración 17 Material Exterior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio.....	92
Ilustración 18 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio	93
Ilustración 19 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio.....	94
Ilustración 20 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio.....	95
Ilustración 21 Piezas rígidas Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio	95
Ilustración 22 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio.....	96
Ilustración 23 Material rígido exterior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio	96
Ilustración 24 Representación gráfica de los flujos de agua en las capas de la protección.....	103
Ilustración 25 Representación gráfica de la depreciación.....	108
Ilustración 26 Evolución del hombro en la protección.....	109

Ilustración 27 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio.....	110
Ilustración 28 Vida útil del producto y las zonas críticas.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Table 1 Medidas optimizadas de las tallas	53
Table 2 Superficies optimizadas de las tallas	54
Table 3 Muestras de la talla S	54
Table 4 Desviaciones de las muestras de la talla S	55
Table 5 Muestras de la talla M.....	56
Table 6 Desviaciones de las muestras de la talla M.....	56
Table 7 Muestras de la talla L	57
Table 8 Desviaciones de las muestras de la talla L	57
Table 9 Casos de verano e invierno para las distintas tallas.....	80
Table 10 Características de los dos casos en función de la superficie	81
Table 11 Propiedades necesarias de los materiales seleccionados.....	99
Table 12 Características de los materiales aplicadas en la talla S.....	100
Table 13 Características de los materiales aplicadas en la talla M.....	101
Table 14 Características de los materiales aplicadas en la talla L.....	102
Table 15 CCOO Convenio textil aplicado al Proyecto	105
Table 16 Cálculo de los consumibles.....	106
Table 17 Precio de la electricidad variable	106
Table 18 Licencias	106
Table 19 Depreciación del ordenador	107
Table 20 Depreciación del mobiliario	107
Table 21 Coste final	108

1 Introducción

En el siguiente capítulo se establecen las bases del Proyecto, su correspondiente motivación y el objetivo de este. Como último punto se establece la metodología del Proyecto y los pasos establecidos para la realización.

1.1 Motivación

El motivo que lleva al autor a escribir el siguiente Proyecto es facilitar el uso de las protecciones deportivas. La función que desempeña una armadura deportiva es evitar una posible lesión del jugador. Este Proyecto busca mantener esa función, maximizando su facilidad de uso y vida útil.

Este Trabajo se enfoca en las hombreras utilizadas en el deporte americano, Lacrosse. Se trata de una armadura que cubre principalmente el tren superior, se extiende desde el hombro hasta la parte media de las costillas protegiendo pecho, clavículas, hombros, parte superior de la espalda y esternón. Las hombreras se usan en deportes como el fútbol americano o el hockey, sin embargo, la armadura que se utiliza en estos es rígida y no permite fácilmente los movimientos por encima de los hombros. En el deporte del caso de estudio están fabricadas con telas sintéticas, materiales elásticos y espumas que intentan encontrar un equilibrio entre la protección y comodidad.



Ilustración 1 Jugadores de Lacrosse durante un partido

Fuente: Andrea Hubner, (2016)

El Lacrosse se trata de un deporte de origen indio americano y con una gran expansión en Norteamérica. Consiste en dos equipos de 10 jugadores que buscan introducir una pelota mediante un “stick” en la portería contraria. Consta de un tubo metálico con una

cesta en uno de los extremos. Los pases entre los jugadores se realizan mediante la captura de la bola con la cesta y su posterior lanzamiento. Por tanto, se requiere cierta habilidad para manejar el stick al mismo tiempo que soltura en los movimientos. Las protecciones son imprescindibles, el Lacrosse es un deporte de contacto y en el cual se utiliza una pelota maciza de goma que puede alcanzar velocidades de casi 200 km/h.¹ El material necesario para jugar es un casco, hombreras, coderas, guantes y protector bucal.

Las lesiones son muy frecuentes en el juego, además de ser un deporte agresivo se trata de un deporte extremadamente rápido y con muchos cambios de ritmo, produciendo así una gran cantidad de impactos por partido. El Profesor Kerr de la universidad de North Carolina determinó que en la NCAA el ratio de lesión supera el 7% y que en un 35% se debe a contacto con otro jugador. Los daños que las hombreras evitan suponen casi un 20% total de las lesiones, principalmente en los hombro y torso.

El ajuste de la armadura al cuerpo del jugador es principalmente elástico. Las principales marcas de ropa deportiva usan este sistema para adaptar las hombreras a la superficie del cuerpo y así aumentar la facilidad de movimiento. Desafortunadamente, el uso de las protecciones desgasta rápidamente el material y obliga al jugador aficionado a tener que comprar nuevo material cada tres años aproximadamente. Las condiciones meteorológicas, sudor, forcejeos y el propio uso debilitan el material hasta que pierde sus propiedades elásticas y deja de ser cómodo para el juego. Además, el frecuente uso de velcros incrementa sustancialmente el desgaste de la protección. El precio de unas hombreras oscila desde 40 hasta 180 €, un precio relativamente alto teniendo en cuenta que se trata solo de una parte de la equipación y que tiene una vida tan reducida.

Los materiales que se utilizan para las partes rígidas de las hombreras son telas sintéticas acolchadas con espumas o geles que intentan disminuir el golpe. El ciclo de vida de dichas partes es, sin ninguna duda, más largo que el de las partes elásticas. Estas zonas apenas se deterioran o se deforman con el uso, solo se ven afectadas por el agua y sudor que absorben y el olor que adquieren. Las armaduras constan de distintas piezas rígidas cosidas entre sí que constituyen un todo, por tanto, no se puede remplazar ninguna pieza más deteriorada o modificar su ergonomía más allá del ajuste de un velcro.

¹ [GUIN18] <http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/fastest-lacrosse-shot> (2018)

1.2 Misión y objetivos

La misión que tienen los ingenieros es ponerse a disposición de la sociedad y ayudar al desarrollo de la tecnología. En el presente caso, se lleva a cabo un estudio de la técnica actual que busca ayudar al jugador facilitando su movilidad durante el juego manteniendo su protección. Al mismo tiempo que se intenta mejorar la movilidad se buscará aumentar la vida útil del producto.

Los objetivos de este Proyecto son los siguientes:

- Resolver las limitaciones actuales en cuanto a movilidad presentes en las protecciones deportivas. Maximizar las diferentes posibilidades de ajuste de la protección al cuerpo del jugador.
- Aprender el uso de recursos estadísticos, como el uso de percentiles, para el diseño ergonómico. Asimismo, considerar las áreas ergonómicas del cuerpo humano para el correcto diseño conceptual.
- Diseñar una protección que permita minimizar el impacto físico hacia el jugador.
- Realizar un diseño que permita incrementar el ciclo de vida del producto. Se considerarán diseños con piezas intercambiables, reciclado, segundo uso, alternativas a materiales elásticos...
- Selección de materiales que mantengan un compromiso entre la protección, vida útil, coste y peso.

1.3 Metodología

La metodología que se va a seguir busca conseguir todos los objetivos mencionados en el apartado anterior.

- Realizar un estudio del estado del arte respecto a las hombreras de Lacrosse y sus características. Se considerarán dos fuentes principales: la base de patentes de la OEPM y las principales marcas del mercado.
- Realizar un estudio estadístico basado en percentiles para facilitar el estudio ergonómico.
- Estudiar las áreas de movimiento y la ergonomía del producto que será considerada en el diseño.

- Llevar a cabo un diseño conceptual que incremente la movilidad y posibilidades de ajuste de la protección.
- Realizar un estudio de materiales que serán usados en la protección teniendo en cuenta unas características de diseño fundamentales (peso, coste, desgaste, resistencia al impacto, reciclado, etc.).
- Incrementar el ciclo de vida de las protecciones y sus materiales mediante un nuevo diseño o un innovador ciclo de vida del producto.
- Proteger el nuevo diseño con una patente.

1.4 Recursos a emplear

Las herramientas que se van a utilizar para la implementación de este Proyecto son las siguientes:

- Uso de artículos científicos y deportivos sobre el diseño de la ropa deportiva.
- Muestras reales tomadas a un equipo del deporte de estudio, KITSC Lacrosse.
- Programa de optimización MLP, GAMS.
- Programa para la aplicación de un Javascript, Node y NPM.
- Programa de selección de materiales, CES Edu Pack
- Programa para la definición de condiciones térmicas ergonómicas, Ergonautas.

1.5 Conclusiones

En este capítulo introductorio se han establecido las bases del Proyecto: la motivación del Trabajo, los objetivos a conseguir y la metodología que se va a aplicar. En el siguiente capítulo se realiza un estudio del arte que consistirá en los productos actuales, materiales que se utilizan en su fabricación o los problemas actuales.

2 El Lacrosse

En el capítulo anterior se explicaron las motivaciones y medios de este proyecto. En este capítulo se establecen las características que la protección debe cumplir desde el punto de vista de funcionalidad. Se realiza una pequeña introducción al Lacrosse para que el lector sea consciente de la función exacta de la prenda y su relación con el cuerpo del jugador. Además, también se incluye una comparación entre los productos del mercado actual y se analizan los posibles nichos de mercado.

2.1 Introducción al Lacrosse

El Lacrosse es un deporte originario en Norteamérica que se juega principalmente en Canadá y al norte de Estados Unidos. Se trata de un deporte de equipo cuyo objetivo es introducir una pelota de goma en una portería. Ambos equipos tienen 10 jugadores, 3 delanteros, 3 centrocampistas, 3 defensas y un portero.

En la siguiente ilustración se puede observar cómo está dividido el campo y como se distribuyen los jugadores. Las porterías se encuentran dentro de los círculos que hay en cada extremo. Se puede apreciar la posición defensiva de los jugadores azules, se encuentran cerca de la portería azul impidiendo que los jugadores rojos puedan disparar. Si la defensa es al hombre, el contacto agresivo entre la pareja de jugadores es muy habitual.

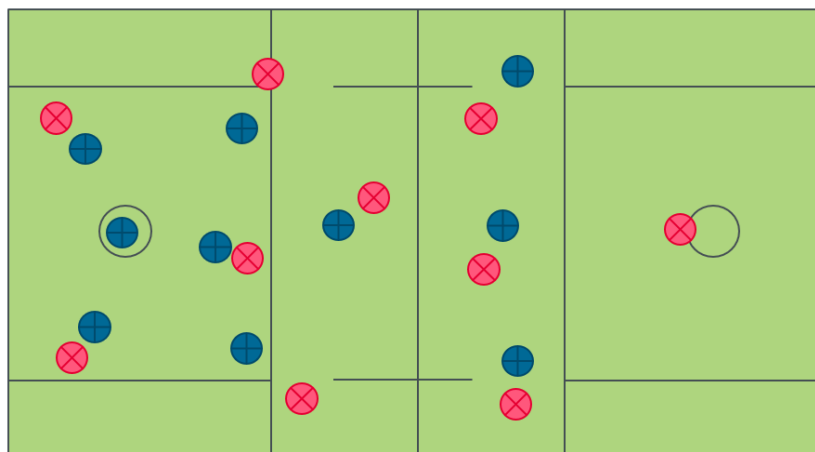


Ilustración 2 Campo de Lacrosse y su distribución

Fuente: Elaboración propia (2019)

El juego consiste en pasar la bola mediante un stick hasta introducirla en la portería. Existen diferentes tipos de stick según la posición de juego. Las componentes fundamentales son una vara metálica de 2 cm de diámetro, 1.2m de largo y una cesta en el extremo para pasar y tirar a portería. Se juega en un campo de 100 yardas de largo y 40 yardas de ancho. En la figura se puede apreciar que los jugadores tienen la protección de pecho debajo del uniforme.



Ilustración 3 Equipo Storm Lacrosse KITSC

Fuente: Elaboración propia (2019)

Se trata de un deporte de contacto con numerosas lesiones y que se denomina el más rápido sobre los pies. La pelota tiene un diámetro menor a 6 cm, pesa alrededor de 150 gramos y alcanza velocidades de más de 150 km/h. Es por eso por lo que todos los jugadores deben llevar guantes y casco, además es recomendable llevar protección de pecho, hombros y codos. El vestuario más habitual consiste en las protecciones ya mencionadas, zapatillas de deporte con tacos, y el equipamiento por encima de las protecciones. Las protecciones no son visibles para el resto de los jugadores y pueden estar directamente en contacto con el jugador.

Durante el lance del juego está permitido golpear al adversario con el stick y con el cuerpo. También se permite detener la bola con el cuerpo por lo que se recomienda tener protección en la caja torácica. La mayoría de las lesiones que se producen son de tren inferior y sin contacto con el rival, sin embargo, las más peligrosas son las de tren superior. Un impacto directo por un tiro en el tórax puede llegar a provocar un paro cardíaco.

2.2 Lesiones en Lacrosse, definición del problema de seguridad

A continuación, se presentan algunas conclusiones del estudio realizado por NCAA (National Collegiate Athletic Association)². El estudio extrae conclusiones de todas las lesiones que sucedieron entre la temporada 2009 y 2014. La liga americana de Lacrosse entre universidades se trata de la liga de mayor nivel en el mundo. Las lesiones sólo se han contemplado para el Lacrosse masculino ya que existen notables diferencias con el femenino. En el segundo no está permitido el contacto con otras jugadoras y no llevan protecciones. La muestra total es de 63 equipos, cada equipo compuesto por 25 jugadores.

- Las lesiones más habituales en el deporte son en las articulaciones por el siguiente orden: tobillo, rodilla, muñeca y hombro. Suponen más de un 35% del total.
- Las lesiones asociadas al tronco suponen casi el 20%.
- Las lesiones más severas suceden, por orden, en la rodilla, gemelo y hombro. Las lesiones severas de rodilla suponen un tercio de las lesiones totales, en este grupo destacan las lesiones de ligamentos cruzados.
- Las diagnósis más comunes son esguinces, torceduras y contusiones. Todas ellas con más de un 20% del total. Las contusiones están siempre asociadas a la caja torácica y la cabeza.
- Las lesiones específicas más comunes son las siguientes: esguince de tobillo, conmoción, desgarró del cuádriceps, torcedura en la rodilla y contusiones en el tórax.

2.3 La ergonomía en las protecciones

2.3.1 Movimiento

Se trata de un deporte que requiere una enorme habilidad con el stick, lo que establece un difícil compromiso entre la seguridad del jugador y la ergonomía de la equipación. Todos los componentes protectores se encuentran acolchados para asegurar la integridad del jugador, pero al mismo tiempo deben permitir que el jugador tenga una completa movilidad de sus extremidades superiores. Al tratarse de un juego tan rápido es igualmente necesario que el material de la equipación sea ligero y que no suponga un

² [ZACH15] Zachary Y. Kerr, The epidemiology's of NCAA men's lacrosse injuries, (2015)

lastre para el jugador. En el capítulo cuarto se estudia la optimización de las tallas de acuerdo a una muestra real tomada. La protección se debe ajustar lo mejor posible a todos los jugadores.

2.3.2 Peso

Realmente se trata de un punto relativamente sencillo. El jugador durante el tiempo de juego tiene varias protecciones puestas que aumentan la carga. Cualquier deporte supone un esfuerzo físico y el Lacrosse tiene como carga extra de dicho esfuerzo, llevar las protecciones deportivas. Cuanto menor sea el peso de las protecciones, más cómodo puede jugar el jugador. Por supuesto, siempre se debe mantener la función principal. El peso supone una de las características fundamentales de control en el estudio de los materiales en el capítulo sexto.

2.3.3 Transmisión de calor

Si bien se trata de una protección abierta, el jugador porta las protecciones al mismo tiempo que el uniforme del equipo. Una correcta transmisión de calor es necesaria para que la energía interna del jugador no aumente de forma considerable. Se trata de un punto que será estudiado en el capítulo quinto, diseño del aislamiento.

2.3.4 Transpiración

Al igual que el punto anterior se explicará en el mismo capítulo en profundidad. La transpiración es importante en el deporte para permitir que el sudor del jugador se libere a la atmósfera en forma de vapor y no se adhiera a la ropa. Además, en este deporte supone una característica fundamental, si normalmente los corredores evitan correr con camisetas que absorben el agua, en el Lacrosse también las protecciones absorben el sudor. Si la equipación al completo toma el sudor del jugador, toda la equipación podría llegar a ser realmente pesada y dificultaría mucho el juego. Los materiales serán seleccionados el capítulo sexto.

2.4 Introducción a las protecciones

Las protecciones están fabricadas con fibras sintéticas y espumas. La parte exterior es rígida y aporta el acabado final de la protección, no es impermeable, pero rechaza la absorción de agua. La parte interior es una espuma y se encuentra acolchada para frenar

el impacto. Por último, una zona más flexible y que se encuentra en contacto con la piel, se trata de una tela más delicada ya que se encuentra en la parte interior y no recibe ningún esfuerzo externo.

Las protecciones se cambian cada 3 años de media debido al desgaste que sufren. En las protecciones de pecho y hombro se deteriora el ajuste al cuerpo mientras que en los guantes las partes más dañadas son las palmas de los guantes debido al rozamiento con el stick. Cabe destacar que las protecciones no se gastan de forma uniforme, en el caso de las protecciones de pecho el ejemplo es muy evidente, el ajuste elástico se deteriora rápidamente mientras que en la zona protectora apenas se percibe el desgaste. Los precios medios de las protecciones son elevados, desde 80 euros por unos guantes hasta 70 euros por una protección de pecho.

En la imagen siguiente se puede ver toda la equipación habitual en un jugador de Lacrosse. La protección que se estudia es la superior derecha, es una protección de pecho y hombro. En el ejemplo, los ajustes son en el antebrazo y por encima de la cadera. Se pueden apreciar dos tiras grises con velcro en dichas zonas.

Sin embargo, en la misma imagen, se puede ver como los guantes usan una cuerda para afirmar el ajuste en vez de únicamente velcro. El velcro de los guantes no tiene una función de ajuste, sirve para tener una muñequera conectada al guante y que proteja de los golpes en la zona de la muñeca.



Ilustración 4 Equipamiento protector en Lacrosse

Fuente: Amazon, (2019)

2.5 Estudio comparativo del diseño conceptual

En este apartado se recogen los datos de las marcas más exitosas en el mercado deportivo del Lacrosse. No existe mucha variedad en el mercado internacional pues se trata de un deporte poco extendido. Los datos que se muestran en la siguiente tabla corresponden a 15 protecciones deportivas de nivel medio y alto. No se consideran las protecciones deportivas de iniciación, el objetivo de este proyecto es el diseño de un producto duradero. Se consideran algunas variables como el precio, numero de tallas, ajustes, materiales que utiliza... La información ha sido obtenida de las principales páginas web de las marcas. En el siguiente apartado se establecen las conclusiones obtenidas del mercado.

³	Precio	Peso	Modo de ajuste	Protección	Materiales	Nombre	Color	Bíceps pads
Epoch	80\$	3 tallas	Rib strap	Reinforced chest plate		Epoch iD	Blanco	Si
Epoch ⁴	100\$	3 tallas	Quick release	Easy straps defribillator	Carbón fiebre, moldeado por compresión, dual de sito foam	Integra Shoulder	Blanco	Si
STX	140\$	4 tallas		Sistema de protección articulado	Pecho flotante que rechaza el agua	Surgeon 700	Blanco	No
STX		4 tallas	Click y velcro	Piezas flotantes	He pro, high def polimer	STallion 500	Negro	Si
STX ⁵	110	4 tallas	Elástico, straps	Sistema para respirar, con o sin hombreras	Geoflex IIsp, flexible y ligero	Cell IV	Blanco	Si
Brine		3 tallas	Elástico y velcro	Con o sin hombreras		Clutch	Negro	Si
Brine ⁶		3 tallas	Elástico y velcro		Acabado poroso	Uprising II sp	Negro	Si

³ [SPOR18] Página web con equipamiento de Lacrosse <https://www.sportstop.com> (2018)

⁴ [EPOC18] Página web Tienda oficial de Epoch <https://www.epochlacrosse.com/epoch-id-shoulder-pad/> (2018)

⁵ [STXA18] Página web Tienda oficial de STX <https://www.stx.com/mens-lacrosse/gear/protective> (2018)

⁶ [WARR18] Página web Tienda oficial de Warrior <https://www.warrior.com/mens> (2018)

Under Armour ⁷	170\$	3 tallas	Elástico y velcro	Piezas flotantes y agujeros en la superficie, vent flex tech	Super lights exigir, new foam	UA VFT 2.0	Blanco	No
Warrior	120\$		Elástico y velcro dos	Sistemas para transpirar, agujeros	Hombreras bajas, impar Lyla foam	Evo	Blanco	Si
Warrior	50		Elástico y velcro	Sistemas para transpirar, agujeros	Esternón flotante con poliuretano, espuma con dos densidades	Burn	Blanco	Si
Warrior						Rabil	Negro	No
Maverick	90\$	2 tallas	Elástico y velcro		Lightweight y flexible	Max speed	Blanco	No
Maverick ⁸	120\$	2 tallas	Cinta y enganche, 4 cintas	Sistema para transpirar y agujeros	Paneles separables, portón xrd foam, secado rapido	Rome	Blanco	No
Nike ⁹	135\$	2 tallas	Elástico y velcro	Ventilación creada	Protección customizada para espina dorsal y pecho	Vapor elite	Blanco	No

⁷ [UNDE18] Página web tienda oficial de Under Armour <https://www.underarmour.es/es-es/> (2018)

⁸ [MAVE18] Página web tienda oficial de Mavericks <https://maveriklacrosse.com> (2018)

⁹ [NIKE18] Página web tienda oficial de Nike https://www.nike.com/us/en_us/c/lacrosse (2018)

2.6 Conclusiones del diseño conceptual

2.6.1 Mercado actual

Una vez analizado el mercado actual se percibe que los productos actuales tienen un periodo de uso muy reducido. Esto provoca tanto gastos en el equipo como desperdicio de materia prima. El proyecto plantea la posibilidad de incrementar el ciclo de vida de las protecciones. Las opciones que se plantean son la sustitución de piezas o el uso de materiales reciclados. Los materiales seleccionados se estudian más adelante en el cuarto capítulo de diseño.

También existen materiales que rechazan la humedad y que podrían ser implementados sólo en la goma elástica.

- Las hombreras reforzadas con poliuretano cubren la parte superior del hombro, no la lateral. Las lesiones son causadas normalmente por impacto lateral.
- Algunas protecciones añaden protección lateral para la parte superior del bíceps, se puede añadir o quitar de acuerdo con los gustos del jugador. No son rígidas, se encuentran flotando y pegadas al brazo, evitan hematomas causados por el stick de un jugador contrario. El uso ideal de esta parte es la combinación entre la parte reforzada del hombro y la parte superior del bíceps. Si bien la parte rígida no debería cubrir el bíceps y solo cubrir la cabeza del hombro.
- El sistema de ajuste es elástico. La mayoría usa un sistema goma elástica y velcro para aproximar al máximo la protección a la piel del jugador. Se usan por parejas un enganche en la parte superior de la cadera, pecho y bíceps. Que el enganche sea elástico permite que el jugador pueda usar una camisa interior si es necesario. De lo contrario si el ajuste es rígido no sería ideal y depende de la anatomía del jugador. Otros sistemas de ajuste al cuerpo es una geometría flexible o distintas piezas unidas mediante una cinta elástica fija. Sin embargo, esto provoca una línea divisoria entre dos superficies protectoras que desprotege al jugador.
- Las medidas como se ha comentado en el punto anterior son en la cadera, pecho y bíceps. Estas medidas son las medidas fundamentales que se utilizan para determinar la talla. El

ajuste debe ser especialmente adecuado en estas zonas, son zonas fijas con poco movimiento y que permiten al jugador mucho movimiento.

- Los materiales más utilizados son espumas con uso protector y poliuretano para añadir piezas con mayor rigidez, también por motivos de seguridad. Los puntos que necesitan piezas más rígidas son el esternón y los hombros. Un impacto en el esternón puede provocar la muerte y las lesiones de hombro son las más comunes en el tren superior.
- Existen diferentes canales de ventilación a lo largo de la protección que permiten aumentar la corriente entre la piel del jugador e incrementan la ventilación. Además, numerosas protecciones incluyen materiales porosos o diseños con agujeros para aumentar la transpiración.
- También existen diferentes canales para dotar a la armadura de flexibilidad y que no sea una estructura rígida. Las protecciones tienen una superficie muy irregular, generalmente dividida en rombos o triángulos que no suponen una disminución de la seguridad, pero aumentan la adaptabilidad.
- El color de la protección es puramente estético, sin embargo, afecta a su comportamiento con la radiación del medio. Realmente, las protecciones más vendidas tienen color blanco o negro para que la protección no tenga contraste con el uniforme del equipo.
- Cada empresa ha definido su propia espuma para su armadura. Son materiales ligeros, flexibles y fáciles de cortar. Buscan reducir el ancho de la espuma al máximo sin perder su rasgo protector. Se tratan de espumas deportivas que las marcas usan aplicaciones con muy diversas desde raquetas de pádel hasta suelas de zapatos.

2.7 Conclusiones

En el capítulo anterior se ha explicado brevemente en que consiste el Lacrosse, las lesiones y los impactos más comunes que tienen lugar en el campo. Se ha analizado el estudio de la NCAA sobre las lesiones más comunes y se ha prestado especial atención a la ergonomía en la protección. Se ha realizado un estudio comparativo de las soluciones que ofrece el mercado y extraído sus correspondientes soluciones. En el siguiente capítulo se define el

diseño conceptual, se realizan análisis mecánicos y se busca incrementar la vida útil del producto.

3 Diseño I: Equipamiento deportivo

En el apartado anterior se realiza el primer contacto con el Lacrosse y se definen algunas de las características fundamentales a través de un estudio de mercado o un análisis por un impacto. Al tratarse de una protección deportiva se ha considerado realizar una pequeña investigación sobre el diseño deportivo para poder realizar a cabo la invención desde un método empírico. Se tendrán en cuenta conceptos como su fabricación, la ergonomía, sus materiales de fabricación y su diseño conceptual. Se concluyen con las características que se van a implementar en este proyecto.

3.1 Diseño para la fabricación y ergonomía

El diseño de la ropa deportiva tiene un proceso como el cual se visualiza en la siguiente ilustración. Primero se debe seleccionar un mercado y unos objetivos. En este caso el estudio de mercado se encuentra al final del capítulo y del cual se extraen unas conclusiones y objetivos. Una vez se ha establecido el diseño conceptual el diseño comienza el proceso iterativo. Este ciclo establece primero la selección de material, diseño y corte del material, análisis de diseño, evaluación del diseño y producto final.

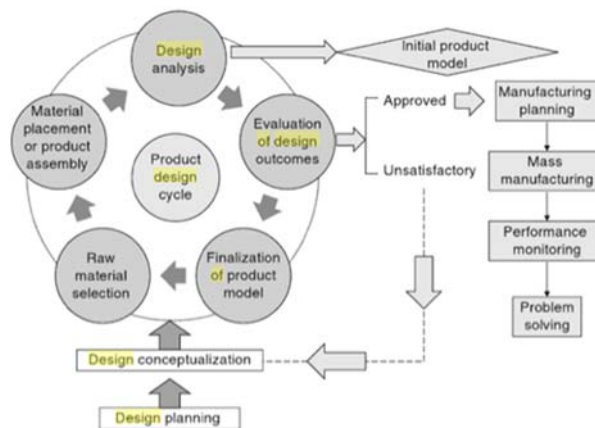


Ilustración 5 Ejemplo de diseño conceptual de una prenda deportiva

Fuente: Simone Schleifer, Sport Design (2004)

En este proyecto el ciclo varía ligeramente. Ya que el presupuesto no permite la selección de materiales y usar prueba-error. Se deben seleccionar los materiales empíricamente y conceptualizar su diseño sin el proceso de fabricación. Se ha tomado una muestra de un equipo de Lacrosse, se han tomado medidas físicas, pero también la cantidad de sudor evaporado durante un entrenamiento.

Dada la importancia de movilidad en el juego, se trata de un diseño enfocado a la ergonomía del jugador. Pero la ergonomía no solo hace referencia a la movilidad del jugador, también al confort térmico. Por último, se incrementa la importancia del ciclo de vida del producto, no solo se busca aumentar su uso útil mediante su diseño conceptual, sino que también desde una selección de materiales inteligente y respetuosa con el medio ambiente.

Se debe diferenciar el diseño conceptual del diseño analítico, mientras que en el primero se busca generar idea para encontrar una solución óptima a un problema. El diseño analítico lleva a cabo estudios para satisfacer las características y conceptos establecidos. Un ejemplo claro sería la elección de una espuma según el volumen, precio y facilidad para ser cortada sin tener en cuenta sus características mecánicas. Es decir, si cumplirá su función protectora contra un impacto.

3.2 Selección de materiales: introducción a las fibras

La eficacia de la fibra usada está caracterizada al menos por 6 parámetros: diámetro de la fibra, módulo elástico, estructura del tejido y tratamiento, características térmicas, densidad, impermeabilidad, permeabilidad del aire y contacto.

Densidad y espacio entre las Fibras: en ropa deportiva se busca que el diámetro de las fibras sea reducido, esto permite flexibilidad para alcanzar superficies más grandes con la misma cantidad de material. Es fundamental que la densidad sea reducida para que el peso de la protección sea lo más bajo posible.

Contacto: como se ha mencionado anteriores, el contacto con la piel es fundamental y existen materiales cuyo contacto con el cuerpo es mayor. Esto no se trata de una característica del material, sino que se trata de una propiedad de la estructura del tejido. Tiene menor importancia que el punto anterior.

Estructura del tejido y tratamiento: existe un gran contraste entre las fibras sintéticas y su capacidad de absorción de humedad. La absorción o no absorción de la humedad es fundamental, determina en que zona de la protección se localiza el agua o el sudor que se absorbe. Si bien en este proyecto existen tres posibilidades, en la fibra exterior, espuma interior o el material que está en contacto con la piel.

Impermeabilidad: hace años se utilizaban tejidos que absorbieran la humedad y que en épocas con mucho calor gracias a la humedad relativa la sensación térmica no fuera tan

grande. Sin embargo, en la actualidad las fibras sintéticas que rechazan el agua han obtenido más valor reduciendo así algunas de las complicaciones que suponían los primeros materiales para el completo secado de estas. Se debe diferenciar entre absorción de agua y permeabilidad, un material puede ser completamente permeable y dejar pasar el agua a través de este, pero no retenerla.

Módulo elástico: la fibra debe ser lo suficientemente elástica para permitir al jugador ponerse la protección y debe ser lo suficientemente rígida para que no se deforme durante el juego o con el tiempo.

Características térmicas: se refiere principalmente a las fibras que actúan como aislantes. Las fibras deportivas de invierno deben impedir la transferencia de calor mientras que en verano la transferencia de calor debe ser máxima. Cuando la prenda tiene uso a lo largo del año se debe encontrar un equilibrio.

Existen algunas características de la ropa especialmente aplicadas a los deportes, tales como la aerodinámica. Interesa que la superficie de la protección sea lo menor posible para que el drag sea menor y la velocidad del jugador mayor. Los materiales que se van a utilizar son fibras sintéticas, están compuestas principalmente de plásticos y por tanto resultan muy interesantes desde el ciclo de vida, su posible reciclado o reutilizado. Se tratan de materiales tanto ligeros como flexibles, perfectos para una aplicación deportiva.

A continuación, se presentan algunas tablas que se considerarán para el diseño del producto:

3.3 Energía de una bola de Lacrosse:

Las pelotas de Lacrosse tienen un peso entre 140 y 150 gramos, un diámetro un poco superior a 6 cm y están compuestas fundamentalmente por goma en un 65%. La velocidad máxima alcanzada por una pelota de Lacrosse es algo menor a 180 km/h. Se trata de una velocidad punta y de un récord, la velocidad media de jugadores profesionales no supera los 120 km/h. La energía cinética de una bola de Lacrosse se calcula para una velocidad de 150 km/h.

La energía que absorbe la protección no es toda la energía de la pelota, ya que la pelota sigue teniendo energía cinética cuando sale rebotada. Existe un ensayo que consiste en dejar

caer una pelota de Lacrosse desde una altura de 1.8 m. La altura después del rebote en el suelo depende del suelo y su capacidad de absorción de energía, normalmente entre 1.1 y 1.3 m, es decir, conserva casi el 70% de la energía.

Se calcula el coeficiente de restitución mediante los datos anteriores. Dicho coeficiente es la medida de elasticidad de una colisión. Se define como el cociente entre las velocidades relativas de los cuerpos final e inicial. Considerando que el jugador no modifica su velocidad el coeficiente será igual al valor absoluto de la velocidad final entre la velocidad inicial. Cuanto mayor sea el coeficiente y más cercano a la unidad, más elástica será la colisión.

El impacto entre la pelota y la protección se define como colisión¹⁰ es decir, una interacción fuerte entre dos cuerpos durante un breve periodo de tiempo. A la hora de analizar una colisión se aísla el sistema y solo se tienen en cuenta las fuerzas que actúan en el sistema, fuerzas de interacción. Dichas fuerzas son iguales y opuestas, además el momento lineal total del sistema permanece igual. En otras palabras, el momento del sistema en el instante inicial es igual al instante inmediato después de la colisión. La energía cinética de la pelota y del jugador no es la misma después del impacto por lo que se trata de un choque inelástico.

Las fuerzas que se ejercen duran un instante de tiempo y se denominan fuerzas impulsivas. El módulo de la fuerza se asemeja a la imagen, parte de cero (t inicial), alcanza un máximo y vuelve a tener un valor nulo (t final). El intervalo de tiempo se denomina Δt y es igual al tiempo final menos el inicial.

El impulso se define como la integral de la fuerza ejercida entre el tiempo inicial y final. El impulso mide la intensidad y la duración de la fuerza de colisión. La unidad es el Newton por segundo.

$$\vec{I} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt \quad [3.1]$$

¹⁰ [TIPL08] Tipler, Paul; Mosca, Gene, Física para la ciencia y la tecnología, (2008)

Se considera la colisión lineal y existe sólo componente x de la fuerza. El área de la curva F_x está en función del tiempo y sirve para calcular la fuerza media. Se calcula mediante el área de la curva inicial y dejando constante la base de la gráfica, es decir, el instante inicial y final. La nueva altura obtenida será la fuerza media del impulso. Por tanto, obtenemos que el impulso también es igual a la fuerza media por el intervalo de tiempo.

$$\overrightarrow{P}_{sist} = \sum_i m_i \cdot \vec{v}_i = \sum_i \vec{p}_i \quad [3.2]$$

Se busca calcular la fuerza media que ejerce la prologa sobre la protección. Para ello se desprecian las otras posibles fuerzas, como el rozamiento, que interfieran en el sistema ya que son mucho menores que una gran fuerza puntual. Después se calcula el impulso del objeto como cambio de momento lineal del objeto, será igual al cambio de velocidad por la masa.

$$\overrightarrow{P}_{sist} = \sum_i m_i \cdot \vec{v}_i = \sum_i \vec{p}_i \quad [3.3]$$

El peso de la pelota es conocido y el cambio de velocidad se puede obtener mediante un velocímetro o a partir del tiempo de colisión y su desplazamiento examinando un vídeo a cámara lenta. Posteriormente se necesitan los datos obtenidos de forma experimental para calcular el intervalo de tiempo. Por último, la fuerza media será igual al impulso entre el intervalo de tiempo de la colisión.

$$\vec{I}[N \cdot s] = \overrightarrow{F}_m \cdot \Delta t \quad [3.4]$$

Una vez tengamos la fuerza media que se ejerce sobre el jugador y gracias al principio de conservación de masa se debe saber el impacto que debe amortiguar la protección.

Se realiza una medida de velocidad después de que la pelota impacte una armadura de Lacrosse en un maniquí. Solo se dispone de un velocímetro así que se usa para medir la velocidad de salida al mismo tiempo que se hace el vídeo para saber el intervalo de tiempo. Se busca que la velocidad inicial de la bola sea 100 km/h mediante unos ejercicios anteriores. El tiempo de impacto es difícil de medir rigurosamente en el vídeo a cámara

lenta, aproximadamente 60 ms. La velocidad de salida después de un impacto en la armadura depende de la zona de impacto. Si se trata de una zona con plásticos duros, la dirección puede cambiar radicalmente. Después de realizar varios tiros en la zona de ensayo se determina una velocidad media de 30 m/s. Se calcula el impulso como la diferencia de cantidad de movimiento y la fuerza media dividiendo el resultado entre la diferencia de tiempo.

$$I [\text{Newton} \cdot \text{segundo}] = P_{\text{sis}} = m_f \cdot v_f - m_i \cdot v_i \quad [3.5]$$

$$F_m [N] = \frac{I}{\Delta t} \quad [3.6]$$

El resultado es igual a 175 N. La diferencia energética de la bola antes y después de impactar es 682.5 Julios. Además, otro cálculo interesante para el diseño de la protección es la presión que ejerce la pelota de Lacrosse. Conocida la fuerza de la pelota, es necesario conocer la superficie de la pelota durante el impacto.

Para lo cual se observa el impacto de una pelota de Lacrosse en un jugador, y se aprecia que la marca es menor al diámetro máximo de la pelota. Se asume que el diámetro de la marca es aproximadamente 5 cm sobre los 6 cm. La superficie sin embargo no se puede calcular como un círculo con ese diámetro pues la protección se deforma. La superficie será igual a la fracción de la esfera hasta que llega a tener un círculo cuyo diámetro es 5 cm. Se calcula el área del casquete esférico, que viene dada por la siguiente fórmula:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h \quad [3.7]$$

Se calcula h mediante el teorema del seno y se obtiene un valor exacto de 3. El área es igual a 113 cm² y la presión es 15,47 kPa.

3.4 Sustitución de piezas:

Este problema está relacionado con las piezas que tienen más desgaste. Las piezas con más desgaste son las partes elásticas y el velcro. El ajuste manual permite una gran flexibilidad para ajustar cada vez la protección a la anatomía, sin embargo, el uso del velcro en un

ambiente húmedo provoca un desgaste acelerado. Además, la goma elástica se deteriora y deja de cumplir su función de ajuste.

La solución que se sugiere es el uso de un elástico con velcro o sistema de ajuste que no forme parte de la protección, es decir, que se puede sustituir una vez haya dejado de cumplir su función o cuando se desee. Al realizar la compra de la armadura estará incluida una pieza extra para que el jugador lo utilice cuando sea necesario.

En el caso de los guantes de la equipación existen cuerdas para ajustar el guante a la muñeca del jugador, incluyen piezas de sustitución y su ajuste es satisfactorio. Lamentablemente, la pieza extra se utiliza de forma poco habitual ya que los guantes suelen romperse antes de necesitar un nuevo sistema de ajuste. En este caso, la pieza que se deteriora en primer caso es irremplazable ya que se trata del propio guante.

Por supuesto, una pieza extra que no es fija al resto de la armadura supone una pieza extra y posibilidad de pérdida o mal uso.

3.5 Incrementar el ciclo de vida del producto

La intención de este proyecto es crear una protección de calidad cuyo ciclo de vida aumente, al mismo tiempo que cumpla y mejore su función protectora. Siempre teniendo en cuenta la ergonomía del jugador.

Los fallos iniciales son en este caso, la mala elección de la talla o un error en fabricación. Este proyecto no profundiza en los métodos de fabricación, sin embargo. En el siguiente capítulo solo con tres medidas se realiza un estudio que puede asegurar que la talla escogida es la correcta. Además, siendo el Lacrosse un deporte mayoritario en el continente americano que no tiene tiendas físicas en Europa facilitaría al comprador europeo la elección de talla y por tanto incrementar la satisfacción del cliente.

Por último, el declive de la protección. Como se ha comentado anteriormente el motivo por el cual se decide que la protección ha perdido su función y se encuentra en su fase de declive es que el velcro no agarra o que el elástico del velcro se ha estirado y la protección esta suelta. Se puede considerar la curva que determina la vida de un producto es una bañera. De este modo si se busca aumentar su vida útil se debe reducir los fallos iniciales y su desgaste al final. La solución que se presenta son piezas de sustitución. Si bien es cierto que a priori se trata de una pérdida económica, se trata del caso completamente contrario.

La pieza de sustitución tiene un precio muy reducido para su precio de venta en el mercado. De esa forma el margen de beneficio por cada pieza vendida sería muy superior al margen en la protección de pecho. Además de lo que supone para una firma dar la posibilidad al cliente de alargar su producto y mejorar su imagen de cara al mercado.

Por último, la estrategia de incrementar el ciclo de vida del producto con materiales reciclados además de reducir los costes de fabricación también mejora la imagen de la firma de cara al mercado como un producto sostenible y de largo plazo.

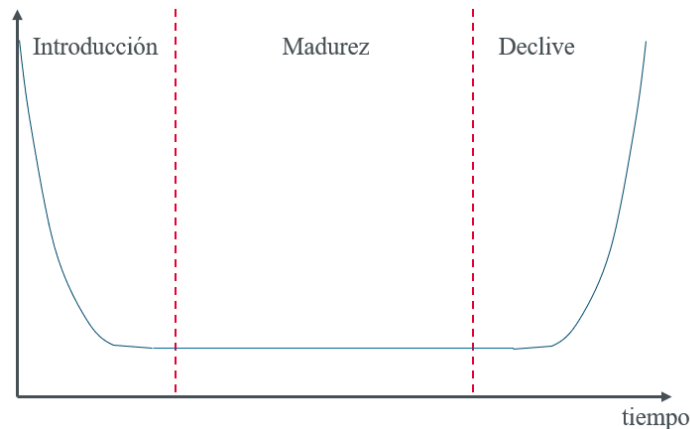


Ilustración 6 Esquema estándar de la vida de un producto y su número de fallos

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.6 Conclusiones del diseño conceptual

3.6.1 Aplicación en el proyecto

- La zona rígida de la protección va a cubrir la parte superior del hombro hasta el inicio del bíceps. Se usa una pieza única que busca reducir el impacto lateral a la cabeza del hombro. Busca evitar posibles dislocaciones de hombro o fracturas de clavícula.
- El sistema de ajuste es elástico puesto que permite una adaptabilidad mucho mayor, sin embargo, las tiras de velcro no constituyen parte de la protección. En la siguiente ilustración se pueden ver el tipo de tiras de velcro que se sugieren. Puesto que el elástico pierde su uso a lo largo del tiempo, se sugiere que la protección tenga una abertura alargada para introducir la tira y que se puede intercambiar sin dificultad. El ajuste de la tira a la armadura también es por velcro. Esto permite incrementar de forma radical el ciclo de vida del producto, ya que el 100% de las armaduras usadas que se desechan tienen el elástico desgastado.



Ilustración 7 Tiras de velcro independientes

Fuente: Amazon, (2019)

- Para optimizar el ajuste de la armadura se ha tomado una muestra en un equipo de Lacrosse de las medidas en los puntos ya mencionados. En el capítulo cuarto se busca obtener el mejor ajuste para la muestra en dichas medidas. Se va a realizar un proceso iterativo mediante clústeres para que las medidas fundamentales se ajusten correctamente a todos los jugadores.
- En el tercer capítulo del diseño se seleccionan distintos materiales en función de su aplicación. Entre los cuales se selecciona un material rígido para las zonas desprotegidas y una espuma para absorber la energía de los impactos. También es importante considerar las uniones entre dichos materiales y que se puedan confeccionar telas.
- Se presta atención al comportamiento de la protección con la transferencia de calor del cuerpo humano y su transpiración. Permitir la permeabilidad en el material que está en contacto con la piel, sin embargo, reducir la permeabilidad del material exterior para que la lluvia no penetre en la armadura. Por este motivo, hace pensar que el sudor evaporado se va a acumular dentro de la protección; el material interior debe ser capaz de almacenar humedad sin adquirir olor.

3.7 Conclusiones

En este capítulo se presta atención al nuevo diseño conceptual y como se va a implementar en la protección, sus ventajas frente al antiguo concepto. Se calcula la energía de un disparo y se define la presión que debe soportar la protección en un impulso. También se realizó un cálculo simplificado de la presión que aplica una pelota de Lacrosse sobre la protección. Se han sustituido las piezas de alto desgaste como los elásticos por cuerdas o cordones, permitiendo aumentar así el ciclo de vida del producto. Por último, se describe la estrategia

de mercado y su posibilidad de incrementar la vida del producto. En el siguiente capítulo se obtiene de forma analítica las medidas de las protecciones para obtener el máximo ajuste y ergonomía.

4 Diseño II: Tallas y partes

En el capítulo anterior se define la función de la protección, el impacto que debe poder recibir, su movilidad y como es su uso dentro del juego. También se ha prestado atención en el nuevo diseño conceptual de la protección y como aumentar su vida útil. En esta parte del trabajo, se realiza un nuevo ajuste prestando atención a determinar las tallas e incrementar la movilidad del jugador. Se realiza dicho análisis mediante recursos estadísticos y de optimización.

4.1 Medidas, tallas

Para el diseño de la protección se van a realizar medidas corporales de un equipo de Lacrosse; Storm Lacrosse KITSC. Las medidas fundamentales serán el ancho en el pecho, la longitud del hombro y el ancho en el brazo, dichas longitudes son necesarias para la correcta adaptación del equipo a la superficie del cuerpo y permitir flexibilidad al jugador.

Todas las medidas se van a realizar con una cinta flexible y con el cuerpo relajado. Las medidas son aproximadas al número entero más cercano.

- El ancho de pecho consiste en rodear la superficie del pecho en la parte superior del mismo, justo debajo de la axila. Al encontrar ambos extremos de la cinta obtenemos la medida.
- La longitud de hombros se mide desde el extremo de un hombro hasta el final del contrario, se mide por la parte trasera de la espalda.
- El ancho del brazo se mide a la altura del bíceps, en el máximo perímetro de este, se recorre el contorno exterior del mismo hasta juntar ambos extremos de la cinta.

Una vez tomadas todas las medidas se realiza un sencillo estudio estadístico para determinar la dimensión media de la protección y asegurar que se ajuste a la mayoría de los jugadores. Las zonas que se deben proteger son las zonas vitales críticas que se encuentran en el tórax, la protección.

4.1.1 Optimización y MNLP

El tallaje de la protección es una variable fundamental ya que se trata de una prenda que debe estar ajustada al cuerpo y permitir la movilidad del jugador. Las siguientes medidas son las que determinan según las grandes marcar la talla del jugador. Para definir los diferentes tallajes de la prenda se han llevado a cabo 30 muestras de las variables que se enumeran a continuación:

- Ancho del pecho
- Longitud del brazo
- Ancho del brazo
- Altura
- Peso

Además de estas variables también existen variables ficticias derivadas de las muestras tomadas:

- Superficie total del cuerpo
- Superficie del pecho
- Superficie de la espalda

La muestra ha sido tomada en las mismas condiciones y con el mismo equipo a un equipo de Lacrosse.

Se quiere realizar un problema de optimización para encontrar los tallajes que más se adaptan a la población. Se van a definir tres tallas distintas y tres grupos dentro de la población. Al final del problema se espera que todo jugador tenga una talla adecuada para sus dimensiones, que la diferencia entre sus medidas y las medidas de la talla sea mínima. Se deberá encontrar la variable principal que tiene mayor importancia para la elección de talla.

Desarrollo del problema de optimización:

$$i = \{1, 2, \dots, 29, 30\}$$

$$j = \{1, 2, \dots, 7, 8\}$$

$$k = \{S, M, L\}$$

X_{ij} – Medida tomada del individuo i para la variable j

Y_{kj} – Medidas estándar de la talla k para la variable j

C_{ik} – Variable binaria que decide si el individuo i usa la talla j

$$\min \sum_{ijk} (Y_{kj} - X_{ij})^2 \cdot C_{ik} \quad [4.1]$$

$$\sum_{ik} C_{ik} = 1 \quad \forall k \quad [4.2]$$

Se trata de una ecuación de minimización que busca reducir la diferencia entre las medidas estándar de la talla y las medidas de un individuo. La variable binaria evita que una persona tenga más de una talla y que la talla sea la misma para todas las medidas.

Se resuelve la ecuación mediante un programa basado en GAMS (General Algebraic Modelling System). Sirve para el modelado de ecuaciones y su optimización. Este problema es no lineal porque se usa el cuadrado de las diferencias para anular el signo.

4.1.2 Algoritmo de Lloyd

También conocido con la Iteración de Voronoi. Dados unos subespacios, consiste en encontrar un conjunto de puntos que se encuentran a distancias euclídeas en sus particiones. De forma más sencilla, se trata de un algoritmo de clústeres que divide en k-medias. Mediante varias iteraciones, sitúa las medias ficticias en la muestra de datos hasta obtener el menor error. Una de sus aplicaciones en la ingeniería es el mallado de piezas en programas de elementos finitos.

Se trata de un enfoque muy similar a la optimización que se realizó en el punto anterior. El problema en este caso busca una solución gráfica en vez de matemática. Su complejidad es muy elevada a partir de dos dimensiones y por eso es muy común el uso del método aproximado. Para este problema se introducen las muestras tomadas e independientes. Se omiten las muestras dependientes (superficie total y específicas) puesto que la relación en las variables dependientes se conserva y carecen de relevancia.

La siguiente imagen es una representación de grupos de Voronoi. Cada polígono irregular cerrado es un clúster y cada punto se denomina centroide. Existe un centroide por cada grupo y debe ser el punto con menor distancia al resto de puntos dentro del clúster.

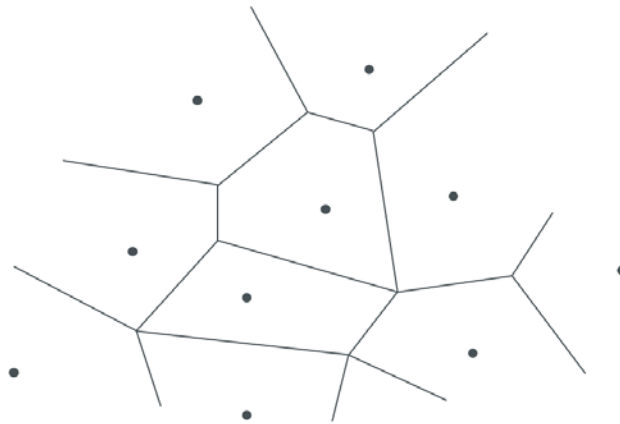


Ilustración 8 Ejemplo gráfico de la iteración de Voronoi

Fuente: Elaboración propia (2019)

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del algoritmo. Se trata de un proceso iterativo hasta que el programa converja. Se parte de unos centroides iniciales y mediante clasificaciones en diferentes grupos se busca minimizar la distancia en el grupo. El algoritmo busca minimizar la diferencia de distancias entre la nueva y vieja disposición. Una vez la distancia es mínima y el algoritmo ha convergido se trata de una distribución estable.

Durante el proceso iterativo los puntos que componen cada clúster saltan a otro grupo para intentar minimizar la distancia, de esa forma, otra manera de considerar que la distribución es estable es que todos los puntos o medidas de jugadores para este caso, se encuentran en su clúster correspondiente. La determinación del centroide viene dada por los puntos que componen el clúster.

Para la aplicación del proyecto, el centroide de los grupos se presenta el Tabla 1. Se trata de las medidas estándar de cada talla. En este caso el programa no es bidimensional como en la imagen del ejemplo. Existen tantas dimensiones como variables, en este caso 5.

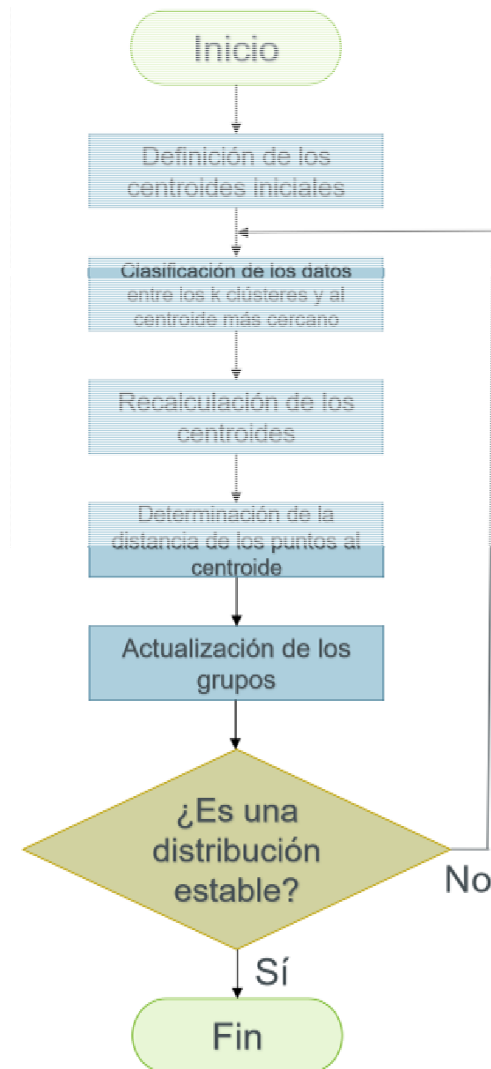


Ilustración 9 Diagrama de flujo de la Iteración de Voronoi

Fuente: Elaboración propia (2018)

Se ejecuta el algoritmo exacto desde un fichero abierto y se obtienen las tallas S, M y L de la muestra tomada. Se presentan a continuación:

	Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
S	97,71	43,57	29,86	169,43	69,71
M	103,62	45,08	34,15	179,62	74,15
L	109,30	47,90	36,90	186,40	88,70

Table 1 Medidas optimizadas de las tallas

Mediante las muestras independientes se calcula los valores de superficie que se presentan a continuación. Gracias a estos valores se puede calcular la superficie de contacto y su transmisión de calor, al mismo tiempo que el material necesario por cada tallaje.

	Superficie total [m ²]	Superficie pecho [m ²]	Superficie espalda [m ²]
S	1,80	0,26	0,25
M	1,93	0,28	0,27
L	2,14	0,31	0,30

Table 2 Superficies optimizadas de las tallas

Las medidas obtenidas establecen la talla media para cada grupo establecido. Los jugadores han sido divididos en las correspondientes tallas. Dado que la población se distribuye por la distribución normal, el grupo central es mayor que los otros dos grupos. Los grupos se distribuyen como a continuación:

		Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
Philip	Jugador 6	98	44	30	174	70
Sanchez	Jugador 10	96	42	28	170	76
Diaz	Jugador 15	97	44	30	169	73
Oti	Jugador 19	96	43	29	168	65
Dennis	Jugador 21	99	43	30	169	73
Luke	Jugador 23	98	43	31	170	66
Ege	Jugador 30	100	46	31	166	65
S		97,71	43,57	29,86	169,43	69,71

Table 3 Muestras de la talla S

El tallaje S es el grupo más reducido con solo 7 jugadores del total. El resultado tiene coherencia puesto que se trata de un deporte de contacto y los jugadores suelen ser corpulentos. En la siguiente tabla se relaciona la medida del jugador con la medida de la talla y se calcula porcentualmente la diferencia con su tallaje. Cabe destacar que hay valores positivos y negativos, pero para calcular la media de desviación se ha realizado el valor absoluto de las desviaciones. De lo contrario la media de las desviaciones es cero, ya que el algoritmo ha optimizado esas diferencias. Si la media de las desviaciones no fuera nula, significaría que el algoritmo no ha convergido y los resultados son erróneos.

		Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
Philip	Jugador 6	0,29%	0,98%	0,48%	2,70%	0,41%
Sanchez	Jugador 10	1,75%	3,61%	6,22%	0,34%	9,02%
Diaz	Jugador 15	0,73%	0,98%	0,48%	0,25%	4,71%
Oti	Jugador 19	1,75%	1,31%	2,87%	0,84%	6,76%
Dennis	Jugador 21	1,32%	1,31%	0,48%	0,25%	4,71%
Luke	Jugador 23	0,29%	1,31%	3,83%	0,34%	5,33%
Ege	Jugador 30	2,34%	5,57%	3,83%	2,02%	6,76%
Media de desviación		1,21%	2,15%	2,60%	0,96%	5,39%

Table 4 Desviaciones de las muestras de la talla S

Por último, gracias a este valor se puede contrastar que el peso no es una variable fundamental para calcular el tallaje. Su desviación es muy superior al resto de las medidas y carece de relevancia. Este resultado es importante porque para realizar el cálculo de la superficie (variable dependiente) se toma la altura y el peso del jugador. Por otra parte, si se compara la importancia de la altura y del peso en la fórmula de cálculo de la superficie corporal total. Se aprecia que la altura es un orden de magnitud más importante que el peso debido al exponente y a las unidades de la fórmula. Por tanto, se concluye que la altura es la variable fundamental para determinar tanto la talla como la superficie del jugador.

El segundo grupo como se comentó anteriormente es el más numeroso con 13 personas.

		Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
Nikli	Jugador 4	110	48	36	187	76
Julius	Jugador 5	100	46	32	176	73
Jorge	Jugador 7	102	43	34	178	71
Beni	Jugador 8	103	44	34	179	73
Spoden	Jugador 9	100	44	32	177	76
Stash	Jugador 12	103	45	33	178	78
Felix	Jugador 17	105	45	36	184	78
Viktor	Jugador 18	103	45	35	182	74
Thim	Jugador 22	106	45	35	181	76
Tobi	Jugador 24	103	45	33	175	73
Malte	Jugador 25	105	46	35	180	78
Rafa	Jugador 27	102	43	34	182	63
Fabi	Jugador 28	105	47	35	176	75
M		103,62	45,08	34,15	179,62	74,15

Table 5 Muestras de la talla M

Al igual que en el grupo anterior, la altura del grupo M también es de mayor relevancia que el resto de los parámetros y el peso la menor.

		Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
Nikli	Jugador 4	6,16%	6,48%	5,41%	4,11%	2,49%
Julius	Jugador 5	3,49%	2,05%	6,31%	2,01%	1,56%
Jorge	Jugador 7	1,56%	4,61%	0,45%	0,90%	4,25%
Beni	Jugador 8	0,59%	2,39%	0,45%	0,34%	1,56%
Spoden	Jugador 9	3,49%	2,39%	6,31%	1,46%	2,49%
Stash	Jugador 12	0,59%	0,17%	3,38%	0,90%	5,19%
Felix	Jugador 17	1,34%	0,17%	5,41%	2,44%	5,19%
Viktor	Jugador 18	0,59%	0,17%	2,48%	1,33%	0,21%
Thim	Jugador 22	2,30%	0,17%	2,48%	0,77%	2,49%
Tobi	Jugador 24	0,59%	0,17%	3,38%	2,57%	1,56%
Malte	Jugador 25	1,34%	2,05%	2,48%	0,21%	5,19%
Rafa	Jugador 27	1,56%	4,61%	0,45%	1,33%	15,04%
Fabi	Jugador 28	1,34%	4,27%	2,48%	2,01%	1,14%
Media de desviación		1,92%	2,28%	3,19%	1,57%	3,72%

Table 6 Desviaciones de las muestras de la talla M

Por último, la talla L tiene 10 jugadores en el grupo:

		Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
Pomme	Jugador 1	115	49	39	192	92
Chris	Jugador 2	111	49	37	191	87
Pietrik	Jugador 3	108	49	36	182	87
Pollak	Jugador 11	110	47	36	189	83
Hendrick	Jugador 13	104	46	34	186	92
Hassberg	Jugador 14	108	48	37	188	79
Sebi	Jugador 16	107	46	38	185	82
Gilde	Jugador 20	112	49	39	183	98
Jakob	Jugador 26	106	47	35	181	85
Pascal	Jugador 29	112	49	38	187	102
L		109,30	47,90	36,90	186,40	88,70

Table 7 Muestras de la talla L

Se confirma la hipótesis por segunda vez, que el peso es una variable que no determina la talla del jugador. Mientras que la altura es un factor fundamental y altamente relacionado con la talla. Como conclusión se podría extraer que conocida la altura del jugador se puede determinar su talla en las protecciones deportivas de pecho.

		Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
Pomme	Jugador 1	5,22%	2,30%	5,69%	3,00%	3,72%
Chris	Jugador 2	1,56%	2,30%	0,27%	2,47%	1,92%
Pietrik	Jugador 3	1,19%	2,30%	2,44%	2,36%	1,92%
Pollak	Jugador 11	0,64%	1,88%	2,44%	1,39%	6,43%
Hendrick	Jugador 13	4,85%	3,97%	7,86%	0,21%	3,72%
Hassberg	Jugador 14	1,19%	0,21%	0,27%	0,86%	10,94%
Sebi	Jugador 16	2,10%	3,97%	2,98%	0,75%	7,55%
Gilde	Jugador 20	2,47%	2,30%	5,69%	1,82%	10,48%
Jakob	Jugador 26	3,02%	1,88%	5,15%	2,90%	4,17%
Pascal	Jugador 29	2,47%	2,30%	2,98%	0,32%	14,99%
Media de desviación		1,90%	1,80%	2,75%	1,24%	5,06%

Table 8 Desviaciones de las muestras de la talla L

Al comparar la desviación entre las tallas, no se puede apreciar una diferencia sustancial entre ellas. Es decir, aunque existan outliers, la desviación en el tallaje central es similar a la desviación en el tallaje pequeño o grande.

Como conclusión se plantea la hipótesis de decidir solo por la altura la talla del jugador. Si es cierta los jugadores deberían seguir con la misma talla solo cribando por la altura. De la misma forma, los jugadores con menor desviación respecto a su talla deberían tener una altura muy similar a la estándar.

Una vez se realiza la agrupación solo considerando la altura se observa que hay cuatro jugadores que no están en su clúster inicial. Lo que representa casi el 15% de la muestra. Por tanto, no se puede determinar el tallaje solo por la altura del jugador. Las otras medidas (pecho, hombro o brazo) son fundamentales para determinar su talla.

De la misma forma, se ha marcado en naranja suave en cada tabla el jugador que mejor representa la talla o el grupo y su altura no es la variable con menor desviación, sino todo lo contrario.

4.2 Conclusiones

Se han obtenido las dimensiones más favorables para los tres grupos de forma que la armadura se ajuste lo mejor posible a la muestra. En el siguiente capítulo se determinan las formas de transferencia de calor en el cuerpo humano y los requisitos que van a necesitar los materiales de la protección. Algunos de los puntos más importante es la transpiración, tanto a la hora de transferir calor como la evaporación del sudor de la superficie de la piel.

5 Diseño III: El aislamiento térmico en el ser humano

En el capítulo anterior se ha recogido información sobre el diseño de la equipación deportiva y su diseño. Además, también en el Capítulo III se ha observado el mercado actual y se han analizado sus ventajas e inconvenientes. Por otra parte, en este capítulo se van a describir y analizar las características térmicas de evacuación de calor para la aplicación deportiva. Primero se realiza una introducción a la forma estandarizada de medir el aislamiento térmico en la ropa y posteriormente se realiza un estudio detallado de la aplicación desde la ecuación de confort térmico en el cuerpo humano.

5.1 Introducción al aislamiento térmico

El ser humano posee diferentes mecanismos de regular su temperatura, tanto productores como reductores de calor. Su temperatura oscila medio grado alrededor de 36.6 grados Celsius y su medida se toma en el esófago. Como se explicará más adelante la temperatura está sujeta a la actividad de la persona y a las oscilaciones circadianas.

El metabolismo es el motor del cuerpo humano, según su actividad muscular así será la cantidad de energía liberada. En el caso de la actividad física y muscular, gran parte del trabajo es convertido en calor. Sin embargo, si se trata de un ejercicio intelectual o subir una montaña (diferencia de energía potencial) el ratio no será tan alto.

Se define un concepto para medir la energía liberada denominado “met”.

El met: valor estándar de actividad metabólica y es equivalente a 58 W/m^2 .

Se establece que una persona que se encuentra en un estado de confort térmico y cuya actividad es equivalente a un met tiene una pérdida de calor igual a 100W. El metabolismo de una persona puede variar desde 0,8 met hasta 14 met.

El método que se establece mediante el concepto met es muy usado para determinar lo exigente que es el trabajo. Se establece por la norma ISO 8996 y el valor de la tasa metabólica puede alcanzar valores de hasta 260 W/m^2 .¹¹

El aislamiento que causa la ropa viene dado por dos variables, el aire en la prenda y el propio material. La transmisión del calor viene dada por los sistemas clásicos de transferencia de calor, convección, conducción, radiación y evaporación. La radiación supone la mayor pérdida de calor del cuerpo, aproximadamente un 68%. Mediante la sudoración, se libera una gran cantidad de energía del cuerpo humano, hasta un 15% de la masa corporal y un 27% del calor corporal. La sudoración consiste en coger calor del cuerpo humano para evaporar el agua en el mismo y así liberar la misma al entorno. Dada el calor específico del agua, el cuerpo se enfría rápidamente.

Para obtener cuánta energía cuesta evaporar un gramo de agua, consistiría en un simple aumento de la temperatura y cambio de estado. Dado un calor de evaporación del agua igual a 2250 kJ/kg y un calor específico de $4,18 \text{ kJ/kg}$. Se obtiene que para conseguir evaporar un gramo de sudor son necesarias alrededor de $0,6 \text{ kcal}$ que se obtienen del tejido cutáneo, considerando que la temperatura cutánea es algo menor a 33°C .

Los seres humanos generamos calor mediante actividad metabólica y disipamos principalmente el calor mediante trabajo y a través de la respiración. Si se aumenta la actividad física, la sudoración aumenta para que la energía salga del cuerpo y el mismo se “refrigere”.

Al llevar otra prenda puesta se incrementa otra capa de aislamiento y por tanto un impedimento a la transmisión de calor. Existen otras variables tales como: la velocidad del viento, el color de la ropa o la humedad del ambiente, el contenido de agua en la ropa...

5.2 Confort térmico

La norma ISO 7730 define el confort térmico como “una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Para tener una sensación de confort el

¹¹[DIEG19] *Diego Mas, José Antonio Evaluación del confort térmico con el método de Fanger Ergonautas Universidad Politécnica de Valencia, (2019)*

balance de energía en el cuerpo humano debe ser nulo y haber alcanzado el equilibrio térmico. Es decir, el confort depende del calor producido por el cuerpo, actividad metabólica, y de los intercambios con el entorno.

La evaluación del confort térmico conlleva evaluar cargas subjetivas y variables que dependen del individuo y del medio ambiente.

Las condiciones ambientales fundamentales son la temperatura, humedad y velocidad del viento. El factor fisiológico es la actividad física, de la cual se presentarán más adelante los distintos valores en función de la intensidad. También se encuentran en función de la superficie del cuerpo. El último factor sería el vestido. La industria ha definido una medida llama “clo” para determinar la cantidad de ropa que se debe vestir en función de la actividad, proviene del inglés *cloth*.

Se define clo como el aislamiento térmico de un determinado indumento, consistente en traje con chaqueta y pantalones de algodón, ropa interior normal, también de algodón, calcetines y zapatos. Para una cierta mayoría de personas este indumento resulta cómodo en ciertas condiciones ambientales consideradas normales (20...22°C aire en ligero movimiento y sin influencia de la radiación solar). Este indumento tipo fue fijado en una época en que era el corriente trabajador era un oficinista medio y había muy pocas mujeres trabajadoras.¹²

Para intentar conservar el confort térmico se regula el vestido, es decir, se aumenta o se reduce el aislamiento. Es evidente que, si una persona viste una chaqueta en invierno, el aislamiento aumenta y la transferencia de calor es menor. De esa forma se reduce la pérdida de calor. La herramienta que se usa para medir el aislamiento del vestido es el clo, su unidad es $m^2 \cdot ^\circ C/W$ y un clo es equivalente a $0,155 m^2 \cdot ^\circ C/W$.

Mediante un programa de cálculo de aislamiento térmico para combinaciones personalizadas de ropa. El programa pertenece a la Universidad Politécnica de Valencia y

¹²[GALV13] M. A. Gálvez Huerta *Instalaciones y Servicios Técnicos*. Madrid: Sección de Instalaciones de Edificios.; et al. (2013).

tiene uso en el método Fanger para estudio del lugar de trabajo. Se selecciona la combinación de prendas sin considerar la protección que se va a diseñar durante el proyecto.

Se selecciona ropa interior, una camiseta de manga corta, pantalones cortos, calcetines gruesos, botas y guantes. El resultado que se obtiene es 0,51 clo, pero está incompleto, hay que añadir el clo del casco y las coderas.¹³ La suma total es aproximadamente 0,70 clo, equivalente a $0.1085 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/W$. Este valor será estándar para todos los jugadores pues se juega con uniforme deportivo y todos los jugadores visten de la misma forma.

5.3 Condiciones ambientales y la transferencia de calor

La pérdida de calor sensible no tiene en cuenta la evaporación del cuerpo humano, sólo considera el intercambio seco del calor, radiación y convección. La conducción es cero ya que, si la persona se encuentra haciendo deporte, no pierde apenas calor por contacto con una superficie.

5.4 Superficie del cuerpo humano

La superficie del cuerpo humano es importante tanto para la radiación, para la producción basal y para la transpiración del cuerpo humano. Existen distintas fórmulas para calcular la superficie que se presentan a continuación, los resultados que se obtienen con todas ellas son muy similares:

Du Bois & Du Bois

$$A = 0.07184 \cdot \text{Peso (kg)}^{0.425} \cdot \text{Altura (cm)}^{0.725} \quad [5.1]$$

Gehan EA

$$A = 0.0235 \cdot \text{Peso (kg)}^{0.51456} \cdot \text{Altura (cm)}^{0.4226} \quad [5.2]$$

¹³ [JUSS17] *Jussila, K., Rissanen, S., Aminoff, A, Thermal comfort sustained by cold protective clothing in Artic open-pit mining- a thermal manikin and questionnaire study.* (2017)

Boyd

$$A = 0.0003207 \cdot \text{Peso (g)}^{(0.7285 - 0.0188 \cdot \log_{10} \text{peso (g)})} \cdot \text{Altura (cm)}^{0.314} \quad [5.3]$$

5.5 Ecuación de confort

El balance de calor y la ecuación de confort en el ser humano se define como:¹⁵

$$H = Q_{SK} + Q_{RES} = (Q_C + Q_R + E_{SK}) + (E_{RES} + E_{REL}) \quad [5.4]$$

Siendo:

H = Calor generado, energía interna

Q_{SK} = Perdida de calor a través de la superficie cutánea

Q_{RES} = Perdida de calor a través de la respiración

Q_C = Perdida de calor mediante convección

Q_R = Perdida de calor mediante radiación

E_{SK} = Perdida de calor por evaporación a través de la piel, se descompone en dos E_{SW} y E_D .

E_{SW} = Perdida de calor por transpiración (sudor)

E_D = Perdida de calor mediante difusión con la humedad del entorno

E_{REL} = Perdida de calor latente por respiración

E_{RES} = Perdida de calor sensible por respiración

¹⁴ [WIKI19] Área de superficie corporal Pagina web https://es.m.wikipedia.org/wiki/Área_de_superficie_corporal (2019)

¹⁵ [FERN94] Felipe Fernández García, Clima y confortabilidad humana. Aspectos Metodológicos, (1994)

Si no se conserva la igualdad, existe un término H y el cuerpo gana o pierde energía. Este proyecto tiene una aplicación deportiva por lo que se trata de una aplicación a corto plazo y se podría llegar a admitir un término positivo en H si el tiempo es reducido.

El término tasa metabólica M se puede dividir en dos: el calor interno del cuerpo, H y la energía convertida externa, W . Desde la fórmula que se presenta a continuación se puede calcular la eficiencia mecánica como el cociente entre el trabajo y la tasa metabólica.

$$M = H + W \quad [5.5]$$

La constante metabólica se calcula mediante el met o equivalente metabólico. El valor met es una relación entre la actividad y el reposo. De esa forma si tenemos un met cuyo valor es 2, se está consumiendo el doble de energía que en estado de reposo. La duración de un entrenamiento medio son 60 minutos y el equivalente met para un entrenamiento deportivo es alrededor de 8 met. Por tanto, se obtiene un resultado de 480 met por hora.

El metabolismo basal posee factores como el aporte energético, actividad física o la actividad hormonal. Normalmente se encuentra alrededor de 170 W con un ejercicio ligero de oficina, sin embargo, la producción basal al realizar deporte es de 440 W/m²¹⁶. Equivalente aproximadamente a la cifra anterior 8 met, que es 464 W/m². Se sabe que la superficie corporal media (Body Surface Area) del equipo es aproximadamente 1.8 m². El calor que emite el jugador medio es 792 W.

Se realiza un cálculo a partir de la norma INSHT-NTP323. Se toman las medidas medias del equipo en edad y peso. Además, se toman medidas discretas de varios jugadores y su frecuencia cardiaca antes y durante el juego. A continuación, se presenta una tabla que contrasta los valores tomados de las tablas.

¹⁶ [ASHR05] Fundamentales: ASHRAE 2005, SI Ed. (2005)

Características del trabajador

La tasa metabólica puede calcularse a partir del **metabolismo basal** y la **frecuencia cardíaca**.

Sexo: Hombre Edad: 25 años Peso: 77 Kg

Frecuencia cardíaca en reposo: 55 latidos/min

Frecuencia cardíaca en la actividad: 150 latidos/min

Metabolismo basal en reposo: Estimar en 55 W/m² (ISO 8996). Estimar a partir de la edad y el sexo (INSHT-NTP323).

Tasa metabólica

Componente	Valores (W/m ²)
Metabolismo basal	46,68
Frecuencia cardíaca	150
Frecuencia cardíaca en reposo	55
Frecuencia cardíaca máxima	189,5
Capacidad máxima de trabajo	653,3
Incremento de frecuencia cardíaca por unidad de tasa metabólica	0,22
Tasa metabólica	475,15 W/m² / 8,17 met.

Ilustración 10 Calculo de la tasa metabólica mediante el programa Ergonautas

Fuente: Captura de pantalla Programa Ergonautas (2019)

Como se aprecia en los valores obtenidos, son muy similares a los valores aproximados anteriores. Hay que destacar que no se puede calcular por la norma ISO tal y como se comentó anteriormente, debido a que la tasa metabólica máxima es 250.

Mediante estudios de medicina que se toman para este proyecto se sabe que el tronco se divide en pecho y espalda, cada uno tiene el 14.6 % y 14.1 % de la superficie total del cuerpo humano. Si se considera que la superficie de una protección es 0.25 m² y que el cuerpo se encuentra en estado de activación (en movimiento y la temperatura corporal está uniformemente distribuida) el calor proporcional que se emite es 145 W.

La pérdida de calor a través de la ropa y de su superficie es igual al calor emitido por evaporación, por difusión y por respiración.

$$Q_{ROPA} = E_{SK} + E_{RES} + E_{REL} \tag{5.6}$$

5.6 Convección

Al tratarse de un deporte al aire libre, la conducción es con el aire y de valor muy reducido. Sin embargo, la transferencia de calor por convección no es despreciable.

Las compañías deportivas obtienen el coeficiente de convección de la superficie amorfa mediante ensayos, por ejemplo, con la sublimación de naftalina con aire en movimiento. Otro sistema para considerar la convección sería aplicar un parámetro reductor en función de la velocidad del viento. A continuación, se presentan unos valores¹⁷ de temperaturas en el entorno de un cuerpo humano. Se aprecia que todas las temperaturas son menores a la temperatura cutánea y según aumenta la velocidad del viento, así se reduce la sensación térmica.

Temperatura (°C)	Velocidad del viento menor a 12,5 km/h	Velocidad del viento entre 12,5 y 21,5 km/h	Velocidad del viento entre 21,5 y 36 km/h	Velocidad del viento entre 36 y 50 km/h	Velocidad de viento superior a 50 km/h
20	0	-1	-3	-4	-4
21	0	-1	-3	-4	-4
22	0	-1	-2	-3	-4
23	0	-1	-2	-3	-4
24	0	-1	-2	-3	-4
25	0	-1	-2	-3	-4
26	0	-1	-2	-3	-3

Ilustración 11 Método de aproximación de la diferencia de calor producida en la convección

Fuente: Arista Sur (2018)

Para este proyecto se va a considerar al mismo tiempo ambas formas de transmisión. Será necesario obtener la transmitancia térmica, que depende de la resistencia térmica de la ropa.

$$Q = \frac{\Delta T \cdot A}{R} \quad [5.7]$$

Siendo:

A = Superficie corporal del jugador

R = Transmitancia térmica

¹⁷ [NUES19] *Blog Nuestro Clima*, Lo que mata es la humedad (2019)

ΔT = Diferencia de temperatura entre la superficie de la piel y la superficie exterior de la ropa

La transmitancia térmica se calcula como el inverso de la suma de las resistencias térmicas tanto del aislamiento térmico de la ropa como de la convección que hay con el entorno.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{ropa} + R_{proteccion}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ropa}} + \frac{1}{\alpha_{proteccion}}} \quad [5.8]$$

Existen algunos índices que permiten obtener la intensidad de enfriamiento del cuerpo humano y que pueden asegurar la veracidad de los resultados. Uno de los índices se denomina Hill y su unidad es $\frac{mcal}{cm^2 \cdot s}$. Con este valor medía la capacidad de enfriamiento por unidad de superficie. Se trata de un parámetro en condiciones normales y no deportivas.

$$H = (a + b \cdot v_n) \cdot (t_c - t_w) \quad [5.9]$$

Los valores de a y b son coeficientes empíricos que dependen de las características fisicoquímicas del aire. La aplicación principal es una escala de sensaciones térmicas que depende de los valores de H y cuyas sensaciones oscilan desde bochorno hasta muy frío. Después de realizar la modificación de Garmendia (1974) y Puebla (1985), la fórmula es la siguiente:

$$H = (0.9311 + 0.0295 \cdot v^{0.60} \cdot e^{-0.01 \cdot t_{aire}}) \cdot (t_c - t_w) \quad [5.10]$$

Siendo:

H = Índice para clasificar en escalas de sensación térmica, se mide en $\frac{hW}{m^2}$.

t_c = Temperatura del cuerpo en grados Celsius

t_w = Temperatura del termómetro húmedo en grados Celsius.

t_{aire} = Temperatura del aire en grados Celsius

v = Velocidad del viento

La fórmula estándar que se define en el método Fanger necesita el previo cálculo de la resistencia térmica o clo. Los valores obtenidos se presentan al final del capítulo, se puede apreciar una mayor transferencia de calor por convección en invierno y si la superficie corporal del jugador es mayor. Ambos resultados se encuentran dentro de lo esperado, la superficie es proporcional y la diferencia de temperatura es mayor en invierno.

$$Q \text{ por convección} = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad [5.11]$$

Siendo:

f_{cl} = El factor de superficie

h_c = Coeficiente de transmisión de calor en $W/m^2 \cdot K$:

t_a = Temperatura del aire en grados Celsius

t_{cl} = Temperatura de la piel en grados Celsius

v = Velocidad del viento en m/s :

Tanto la temperatura del aire como la velocidad del viento han sido tomadas de los registros medios anuales en la ciudad del estudio. Por otra parte, es necesario realizar los cálculos aproximados para las otras variables.

$$h_{cl} = 12,1\sqrt{v_a} \quad [5.12]$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 \cdot l_{cl} \quad [5.13]$$

Siendo:

l_{cl} = Aislamiento de la ropa en m^2/W

Ambos cálculos dependen de la magnitud de sus variables, se debe contrastar la fórmula siguiendo el método Fanger. En este caso, la velocidad del aire es superior a la normalidad. Se debe a que se trata de un espacio abierto y la velocidad del viento se considera muy alta.

5.7 Radiación

Existen investigaciones que sugieren que el factor más significativo es la temperatura radiante del entorno. La radiación que emite la armadura depende de la superficie de la protección y de su emisividad, es decir, de su color. El calor emitido por radiación se calcula multiplicando la potencia emisora obtenida por la fórmula de Stefan Boltzmann por la superficie emisora. Dicha potencia es proporcional a la cuarta potencia de la Temperatura de su superficie. La radiación que emite un cuerpo humano al ambiente considerando temperaturas de 37 y 25°C respectivamente, una superficie algo superior a metro y medio cuadrado y como cuerpo negro (el coeficiente de emisividad de la piel es igual a 0.954) será igual a 150 W. En este proyecto estamos considerando la energía que se evacua a través de la protección por tanto la superficie será menor. Si se observa la radiación que emite un cuerpo humano mediante un termómetro de infrarrojos es evidente que el tronco superior emite considerablemente más radiación que el tren inferior, esto se debe a las temperaturas a las que se encuentran. La diferencia de temperatura entre las diferentes partes del cuerpo es notable y alcanza más de 6 grados de diferencia.

$$G_{emitida} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{corporal} - T_{ambiente})^4 \quad [5.14]$$

Se van a realizar aproximaciones acerca de la geometría terrestre ya que se considera que los cálculos exactos no son necesarios. El estudio va a intentar englobar los casos normales de uso de la protección y no situaciones extremas en la Tierra.

El Sol tiene un diámetro de 1.39×10^9 m de diámetro y se encuentra a 1.5×10^{11} m de la Tierra. Para determinar la irradiación que incide y su dirección es necesario las condiciones terrestres (localización y fecha del año). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$G = S_c \cdot f \cdot \cos\theta \quad [5.15]$$

Siendo:

S_C = Constante solar. Flujo de energía solar incidente cuyos rayos son perpendiculares a la superficie. Su valor es igual a 1353 W/m^2 .

f = Factor de corrección que considera la excentricidad de la Tierra. Su valor puede oscilar de 0,97 a 1,03.

θ = Ángulo que forman los rayos solares, se denomina ángulo cenital.

Las componentes de la radiación son tres: la radiación directa, la difusa y el albedo. La radiación directa penetra en la atmósfera sin ser dispersada o absorbida, el ángulo de incidencia es el cenital.

La radiación difusa incide desde todas direcciones y la intensidad es más cercana a la radiación directa, es independiente de la dirección. Su dependencia de las condiciones meteorológicas es muy elevada.

$$G_{atm} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{cielo}^4 \quad [5.16]$$

Es importante conocer la absorptividad solar y la emisividad del campo de juego. Se toman unos valores que indican que la emisividad varía entre 0.9 y 0.95, mientras que el albedo entre un 0,2 y 0,3. Por tanto, la radiación que recibe el jugador es igual a la radiación solar directa, la difusa y la radiación por reflexión que recibe el campo.

$$G_{total} = A \cdot \alpha_S \cdot S_C \cdot f \cdot \cos\theta + A \cdot \alpha_{cuerpo} \cdot \sigma \cdot T_{cuerpo}^4 - A_{campo} \cdot \alpha_{campo} \cdot A \cdot \lambda \cdot \sigma \cdot T_{cielo}^4 \quad [5.17]$$

Siendo:

A = Superficie corporal del jugador

α_S = Absorptividad del cuerpo del jugador

T_{cielo} = Temperatura efectiva del cielo

σ = Constante de Stefan Boltzmann. Es igual a $5,670 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$.

A_{campo} = Superficie del campo de juego

α_{campo} = Absortividad del campo de juego

λ = Constante de reflexión del campo

La fórmula estándar que se define en el método Fanger necesita el previo cálculo de la resistencia térmica o clo al igual que en la convección. Los valores obtenidos se presentan al final del capítulo, se puede apreciar una mayor transferencia de calor por radiación en invierno y si la superficie corporal del jugador es mayor. La diferencia a la cuarta de las temperaturas radiante y corporal será mayor en invierno por lo que hay una mayor transmisión de calor. En verano la temperatura radiante es más similar a la temperatura corporal y el calor que emite el jugador es similar al calor que recibe.

$$Q \text{ por radiación} = 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \quad [5.18]$$

Siendo:

t_r = Temperatura radiante en grados Celsius.

Se calcula en función de la velocidad del aire, temperatura de bulbo húmedo y temperatura seca. Se destaca que la humedad relativa en el caso de estudio es elevada y la temperatura de bulbo húmedo es similar a la temperatura seca.

$$tr = t_g + 1,9 \cdot \sqrt{v} \cdot [t_g - t_s] \quad [5.19]$$

Siendo:

t_r = Temperatura radiante en grados Celsius

t_g = Temperatura de bulbo húmedo en grados Celsius

t_s = Temperatura seca en grados Celsius

5.8 Transpiración

La transpiración del cuerpo humano tiene muchos factores como sexo, edad, intensidad física, Composición corporal, superficie corporal, estado hormonal... La aplicación de este proyecto es un deporte masculino que requiere una actividad física alta y es practicado principalmente por personas entre 20 y 25 años.¹⁸

Para calcular de forma más empírica la transpiración del cuerpo humano se considera el agua que se transpira. Como ya se explicó anteriormente, al transpirar se evapora el agua de la superficie cutánea y se libera energía. Primero se calculará el calor de evaporación en el ser humano para poder obtener la energía que se desprende.

Si el cuerpo alcanza una temperatura elevada, se inicia el proceso de enfriamiento, tan solo décimas son necesarias para empezar el proceso. Los vasos sanguíneos se dilatan incrementando el paso de sangre por la piel y en consecuencia la producción de sudor. El sudor es el principal método de pérdida de calor, enfría la superficie cutánea y posteriormente, los tejidos.

El sistema de regulación térmico tiene una gran cantidad de factores ambientales como la temperatura de bulbo seco, bulbo humedad o la humedad relativa del aire. Además, existen factores fisiológicos como la temperatura de la superficie cutánea o el sudor. A medida que se aumente la actividad física, disminuye la temperatura de la piel y aumenta la transferencia de calor con el exterior.

El calor desprendido por transpiración o sudor es el más elevado dentro de los medios de pérdida de calor del caso de estudio. Tan solo la convección en el caso de invierno es capaz de alcanzar las mismas cifras. La pérdida de calor por transpiración supone aproximadamente un tercio de la tasa metabólica del jugador.

¹⁸ [SUAR13] David Suárez Rodríguez EFDeportes.com Revista Digital, Metabolismo basal, ejercicio y composición corporal, (2013)

5.9 Calculo del calor de evaporación

Para eliminar calor del cuerpo es necesario que la temperatura de la superficie cutánea sea superior a la temperatura de bulbo húmedo del entorno. Es sabido que el calor de evaporación del agua es 540 cal por gramo sin embargo en el cuerpo humano es mayor¹⁹. Al calentar agua se aumenta la energía cinética de las partículas, pero también hay parte de esa energía que se transforma en energía potencial. La energía que se deriva en energía potencial se calcula mediante la distribución de velocidad de Boltzmann y (615 m/s) la fórmula de la energía cinética, la masa se calcula mediante la masa molecular del agua. El resultado son aproximadamente 45 cal por gramo.

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{boltzmann}}^2 \quad [5.20]$$

Se debe hacer la conversión a 310 K y el resultado final es 51.1 cal por gramo.

$$45 \frac{\text{cal}}{\text{gramo}} \cdot \left(\frac{310 \text{ K}}{273 \text{ K}} \right) = 51 \frac{\text{caloria}}{\text{gramo}}$$

La diferencia entre ambos resultados es la energía cinética en el proceso de evaporación de 0 a 37 grados y sería igual a 6.1 cal por gramo. Se calcula la conversión a 373 grados Kelvin y se subtrae la energía necesaria para llegar a 37 grados (51.1 cal por gramo). Se resta 61.5 cal por gramo menos 51.1 cal por gramo y obtenemos 10.5 cal por gramo que se utiliza de forma cinética al calentar el agua de 37 a 100 grados.

$$45 \frac{\text{cal}}{\text{gramo}} \cdot \left(\frac{373 \text{ K}}{273 \text{ K}} \right) = 61.5 \frac{\text{caloria}}{\text{gramo}}$$

Sabiendo que se necesita una caloría por cada grado y gramo de agua, la energía de evaporación es igual a 63 cal por gramo. Por último, se restan los 10.5 cal/gr y se obtiene que la energía necesaria es 52.5 cal/gr.

¹⁹ [HYP119] *Página web Hyperphysics* [Calor de evaporación del agua](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/phase2.html#c3) hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/phase2.html#c3 (2019)

Por otra parte, se debe calcular el trabajo de expansión y su conversión a 37 grados. Para superar las fuerzas de cohesión de las partículas se debe añadir una cantidad de energía y expandir el volumen del agua.

$$W_{PdV} = \frac{\left(1.013 \cdot \frac{10^5 N}{m^2}\right) \cdot \left(22,4 \cdot \frac{373}{310}\right) \cdot \left(10^3 \frac{cm^3}{mol}\right)}{\left(18 \frac{gramos}{mol}\right) \cdot \left(\frac{10^6 cm^3}{m^3}\right)} = 36.2 \frac{caloria}{gramo}$$

$$W_{PdV} = \frac{\left(1.013 \cdot \frac{10^5 N}{m^2}\right) \cdot \left(22,4 \cdot \frac{373}{273}\right) \cdot \left(10^3 \frac{cm^3}{mol}\right)}{\left(18 \frac{gramos}{mol}\right) \cdot \left(\frac{10^6 cm^3}{m^3}\right)} = 41.2 \frac{caloria}{gramo}$$

Por último, se toma los valores obtenidos y se realiza el sumatorio final

Calor de vaporización 539 cal/gr

Energía cinética adicional 52.5 cal/gr

Trabajo de expansión 5 cal/gr

$$\text{Calor de vaporización en el cuerpo humano} = 539 \frac{cal}{gr} + 52.5 \frac{cal}{gr} - 5 \frac{cal}{gr}$$

Por tanto, el calor de vaporización en el cuerpo humano es algo distinto al calor de vapor de vaporización de las tablas e igual a 586.5 cal/gr.²⁰

Ahora sólo es necesario saber la cantidad de sudor que se produce cuando el jugador realiza deporte y estimar los vatios que se desprenden. En condiciones de reposo, se estiman 600 gramos por día, sin embargo, en condiciones de alta intensidad física se llegan a sudar litros. Para aproximar la cantidad de agua que se suda durante una sesión se pide a un grupo de 20 personas que durante un tiempo de entrenamiento se beba un litro y medio de agua. Se tomará el peso de la persona antes y después del entrenamiento y se obtendrá una diferencia, posteriormente se restan 1.5 kilos.

Se han tomado medidas de todos los jugadores y se realiza la conversión a vatios del calor que desprenden:

²⁰ [HYP219] *Página web Hyperphysics* [Cálculo del calor de evaporación del agua en el ser humano](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/phase.html#hvap) (2019)

$$\frac{\text{Sudor en gr}}{\text{Tiempo de entrenamiento en horas}} \cdot \frac{586,5 \text{ cal}}{\text{gr}} \cdot \frac{4,186 \text{ J}}{\text{cal}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}}$$

Existen otra forma para el cálculo del calor que se desprende utilizando los estudios de Fanger²¹. Se determinan mediante las siguientes fórmulas los valores medios de temperatura y el sudor según la actividad física.

$$t_{piel} = 35,7 - 0,032 \cdot \frac{H}{A_{Dubois}} \quad [5.21]$$

Siendo:

H = Producción de calor interno en el cuerpo humano

Se ha tomado una muestra representativa y calculado los litros medios de sudor del equipo. Es aproximadamente 0,60 litros por cada hora de juego. Lo que supone unos 200 W por cada metro cuadrado, un valor muy aproximado a la fórmula establecida por el método Fanger.

$$E_{SW} = 0,42 \cdot (H - 18,43) \quad [5.22]$$

El valor calculado mediante la fórmula anterior debería ser aproximadamente el calor por transpiración medio estimado mediante Destacar que los valores de sudoración no dependen de la temperatura o de la humedad. Por tanto, la sudoración es independiente de la estación del año. No confundir la sensación de calor en el cuerpo humano con la transpiración, como se explica más adelante en el verano el balance de energía es muy positivo y eso es lo que genera la sensación de calor. Para este proyecto se busca que el material sea capaz de intercambiar de calor y no actúe como aislante. Es decir, que el calor pueda ser transferido a través de la protección y no retenga toda la energía en el cuerpo del jugador. Independientemente de si se juega en invierno o verano, se busca que la

²¹ [FANG67] Fanger P.O, (1967)

transpiración sea evacuada y que por tanto la protección no retenga todo el sudor y adquiera humedad.

Es evidente que según la aplicación de la ropa deportiva y el clima al que se vea sometido tendrá influencia en el diseño. Si el clima es frío y húmedo, la ropa será impermeable y cortará el viento mientras que si son climas muy cálidos la ropa sea ligera y de colores claros.

5.10 Difusión en la piel

Existe un contacto directo entre la piel y el ambiente y por tanto existe una difusión. La humedad es usada normalmente para calcular la sensación térmica que tiene el cuerpo, sin embargo, en este proyecto se van a calcular todas las formas de transmisión de calor y se tendrá en cuenta por separado la humedad y no como un incremento de la temperatura seca.

La humedad es fundamental en el mecanismo de sudoración. Hay dos motivos que pueden provocar *fatiga por sudor*²²: que no se remplacen los iones Cl o Na y que la humedad del ambiente no permita la evaporación del sudor y disminuir la temperatura corporal.

Para este proyecto, se van a considerar caso de transferencia de calor máxima. Si la humedad del ambiente fuera tan elevada que está en su punto de saturación y no permite absorber más vapor, no existe transpiración y sudor ni mecanismo de enfriamiento en el ser humano. Esta condición no aporta nada al diseño en este proyecto, La transferencia de calor en la armadura sería menor y la transpiración también.

Es una parte de la transpiración insensible no incluido en la regulación térmica del cuerpo humano. La difusión es proporcional entre la diferencia de presión del agua saturada en la piel y presión parcial en el entorno. La ecuación que define Bredber²³ en 1956 para su cálculo es la siguiente:

$$E_d = h_{fg} \cdot k \cdot A \cdot (P_S - P_V) \quad [5.23]$$

²² [MATE15] *Maté Moreno, Marina, Trastornos de la regulación de la temperatura*, (2015)

²³ [JIME14] *Jimenez Guzmán, José Rafael, El Frío y la ausencia de calor* (2014)

Siendo:

E_d = Pérdida de calor por difusión

h_{fg} = Calor latente de vaporización del agua a 35°C (temperatura corporal en la piel)

k = Coeficiente de permeabilidad de la piel. Coeficiente obtenido por T. Inouye.

$$k = 6.1 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{hr \cdot mt^2 \cdot mmHg}$$

P_s = Presión del vapor de agua a temperatura corporal en la piel

P_v = Presión parcial del vapor de agua en el aire a temperatura atmosférica

La fórmula estándar que se define en el método Fanger necesita el previo cálculo de la presión absoluta del vapor de agua. Los resultados son muy poco representativos para el estudio, ya que tienen una magnitud muy inferior al resto de formas de transferencia de calor.

$$Q \text{ por difusión} = 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] \quad [5.24]$$

Siendo:

p_a = Presión absoluta del vapor de agua en pascales

Se calcula como la suma entre la presión atmosférica y la componente del agua presente en la misma. Es necesario saber la humedad relativa en la atmosfera. Se toma 35°C porque es la temperatura de la piel.

$$p \text{ relativa} = HR \cdot \text{presión de vapor saturado a } 35^\circ C$$

Dado que la presión de vapor saturado se calcula en función de la temperatura seca, en invierno la presión absoluta será menor que verano.

5.11 Pérdida de calor por respiración

Al realizar la respiración, se toma aire del entorno y se hasta los alveolos pulmonares. En ese punto, el aire tiene las características térmicas del interior del cuerpo humano. Además, en los alveolos pulmonares el aire es saturado con vapor de agua. En el trayecto de regreso al entorno se condensa parte del agua y se cede calor al cuerpo humano, pero evidentemente el aire que se expulsa al exterior tiene tanto mayor concentración de agua como mayor temperatura. Se produce una pérdida tanto sensible como latente. La sensible se halla mediante la diferencia de temperatura en el aire seco y poder calorífico, mientras que en la pérdida latente es necesario saber la cantidad de agua en el aire y su calor latente de evaporación:

$$E_{RE} = E_{RES} + E_{REL} = \dot{V} \cdot c_e \cdot (T_{INT} - T_{EXT}) + \dot{V} \cdot h_{fg} \cdot (w_{INT} - w_{EXT}) \quad [5.25]$$

Siendo:

E_{RE} = Pérdida de calor por respiración

E_{REL} = Pérdida de calor latente por respiración

E_{RES} = Pérdida de calor sensible por respiración

\dot{V} = Flujo másico pulmonar

c_e = Calor específico del aire seco

T_{INT} = Temperatura del aire corporal

T_{EXT} = Temperatura del aire en el entorno

w_{INT} = Humedad específica del aire corporal

w_{EXT} = Humedad específica del aire en el entorno

El flujo másico pulmonar se obtiene mediante la fórmula obtenida de los análisis realizados en 1946²⁴:

$$\dot{V} = 0.006 \cdot M \quad [5.26]$$

Siendo M la tasa metabólica en W/m^2 .

La fórmula estándar de Fanger se divide en dos, calor latente y calor seco.

$$Q \text{ latente por respiración} = 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot [5867 - p_a] \quad [5.27]$$

$$Q \text{ seco por respiración} = 0,0014 \cdot M \cdot [34 - t_a] \quad [5.28]$$

Las variables se han explicado anteriormente. Se puede destacar que la temperatura a la que se exhala aire es 34 grados Celsius por eso se incluye en la fórmula de calor seco por respiración. Los resultados se muestran en el capítulo siguiente y se puede apreciar que tanto el calor latente como el sensible tienen el mismo orden de magnitud si bien es un poco superior el calor latente.

5.12 Cálculos finales por tallas

A continuación, se recogen los cálculos obtenidos de cada forma de transferencia de calor en el cuerpo humano. Se ha consultado tanto el método de Fanger como cálculos termodinámicos puesto que Fanger no siempre resulta efectivo dado su uso en espacios cerrados. Se muestran los resultados para cada talla y en dos estaciones con condiciones muy diferentes. Las condiciones meteorológicas han sido tomadas de la ciudad de Karlsruhe en Alemania, ciudad a la que pertenece el equipo de las muestras.

Al final se recoge el balance de energía obtenida en el cuerpo del jugador. Mientras que en invierno el balance de calor del jugador aumenta muy poco, en verano si se puede apreciar un aumento considerable. Casi el 50% del calor metabólico no se desprende a la atmosfera

²⁴ [ASMU46] E. Asmussen, M.Nielsen, Asmussen E. & Nielsen, (1946)

y supone un aumento en el cuerpo del jugador. De esta forma el calor que se desprende al medio es igual a H, es decir, la suma de todos los medios de transferencia de calor.

Existen valores que no condicionan nunca la regulación térmica del jugador como la difusión a través de la piel. Por el contrario, hay valores que adquieren mayor importancia en función de la estación del año, como es el caso de la radiación. Si la temperatura corporal es similar a la temperatura del medio, la radiación que emite el cuerpo humano se compensa con la radiación que recibe del medio. Si bien no se ha considerado que la radiación en verano varía de la radiación en invierno, se toma el valor estándar de la zona para el cálculo anual.

	Unidad	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Tasa metabólica	[W]	842	842	903	903	1001	1001
Difusión a través de la piel	[W]	9,73	-0,33	10,43	-0,35	11,56	-0,39
Sudoración	[W]	309,8	309,8	332,2	332,22	368,37	368,37
Calor latente por respiración	[W]	74,14	47,91	79,49	51,37	88,14	56,96
Calor seco por respiración	[W]	34,20	4,72	36,67	5,06	40,66	5,61
Radiación	[W]	66,46	7,14	71,26	7,65	79,02	8,49
Convección	[W]	330,04	81,70	353,88	87,61	392,38	97,14
Superficie media del jugador	[m ²]	1,80	1,80	1,93	1,93	2,14	2,14
Balance	[W]	17,98	391,42	19,28	419,68	21,38	465,35

Table 9 Casos de verano e invierno para las distintas tallas

En el siguiente capítulo se muestran los resultados y las variables intermedias necesarias para obtener el calor emitido. Se encuentran en función de la superficie del jugador

5.13 Conclusiones

A lo largo de este capítulo se ha recogido todas las formas de transferencia de calor que existen en el cuerpo humano. Se ha realizado tanto el cálculo termodinámico como aplicado el método estándar en ergonómia establecido por Fanger en 1967.

Hay que mencionar que existen dos temperaturas en la piel puesto que una está calculada para casos cerrados. He de destacar como conclusiones que la transpiración es uno de los métodos más efectivos para liberar energía sin considerar las condiciones ambientales. Por

último, incidir en que durante el invierno el balance es casi nulo mientras que en verano es casi el 50% de la tasa metabólica. Es decir, durante el verano al realizar deporte el calor interno del cuerpo humano aumenta de forma muy considerable mientras que en invierno se mantiene casi constante.

	Unidad	Invierno	Verano
Tasa metabólica	[W/m ²]	468,00	468,00
ta	[°C]	5,00	30,00
pa saturado	[Pa]	862,40	4202,73
pa total	[Pa]	10689,92	12521,64
Difusión a través de la piel	[W/m ²]	5,40	-0,18
Sudoración	[W/m ²]	172,14	172,14
Calor latente por respiración	[W/m ²]	41,19	26,62
Calor seco por respiración	[W/m ²]	19,00	2,62
Radiación	[W/m ²]	36,92	3,97
Convección	[W/m ²]	183,36	45,39
Tpiel	[°C]	27,38	27,38
Temperatura piel	[°C]	28,00	34,00
Temperatura radiante	[°C]	7,69	32,69
Temperatura de bulbo húmedo	[°C]	4,00	32,00
Humedad relativa	[%]	0,80	0,60
Velocidad del aire	[m/s]	2,00	2,00
fcl		2,15	1,51
Clo	[m ² K/W]	1,70	0,71
hc	[W/m ² K]	17,11	17,11
Balance	[W/m ²]	9,99	217,45

Table 10 Características de los dos casos en función de la superficie

En el siguiente capítulo se presentan los materiales seleccionados para la protección en función de las necesidades del jugador. Se tienen en cuenta las diferentes condiciones ambientales o las necesidades mecánicas del juego. Por último, también se tiene en cuenta el ciclo de vida de los materiales y del producto, se buscará que la protección sea lo más respetuosa posible con el medio ambiente.

6 Diseño IV: Selección de materiales

En el capítulo anterior se han determinado las características térmicas y de transferencia de calor a las que está sometido el jugador. Es de vital importancia conocer las características térmicas de los materiales que se usan, pero también era necesario conocer los flujos de calor o la evaporación de sudor a la que se ve sometido el material. En el siguiente capítulo se van a determinar mediante el software CES Edu Pack las fibras de las que se compone la protección. Las características que requieren los materiales son en su mayoría descritas y calculadas en este capítulo.

Existen tres tipos de materiales principales que se van a usar en la protección, un material que permita transpirar al jugador, un segundo material que absorba el impacto y un tercer material con de un buen acabado final. El primer material se encuentra en numerosas ocasiones en contacto con la piel del jugador, se ve sometido a desgaste y sudor en cada uso. Mientras que el segundo material es el material interior de la protección y se trata del material fundamental. La función de la prenda es proteger al jugador y eso se consigue mediante dicho material.

6.1 Selección de materiales

Se trata de una protección que usa un enfoque innovador respecto al uso de sus materiales, la estructura denominada sándwich²⁵. Dicha estructura busca usar las mejores características de cada capa o cada material que compone la protección. Se superponen distintas capas de material y se confecciona la protección con esa estructura sándwich. Hay diversas técnicas para unir los distintos textiles, desde aplicar calor, cosido o adhesivos.

El primer caso de estructura sándwich dio lugar en 1868 con una patente de Mathew Townsend y cuya aplicación era telas “spacer fabrics”. Dicho textil tenía un perfil con mucho aire y buscaba dar grosor sin permitir que elementos exteriores se pudieran introducir en el entramado. Evidentemente, no se trata de una innovación tecnológica, pero ha sido muy poco utilizado y ha ganado importancia en los últimos 5 años.

²⁵ [MERI17] *Meric, Derya* A new approach to the use of innovative materials in textile and fashion design: Sandwich Structures (2017)

Un ejemplo claro de este tipo de innovación son los zapatos de montaña impermeable, la última capa usa normalmente la tecnología Goretex o similar para que el agua no acceda al interior del zapato. Sin embargo, el interior no tiene ese material, sino una capa de piel artificial más confortable para el pie. Pero existen otras ventajas como, un material que permita la compresión elástica, que permita transpirar, aislamiento térmico o incluso varios objetivos.

Se espera que un futuro este tipo de estructura aumente exponencialmente gracias a su diversidad de usos y su investigación interdisciplinar.

Las características serán incluidas en el buscador filtro del programa CES Edupack y finalmente representadas en un gráfico cuyos ejes principales son el precio por volumen y la densidad.

6.1.1 Material protector

La protección está constituida por varios materiales, sin embargo, su material principal es la espuma cuya función es proteger al jugador. Las características que debería tener la espuma seleccionada son las siguientes:

- Elasticidad: Recupera su forma original después de ser deformado por un impacto. La energía y presión del impacto ha sido definido con una pelota de Lacrosse. El esfuerzo máximo de tensión está por debajo de su límite elástico. La mayoría de las espumas y honeycombs serán descartados.
- Tenacidad: Resistencia a la rotura cuando se somete a esfuerzos bruscos. Se puede calcular la tensión necesaria para sobrepasar el límite elástico. El cálculo fue realizado previamente.
- Absorción y disipación de energía: Tiene que disipar la energía del impacto sin modificar sus propiedades. Se puede medir con la fuerza de impacto kJ/m^2 . Tanto la energía como la superficie son conocidos y la fuerza de impacto resultante será igual a $15,5 \text{ kJ}/\text{m}^2$ aproximadamente.

Lamentablemente, no todos los materiales tienen ensayos de esta propiedad. Se toma la energía en la fractura como propiedad a la hora de comparar los distintos materiales, tratándose de la única propiedad con medidas existentes

en el programa que comparten la mayoría de los productos. Si bien la energía que absorbe sin deformarse plásticamente es menor, se define la cifra como valor mínimo de energía en la fractura.

Se trata de la característica fundamental para la criba de materiales, más del 90% de los materiales son descartados (espumas, fibras naturales, plásticos, fibras...)

- Resistencia a la tensión: El punto de deformación plástica debe ser superior a la tensión máxima ejercida por una pelota.
- Tiene que tener resistencia al agua y debe permitir la transpiración del jugador. De acuerdo con el programa de selección de materiales el comportamiento frente al agua con o sin sal (sudor) debe ser excelente. Es decir, no existe degradación del material a largo plazo, aunque se someta a esas condiciones. La degradación del material podría suponer que pierda sus propiedades mecánicas y no absorba el impacto.
- Tiene que ser un material que se puede reciclar o que es reciclado.

En un análisis inicial se pensó que una espuma sería el material que debe absorber la energía del impacto. Sin embargo, las espumas absorben poca energía y tienen propiedades aceptables contra el agua. Para la aplicación de este proyecto es imprescindible que la resistencia al agua sea excelente. Por el mismo motivo, quedan rechazados los honeycombs.

Se realizan tres gráficas para poder comparar los materiales resultantes de forma rápida. Se distribuyen los materiales en función del precio y otra característica como la densidad, la huella de carbono en la obtención de materia prima o la huella de dióxido de carbono en el final de su vida útil.

En la siguiente ilustración se representan gráficamente los materiales en función del precio y su densidad. Se puede apreciar que de forma general los plásticos son más pesados que los elastómeros y que por tanto su gran mayoría fueron descartados. El incremento del peso en más del doble es una diferencia muy considerable en la ergonomía del jugador. Además del incremento en la densidad, la diferencia de precio entre los materiales es inmensa. Se seleccionan alrededor de diez materiales en la esquina inferior izquierda.

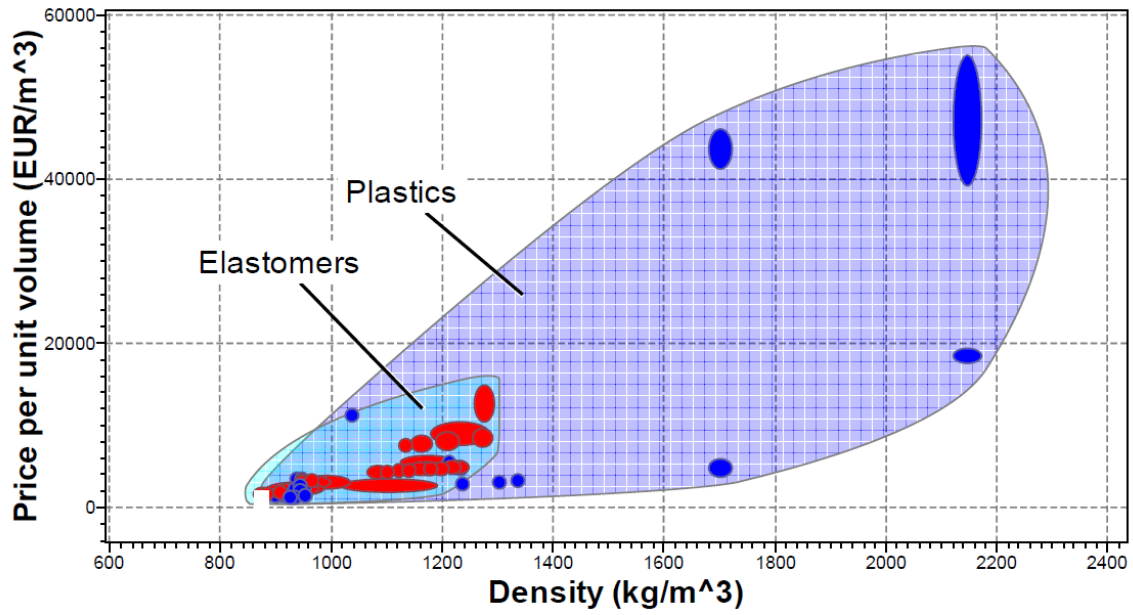


Ilustración 12 Material Protector Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio#

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

En la siguiente ilustración se representan gráficamente los materiales en función del precio y su huella de carbono durante la producción del material. Algunos plásticos son descartados debido a la alta producción de CO₂. Además, la diferencia de precio entre los

materiales es sustancial. Se seleccionan alrededor de diez materiales en la esquina inferior izquierda para contrastar posteriormente con las otras gráficas.

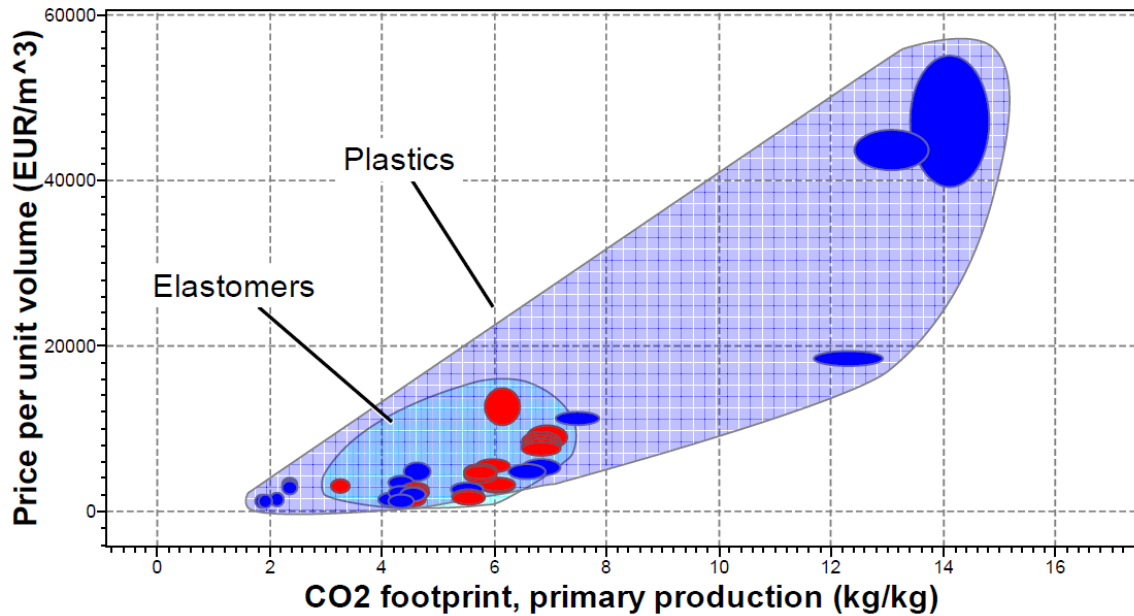


Ilustración 13 Material Protector Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

En la siguiente ilustración se representan gráficamente los materiales en función del precio y su huella de carbono en el final de su vida útil. Al igual que en la gráfica anterior tanto por precio como por producción de carbono se pueden descartar un gran número de materiales candidatos, se seleccionan diez materiales de la esquina inferior izquierda.

Cabe diferenciar las dos gráficas relacionadas con la huella de carbono. Mientras que la primera los materiales seleccionados se encuentran en cifras entre dos y seis kilos de CO2 por cada kilo de material, su reciclado genera aproximadamente la mitad. Se considera por tanto que la huella que se genera durante la producción es notablemente más importante que durante su reciclado. También es interesante que, salvo algunos materiales, ambas gráficas que consideran la huella de carbono tengan representaciones similares.

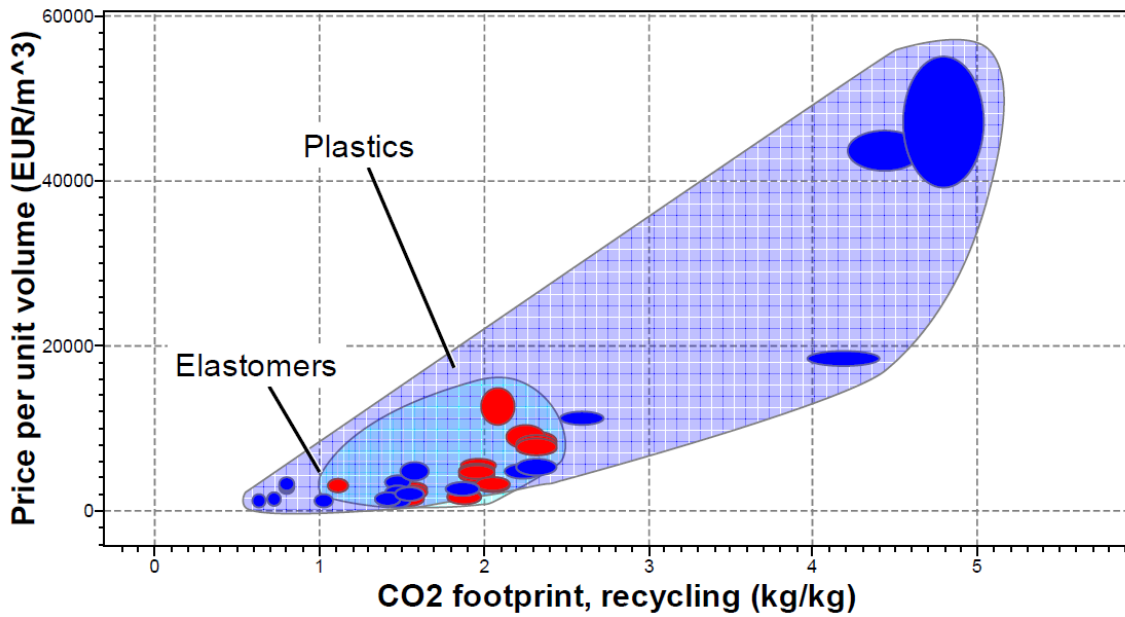


Ilustración 14 Material Protector Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

Los materiales que se repiten como candidatos en todas las gráficas son los siguientes:

- PE LD, polietileno de baja densidad
- EVA, etilvinilacetato
- SBS, una mezcla entre estireno y butadieno

El polietileno es más rígido, tiene mejor resistencia química y tiene peor resistencia al desgarro que el etilvinilacetato. Mientras que el SBS es tres veces más caro que el EVA y muy difícil de conformar, por lo que se escoge el etilvinilacetato.

El etilvinilacetato es un material muy usado en equipos deportivos como amortiguador, normalmente en la suela de zapatillas deportivas. Además, también tiene como aplicación posible, espuma estructural, la aplicación que aplica a su función en este proyecto.

6.1.2 Parte exterior

Se trata de la parte externa de la protección, es la parte visible y que da el color a la vestimenta. Mientras que en el primer material existía una investigación previa que inducía a que fuera una espuma, no se conocía el tipo de material cuando se realiza la búsqueda.

- Resistencia a la abrasión, se encuentra sometido al desgaste continuo producido por el contacto con otros jugadores o con el uniforme del equipo que se viste por encima.
- Debe tener un límite elástico similar al material seleccionado anteriormente, si bien es cierto que no es necesario que absorba la energía del impacto, va a estar sometido a esfuerzos similares de tensión.
- Debe tener características impermeables que no permiten la entrada de lluvia en la protección. La humedad acelera el desgaste de las telas y se debe minimizar. También se podría considerar desde el punto de vista que su absorción de agua sea muy reducida al igual que la transmisión de agua a través del tejido.
- La protección puede estar sometida directamente a la radiación solar. Dicha radiación puede afectar a las características físicas de la prenda, por ejemplo, en su color. Además, la emisividad de la protección depende de esta última capa.
- Debe ser resistente a las condiciones meteorológicas adversas, una buena impermeabilidad que no absorba, aunque haya grandes cantidades de agua.
- Es preferible que el material permita el intercambio de calor y no se trate de un aislante.
- Tiene que ser un material que se puede reciclar o que es reciclado.

Se obtiene una gran variedad de plásticos que al igual que el ejemplo anterior son organizados por precio y densidad. En este caso, se puede apreciar que hay un material que se diferencia del resto. Se trata del polipropileno, cuya densidad es la menor de los materiales seleccionados, pero además también se trata del material con menor coste y menor producción de CO₂.

Sus aplicaciones son muy variadas ya que se trata de un material barato y con buen comportamiento mecánico. El polipropileno se utiliza con aplicaciones deportivas y textiles artificiales por sus características para soportar las condiciones adversas de humedad. Es un material similar al poliestireno o al ABS, con mejores propiedades mecánicas y algo menor de precio. Es un material que tiene una mínima permeabilidad y absorción de agua.

De esta forma lo que el diseño busca es que la transpiración del cuerpo humano sea retenida por el material protector y el material en contacto con la piel. Por otra parte, el PP como material exterior rechaza el agua por ambas superficies. Es decir, no admite agua del exterior, pero tampoco deja pasar el sudor al entorno.

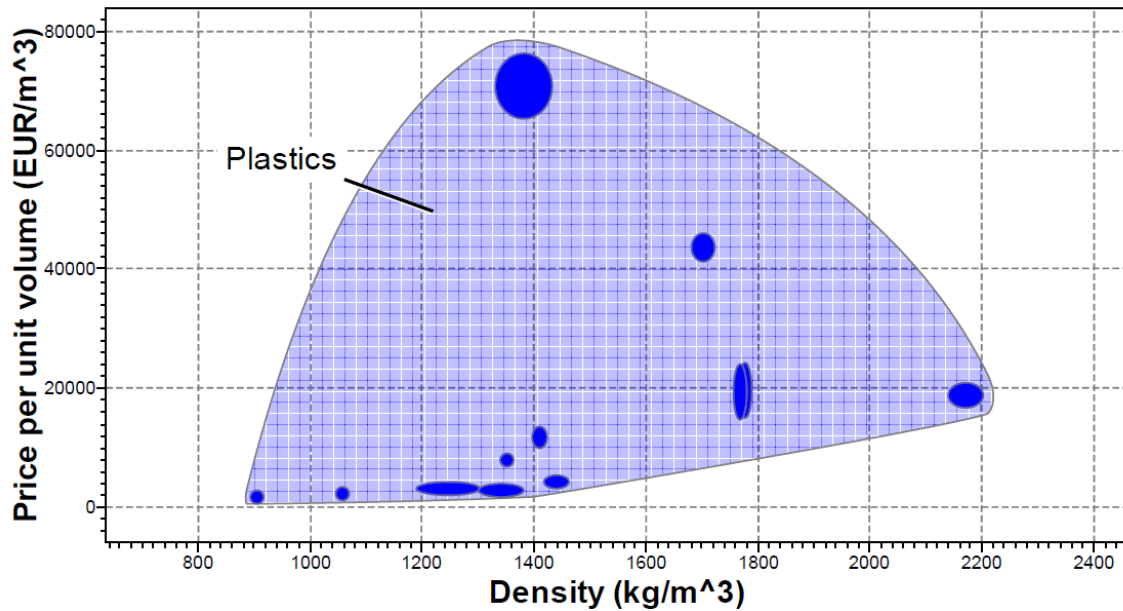


Ilustración 15 Material Exterior Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

La huella de producción de dióxido de carbono es similar al material anterior. Hay que destacar que siempre se habla del material reciclado como una oportunidad para reducir el desecho y disminuir las emisiones. En estas gráficas se puede observar que la producción primaria del material es en la mayoría de los casos, tiene el doble de producción de CO2 que el reciclado. De esta forma si el material una vez reciclado se puede volver a usar con otra aplicación o la misma se reduce a la mitad su impacto en el medio ambiente.

En este caso, el programa CES Edu pack clasifica el material por la magnitud de su reciclado y carga medioambiental

Reuse: El caso ideal, se puede reutilizar con otra aplicación y no es necesario transformar el material. Se extiende la vida del producto. Este es el apartado más interesante por su filosofía para este proyecto. Como se explica más adelante, este diseño busca aumentar la vida del producto de forma drástica y por tanto eliminar el impacto medioambiental que se refleja en las gráficas obtenidas del CES Edu Pack.

Re engineer: Consiste en la incorporación del producto reusado en un nuevo producto. Uno de los claros ejemplos de este uso es el caso del papel para poder convertirlo en madera de nuevo y darle un segundo uso. El papel se usa como uno de los materiales que componen la madera en forma de conglomerado.

Recycle: Reprocesar el material en la cadena primaria de suministro. Reduce las emisiones de forma muy considerable en comparación a un material obtenido por primera vez. Puesto que las propiedades del material son muy similares al material inicial, si el material puede ser reciclado como en el caso de los materiales seleccionados es preferible utilizar materiales reciclados.

Si se busca comparar el precio del material reciclado y el material en producción primaria. Se tienen en cuenta dos factores principales, la energía que cuesta la transformación del material y la emisión de CO₂. Dado que las empresas tienen que registrar cuando dióxido de carbono generan y pagar al gobierno de su país por generar dichos gases, las emisiones que se producen también afectan de forma financiera. En el caso del polipropileno solo los gastos energéticos variables son del triple.

Downcycle: reprocesar el material a una menor calidad. Las características se ven afectadas y se trata de materiales más frágiles. Se ha buscado que para este proyecto los materiales puedan reciclarse de forma completa y no pierdan sus características.

Por último, las dos formas que eliminar el material una vez se acaba la vida del producto es la combustión o el landfill. No se son medidas respetuosas con el medio ambiente y que se intentan minimizar.

Combustion: recuperar el poder calorífico contenido en el material. Al mismo tiempo que se obtiene calor se liberan gases contaminantes a la atmosfera.

Landfill: eliminar el material en el vertedero, se almacena y se deja que se descomponga debajo de una capa de tierra.

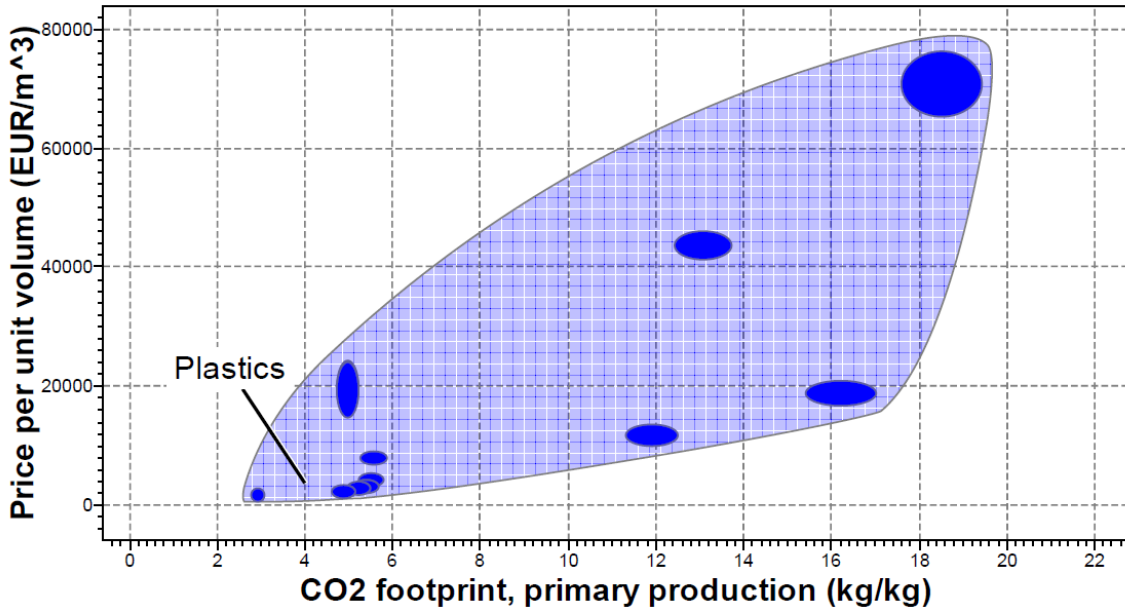


Ilustración 16 Material Exterior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

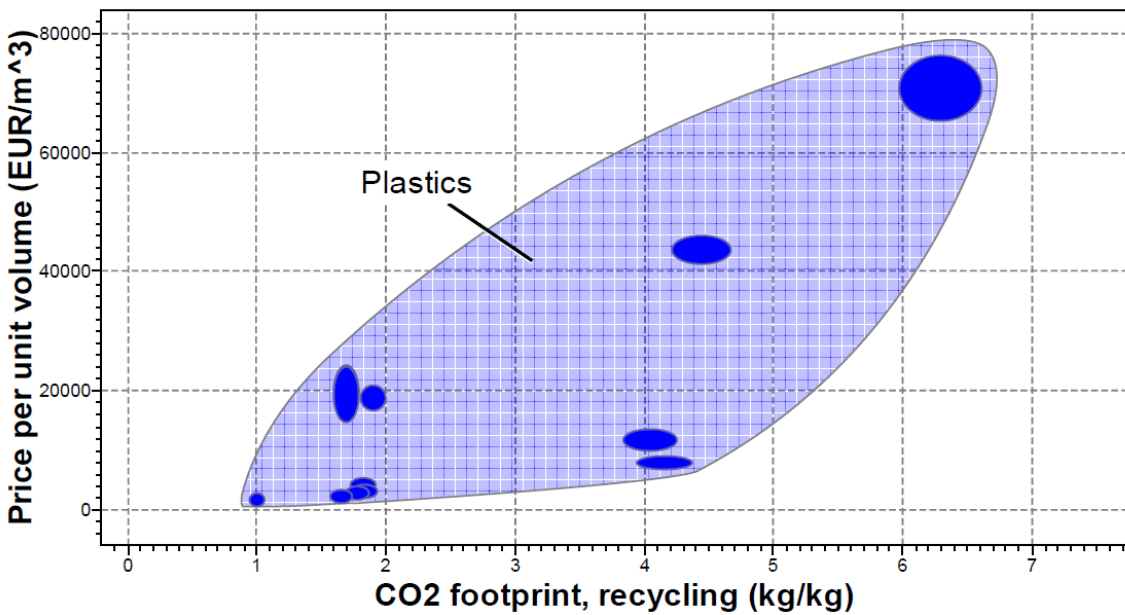


Ilustración 17 Material Exterior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

6.1.3 Material interior

- Tiene que tener resistencia al agua y debe permitir la transpiración del jugador. De acuerdo con el programa de selección de materiales el comportamiento

frente al agua con o sin sal (sudor) debe ser excelente. Es decir, no existe degradación del material a largo plazo, aunque se someta a esas condiciones.

- La transmisión de agua a través del tejido tiene que ser muy elevado. Tomando los cálculos sobre el sudor generado en el cuerpo humano, la transmisión de agua debe ser superior a $100 \frac{gr \cdot mm}{m^2 \cdot day}$. La cantidad de agua que puede pasar en un día a través de una superficie de tejido S con un grosor d.
- Tiene que ser un material que se puede reciclar o que es reciclado.
- Se encuentra sometido al desgaste continuo producido por el contacto. Una alta resistencia a la abrasión.
- Además, tiene que poder entrar en contacto con la piel sin causar irritación o urticaria al portador.
- La protección puede estar sometida directamente a la radiación solar. Sin embargo, se trata de un tejido interior y que no se encuentra sometido directamente por lo que se aplica un orden de “fair” en el programa. Tiene suficiente resistencia a corto plazo, pero no a largo.

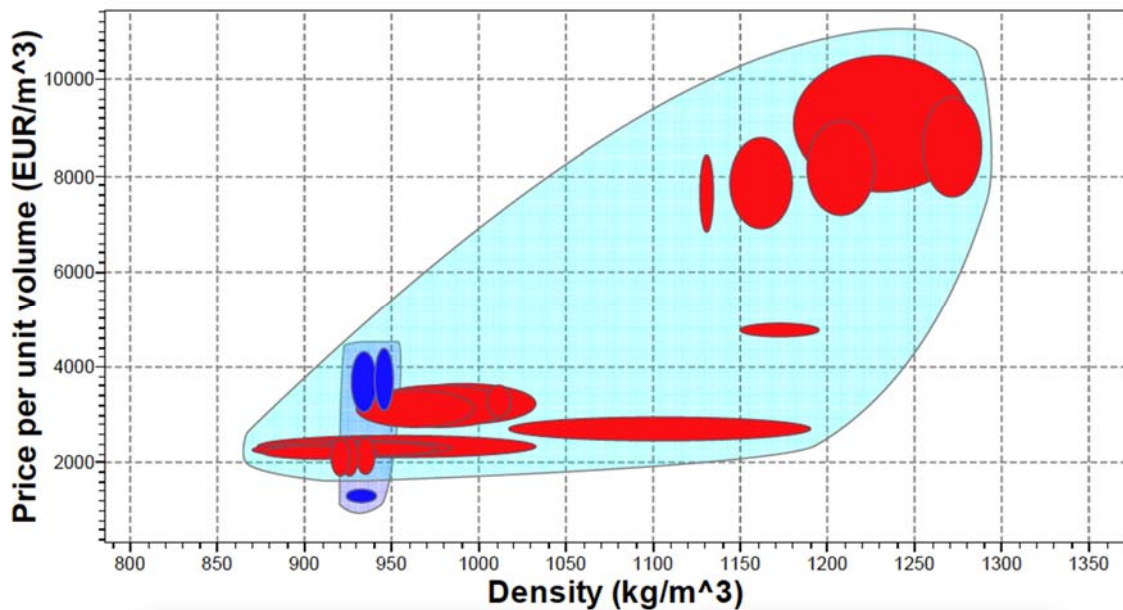


Ilustración 18 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

Se decide usar TPU por sus características de moldeado, mientras que los otros materiales tienen mejor transmisión de agua y permeabilidad. El único material que sirve para esta

aplicación es el TPU, ya que se pueden conformar tejidos. Un ejemplo claro de este tipo de tejidos son las camisetas técnicas de deporte o los pantalones.

Estos materiales tienen un excelente comportamiento frente a la abrasión o buena resistencia al desgarro, dos características fundamentales para una prenda deportiva. Además, tiene un buen comportamiento con la humedad del agua, se comportan de forma rápida y permiten una rápida transmisión del agua.

Como se comenta en adelante, aunque la producción de CO₂ tenga un incremento del 100% no supone una diferencia real. Las cantidades de dióxido de carbono emitido son realmente bajas y no constituyen un factor fundamental.

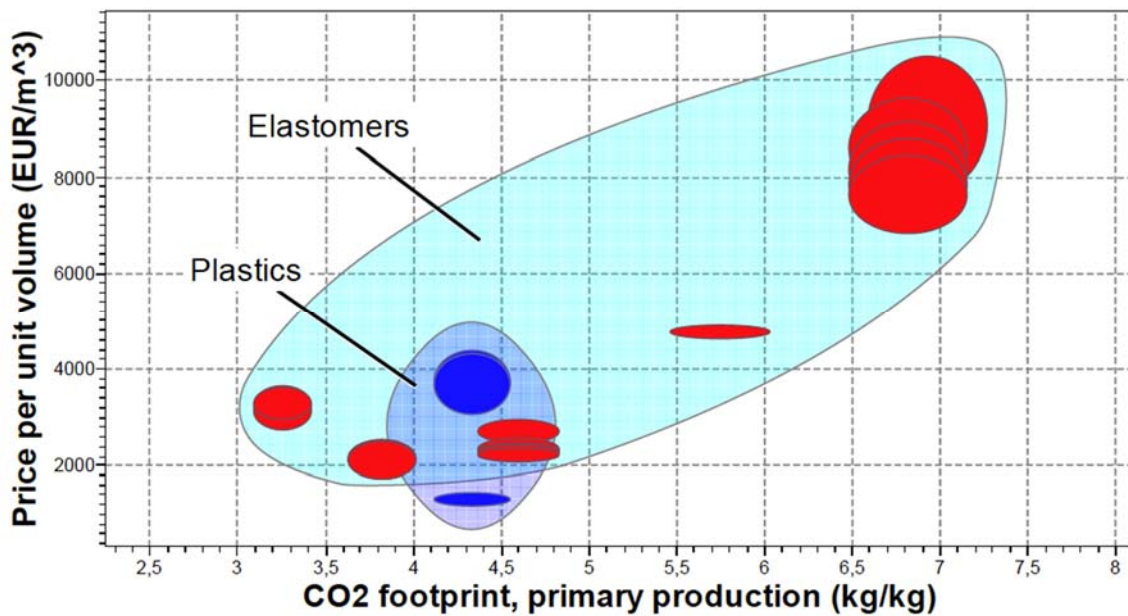


Ilustración 19 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

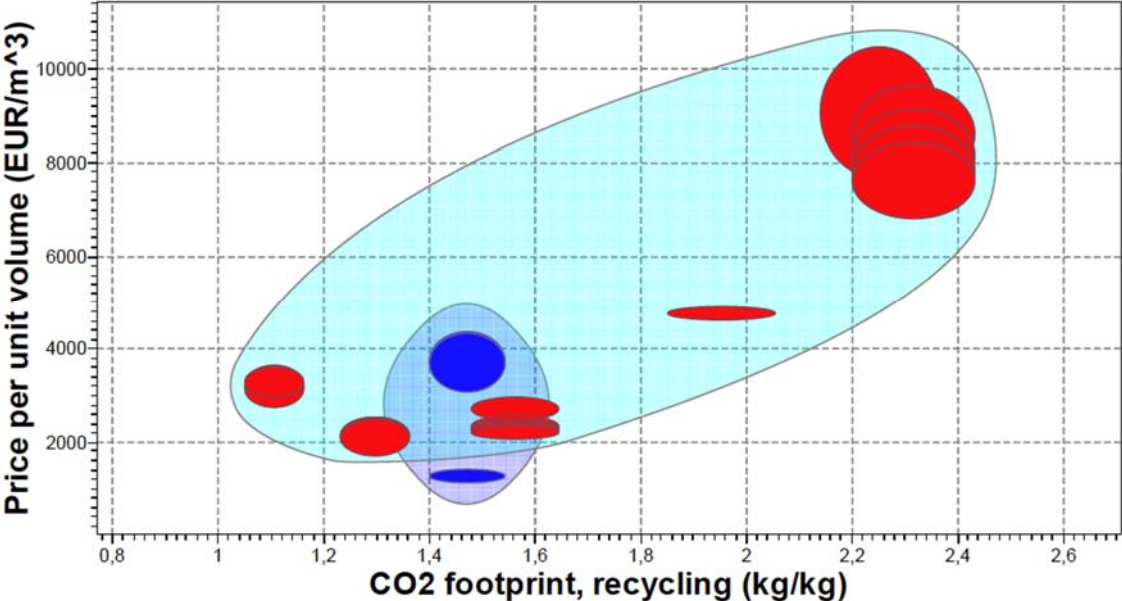


Ilustración 20 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

6.1.4 Piezas rígidas

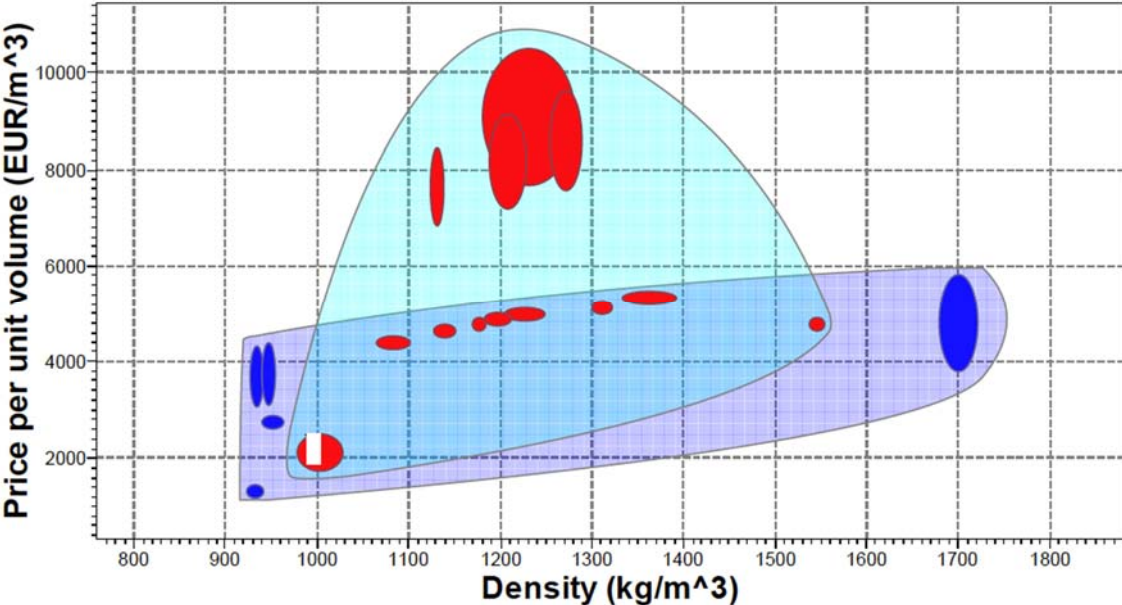


Ilustración 21 Piezas rígidas Gráfica CES EDUPACK entre densidad y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

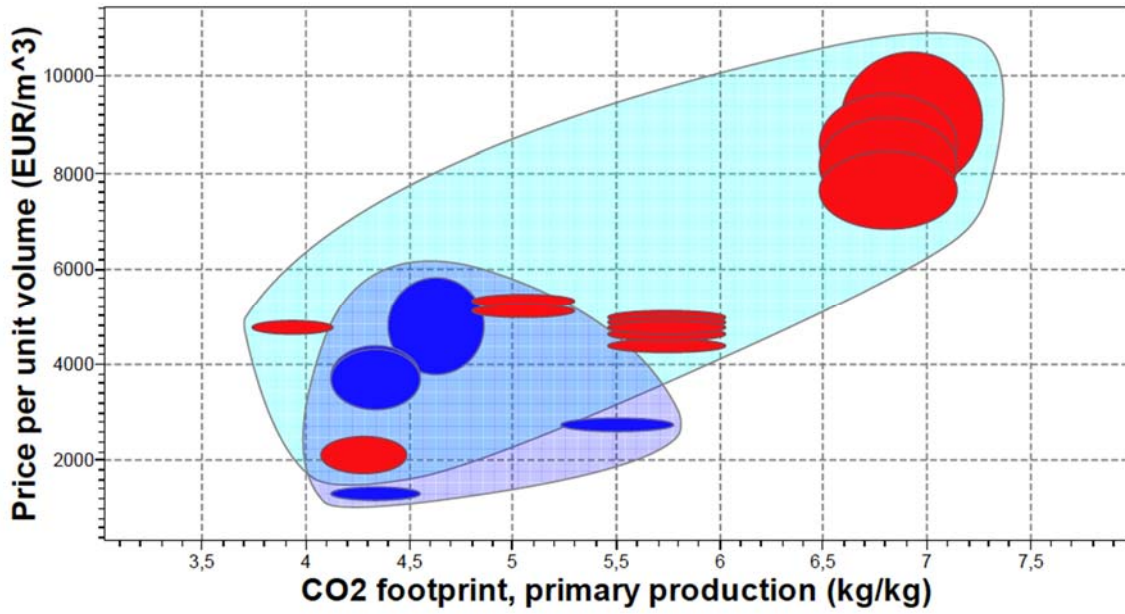


Ilustración 22 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en la producción y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

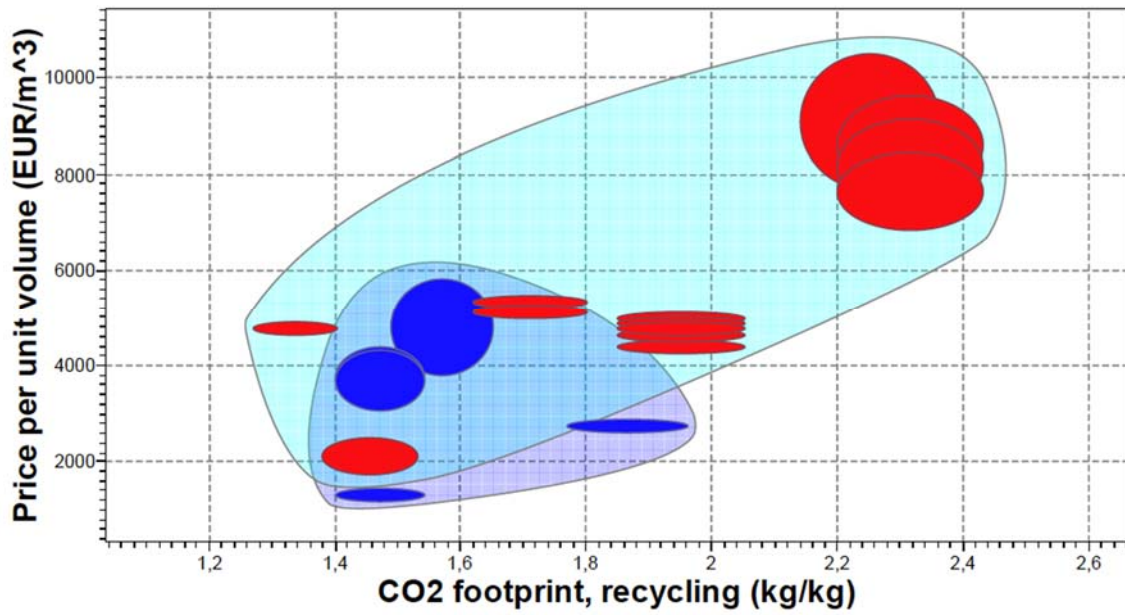


Ilustración 23 Material rígido exterior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

- Se necesita que el material tenga una dureza excepcional, los golpes a los que se sometido por el stick de un jugador contrario tienen toda la energía cinética del jugador contrario aplicada sobre una superficie reducida de su stick.

El jugador atacante se desplaza y el jugador defensivo va a su encuentro con el stick de forma defensiva para evitar que el jugador se desplace hacia la portería. De esa forma existe una velocidad relativa entre ambos jugadores y una superficie de contacto, el stick del jugador defensivo.

La dureza del material se mide en KJ partido por m². La diferencia de velocidad mayor se produce entre un jugador casi estático y otro en máxima velocidad. Si ambos jugadores se mueven la velocidad se ve reducida y el impacto es menor, en el lance de juego no es habitual que dos jugadores busquen el encuentro con velocidad, todo lo contrario, el sentido del jugador defensivo es el mismo que el del jugador atacante.

No se puede realizar el estudio al igual que la bola de Lacrosse ya que se trata de un contacto más prolongado. La fuerza media se calcula como el cociente entre el impulso y el tiempo. La colisión en este ejemplo dura segundos, el jugador defensivo recibe la velocidad del jugador y amortigua el impacto con los brazos, el contacto es prolongado pero la velocidad se reduce.

Considerando que la velocidad de un jugador puede alcanzar los 15 km por hora y que la masa de un jugador medio oscila alrededor de los 80 kg. La energía cinética que el jugador aplica será aproximadamente 700 J. El factor fundamental no es la velocidad o la masa del jugador sino la pequeña superficie de contacto. Las manos del jugador están separadas 20 cm aproximadamente y la superficie de contacto es alrededor del 50%. Por otra parte, el stick de Lacrosse tiene un ancho de 3 cm, la superficie de contacto final es 30 cm². La dureza que debe soportar el material de forma puntal es 225 KJ/m².

La velocidad del jugador se reduce evidentemente de forma inmediata después del contacto y el otro jugador también sufre un retroceso que amortigua el impacto. El material seleccionado tiene una dureza máxima de 60 KJ/m², se considera que cumple su función protectora puesto que la energía máxima que se aplica en el

momento inicial es mucho mayor a la que se aplica cuando la velocidad del jugador atacante se pierde.

- Uno de los materiales más usados en protección para ropa deportiva es la fibra de carbono. Se trata de material que utiliza plástico reciclado, ligero y de elevada dureza. Sin embargo, se rechaza la fibra de carbono por su difícil reciclado. Se busca que la protección sea en su totalidad fácil de reciclar y que no sea necesario tener que recurrir a métodos que primero tengan que separar las fibras y posteriormente la matriz.
- Al encontrarse entre dos capas de material exterior, no es necesario que el material rígido tenga propiedades contra la abrasión o que sus propiedades contra la radiación sean excelentes.

El material que destaca por su bajo precio es el TPO (Thermoplastic Polyolefin Elastomer), un material con buenas propiedades mecánicas y cuyas aplicaciones son muy variadas. Los bienes deportivos y las aplicaciones para amortiguar impactos se encuentran entre las mismas. Otras características por destacar serían que son difíciles de juntar a otros materiales debido a la incompatibilidad de adhesivos. Por último, destaca que este tipo de materiales puede tener descoloración cuando se somete a radiación ultravioleta sin cambiar sus propiedades mecánicas. Lo que resulta perfecto para nuestra aplicación como se ha comentado anteriormente.

6.1.5 Adhesivo

Para poder unir todos los materiales se recurre a un adhesivo anaeróbico. El adhesivo que se selecciona es el epoxi, por sus características mecánicas y porque no se degrada a pesar de las condiciones en las que se encuentra. La protección debe ser capaz de soportar temperaturas altas, bajas y humedad. Son adhesivos que se pueden encontrar en estado líquido para permitir que ambas capas se puedan adherir sin dificultad. Por último, como se comentó anteriormente, el material rígido seleccionado necesita un adhesivo anaeróbico de este tipo por motivos de compatibilidad.

6.2 Aplicación de los materiales

En la siguiente tabla se presentan las características necesarias posteriormente de los materiales que se han seleccionado. Algunas de las cifras que se desean obtener son el precio de los materiales de fabricación, el peso de la protección, se desea calcular la transmisión de calor en la protección y por último su comportamiento con el medio ambiente (energía necesaria para la fabricación y emisiones de CO₂). Quiero destacar el caso del adhesivo que se va a utilizar junto a un cosido para unir los diferentes materiales. Se trata del material menos respetuoso con el medio ambiente, además de ser el material más caro. En la tabla no se introduce tampoco el grosor que tiene en la protección porque solo se va a aplicar en juntas y de forma reducida. Las uniones van a ser mediante hilo y un cosido, aportando así más rigidez a la estructura.

	Unidades	Rígido	Interior	Exterior	Protector	Adhesivo
		TPO	TPU	PP	EVA85	Epoxi
Price per unit volume	[k eur/m ³]	2,21	4,79	1,86	1,68	5,23
Density	[kg/m ³]	985	1170	905	950	1570
Thermal Conductivity	[W/m°C]	0,805	0,125	0,201	0,35	1,82
Specific Heat Capacity	[KJ/kg°C]	1,3	1,59	1,9	2,1	0,95
Thermal resistance	[MW/m]	0,0137	0,00073	0,00168	0,00202	2,76
Water Vapor Transmission	[g*mm/m ² *day]	0,097	80	0,268	2,99	
Embodied energy, primary production	[MJ/kg]	88,6	122	68,6	79	685
CO ₂ footprint, primary production	[kg/kg]	4,25	5,82	2,95	2,11	48,3
Embodied energy, recycling	[MJ/kg]	28,2	41,7	23,6	26,9	
CO ₂ footprint, recycling	[kg/kg]	1,43	1,95	0,99	0,712	
Thickness	[mm]	2	1	1	4	

Table 11 Propiedades necesarias de los materiales seleccionados

Dado que se ha dividido la muestra en tres grupos según su tamaño, los cálculos van a ser realizados tres veces en función de la talla S, M y L. Si bien el jugador de mayor tamaño disipa más energía de forma cuantitativa, de forma cualitativa se realiza la hipótesis de que

será similar a las otras tallas. De forma evidente, el material necesario es mayor y las emisiones al medio ambiente también son superiores.

Las siguientes tablas que se presentan son las propiedades de los materiales en función de la superficie de la protección y de su talla.

6.2.1 Talla S

	Unidades	Rígido	Interior	Exterior	Protector	Total
		TPO	TPU	PP	EVA85	
Price per unit volume	[eur]	0,34	0,61	0,47	1,71	3,14
Weight	[kg]	0,15	0,15	0,23	0,97	1,50
Thermal Conductivity	[W/m ² °C]	402,50	250,00	201,00	87,50	40,87
Specific Heat Capacity	[KJ/°C]	0,20	0,24	0,44	2,03	2,91
Water Vapor Transmission	[g/day]	12	40800	68	191	68,34
Embodied energy, primary production	[MJ]	13,35	18,20	15,83	76,55	123,93
CO2 footprint, primary production	[kg]	0,64	0,87	0,68	2,04	4,23
Embodied energy, recycling	[MJ]	4,25	6,22	5,45	26,07	41,98
CO2 footprint, recycling	[kg]	0,22	0,29	0,23	0,69	1,42
Thickness	[m]	0,002	0,001	0,001	0,004	0,008

Table 12 Características de los materiales aplicadas en la talla S

Los elementos más importantes en función de la talla son el precio y el dinero. Puesto que se trata de una protección de mayor tamaño, es consecuente que el peso o precio de los bienes de fabricación sean algo superiores.

La conductividad térmica se obtiene en función del sándwich principal, es decir, material exterior, interior y protector. Corresponde al 70% de la armadura. Sin embargo, el material rígido solo se encuentra presente en determinados puntos de la estructura, se aplica un factor del 30% a su superficie en la armadura. Se encuentra presente en el esternón, columna vertebral y hombros.

La capacidad de permitir la transmisión de agua desde la piel hasta la superficie exterior es igual al material que menor capacidad de transmisión de agua posea. En este caso es el material exterior, por tanto, si la cantidad de agua que transpira es superior a las características del material exterior. El agua transpirada se almacena en el material protector. Por otra parte, si hay lluvia, el material exterior no permite que el agua llegue al interior de la protección.

Por último, comentar su comportamiento con el medio ambiente, como se comentó en la selección de materiales, la energía es más de un 300% mayor si el material es nuevo, en vez de reciclado. Respecto a las emisiones de CO₂, son realmente reducidas. Para conocer la magnitud del CO₂ que se desprende, es aproximadamente igual a la cantidad que se libera por cada litro de gasolina en un coche.

6.2.2 Talla M

Como comentarios sobre los resultados obtenidos para la talla M, se destaca que hay variables como la conductividad térmica o la transmisión de agua al tratarse de variables adimensionales permanecen constantes.

	Unidades	Rígido	Interior	Exterior	Protector	Total
		TPO	TPU	PP	EVA85	
Price per unit volume	[eur]	0,36	0,66	0,51	1,85	3,38
Weight	[kg]	0,16	0,16	0,25	1,05	1,62
Thermal Conductivity	[W/m ² °C]	402,50	250,00	201,00	87,50	40,87
Specific Heat Capacity	[KJ/°C]	0,21	0,26	0,47	2,19	3,13
Water Vapor Transmission	[g/day]	13	44000	74	206	73,70
Embodied energy, primary production	[MJ]	14,40	19,63	17,07	82,56	133,65
CO2 footprint, primary production	[kg]	0,69	0,94	0,73	2,20	4,57
Embodied energy, recycling	[MJ]	4,58	6,71	5,87	28,11	45,28
CO2 footprint, recycling	[kg]	0,23	0,31	0,25	0,74	1,54
Thickness	[m]	0,002	0,001	0,001	0,004	0,01

Table 13 Características de los materiales aplicadas en la talla M

6.2.3 Talla L

Por último, se presentan los resultados para la talla mayor. El valor principal que se busca comparar es el peso. La diferencia no es sustancial puesto que existe mayor diferencia en relación entre el peso medio de los jugadores que entre el peso de la protección.

	Unidades	Rigido	Interior	Exterior	Protector	Total
		TPO	TPU	PP	EVA85	
Price per unit volume	[eur]	0,40	0,73	0,57	2,05	3,75
Weight	[kg]	0,18	0,18	0,28	1,16	1,79
Thermal Conductivity	[W/m ² °C]	402,50	250,00	201,00	87,50	40,87
Specific Heat Capacity	[KJ/°C]	0,23	0,28	0,52	2,43	3,48
Water Vapor Transmission	[g/day]	15	48800	82	228	81,74
Embodied energy, primary production	[MJ]	15,97	21,77	18,94	91,56	148,23
CO2 footprint, primary production	[kg]	0,77	1,04	0,81	2,45	5,06
Embodied energy, recycling	[MJ]	5,08	7,44	6,51	31,18	50,21
CO2 footprint, recycling	[kg]	0,26	0,35	0,27	0,83	1,70
Thickness	[m]	0,002	0,001	0,001	0,004	0,01

Table 14 Características de los materiales aplicadas en la talla L

6.2.4 Permeabilidad de la protección

En la siguiente imagen se busca representar de forma ilustrativa los dos casos de permeabilidad en la protección.

El primer caso es si no hay lluvia en el exterior o la humedad relativa es realmente elevada. Como se aprecia en la ilustración la producción de sudor es mucho mayor que el sudor que llega a la superficie de la última capa. Esto se debe a que la última capa es casi impermeable. El agua pasa en su totalidad a través de la capa interior y llega a la zona interior de la espuma. La espuma no permite que el agua pasa a través de esta segunda capa y absorbe una parte del sudor. La cantidad de sudor absorbido es reducida en comparación a la

cantidad de sudor producido, si se absorbiera toda el agua la protección aumentaría de peso muy considerablemente.

El segundo caso es similar al primero, el vapor de agua circula hasta la espuma donde parte una fracción es absorbida. Sin embargo, en este caso, la cantidad de sudor absorbida depende de las condiciones externas. SI bien depende de forma mínima, se considera que el parte de la lluvia o humedad penetra en la capa exterior. Parte del agua que penetre será absorbida por la capa protectora y por tanto la capa intermedia no solo se satura con el sudor del jugador, sino que también tiene agua del entorno.

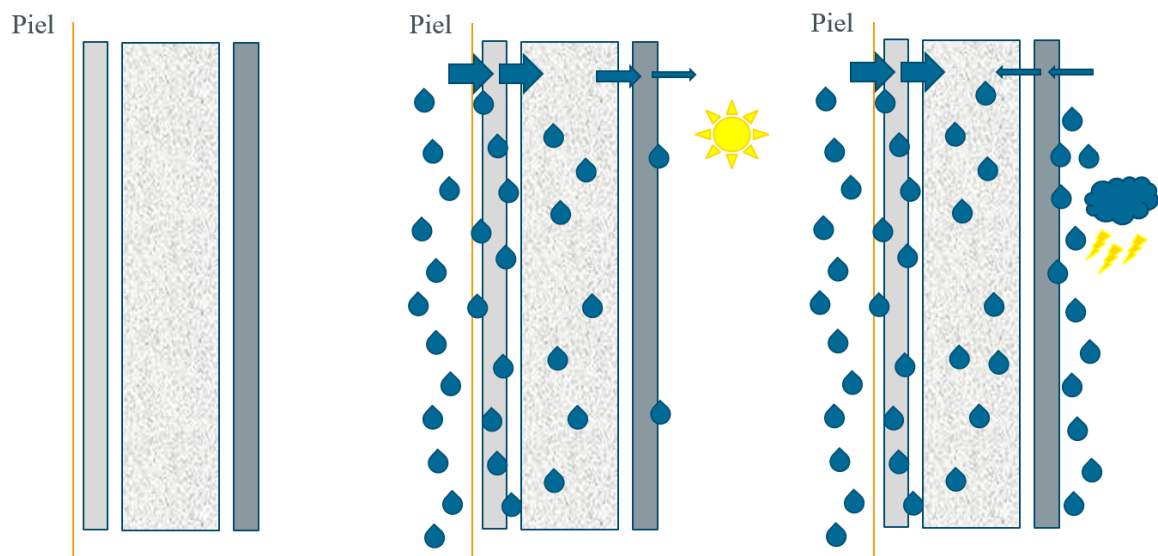


Ilustración 24 Representación gráfica de los flujos de agua en las capas de la protección

Fuente: Elaboración propia 2019

6.3 Conclusiones

En este capítulo se ha realizado una selección de los distintos materiales según sus aplicaciones, se ha considerado sus características mecánicas y su comportamiento con el medio ambiente. Además, se ha realizado el cálculo en función de la talla para conocer parámetros fundamentales de la fabricación y diseño del producto. Por último, una representación esquemática de los flujos de agua en la protección. En el siguiente capítulo se realiza unas conclusiones con los beneficios obtenidos gracias al nuevo diseño.

7 Presupuesto

En los capítulos anteriores se han establecido las conclusiones en el diseño y las ventajas que suponen frente al mercado actual. En este capítulo se realiza el presupuesto que cuesta realizar el Proyecto. Los gastos se dividen principalmente en dos, capital humano y consumibles.

7.1 Capital humano

Los gastos por capital humano se dividen la persona y el lugar de trabajo:

Gastos por mano de obra directa o lo que se denominó anteriormente como capital humano. Es el conjunto de conocimientos y know-how de la persona que realiza un Proyecto además de sus capacidades, educación, experiencia y práctica profesional.

Gastos por el puesto de trabajo, forma parte del capital estructural. Está compuesto por la ofimática y los consumibles para llevar a cabo el proyecto como el lugar de trabajo o los equipos informáticos.

El Proyecto ha sido realizado por un Máster en Ingeniería Industrial. El trabajo ha sido principalmente de ingeniería y documentación, por lo que las horas de trabajo computan con horas de ingeniería de acuerdo al convenio actual del textil en España para 2019²⁶.

- 1 de octubre – 20 de diciembre 3 horas/semana
- 21 de diciembre – 15 de junio 25 horas/semana

	Categoría profesional	Grupo profesional	Salario/Día [€/día]	Incentivo/Día [€/día]	Horas
Ingeniería	Titulado superior	G	43,79	9,42	520
Documentación	Titulado superior	G	43,79	9,42	130

Table 15 CCOO Convenio textil aplicado al Proyecto

Considerando que no se trata de una empresa y que no debe realizar ningún contrato. Se realiza la operación y el capital humano por mano de obra directa tiene un coste de 4300 €.

²⁶ [CCOO19] *CCOO, Niveles Salarial y Valor Grupo obtenidos del convenio Textil*, (2019)

7.2 Consumibles

Se consideran las herramientas necesarias para realizar el proyecto, el coste más elevado son las licencias de software y el ordenador.

	Coste unitario con IVA [€]	Nº de Unidades	Gasto total [€]
Ordenador	1250	1	1000
Licencia anual de Ergonautas	390	1	390
Licencia anual de CES Edu Pack	1500	1	1500
Licencia anual de Java	0	1	0
Licencia anual de GAMS	0		0
Licencia anual de Microsoft Office	1100	1	1100
Mesa de trabajo	250	1	250
Silla de trabajo	100	1	100
Soporte bombilla	30	1	30
Bombillas	1	1	1
Conexión a internet	20	9	240
			4611

Table 16 Cálculo de los consumibles

Precio electricidad	Horas	Potencia necesaria	Gasto total electricidad [€]
0,13€/Kwh	650	Ordenador (16,5 V *3,65 A)	5

Table 17 Precio de la electricidad variable

No se considera el precio entero de la licencia. Dado que hay más proyectos y que los programas van a ser utilizados con diferentes aplicaciones no se aplica la totalidad de la licencia al Proyecto. Se divide proporcionalmente frente al tiempo de uso.

	Precio total	Meses	Gasto total [€]
Licencia de Ergonautas	390	2	65
Licencia de CES Edu Pack	1500	3	375
Licencia de Microsoft Office	1100	9	825
			1265

Table 18 Licencias

Por otra parte, se realiza la depreciación de los consumibles cuya vida útil es mayor a la duración del proyecto. Se aplica depreciación decreciente tanto al ordenador como al mobiliario.

Para el proyecto ha sido adquirido un ordenador portátil. Dado que se deprecia no linealmente se realiza la siguiente tabla. La depreciación no lineal aporta mayor valor de depreciación durante los primeros años de uso. El cálculo del porcentaje es igual al cociente entre número de años de depreciación más uno menos el número actual entre la suma de los años.

$$Porcentaje = \frac{Total \text{ años de depreciación} + 1 - \text{Año actual}}{\sum \text{Años}} \quad [8.1]$$

El ordenador se encuentra en el primer año por lo que corresponde la cifra acorde.

	1º Año	2º Año	3º Año	4º Año	5º Año	Suma total
Porcentaje que se deprecia	33,33	26,66	20	13,33	6,66	100%
Precio ordenador [€]	333,3	266,6	200	133,3	66,6	1250,00

Table 19 Depreciación del ordenador

Se realiza el mismo análisis para los muebles considerando una vida útil de 10 años para el mobiliario.

	1º Año	2º Año	3º Año	4º Año	5º Año	6º Año	7º Año	8º Año	9º Año	10º Año
Porcentaje que se deprecia	18,2	16,4	14,5	12,7	10,9	9,1	7,3	5,5	3,6	1,8
Precio mobiliario [€]	69,1	62,2	55,3	48,4	41,5	34,5	27,6	20,7	13,8	6,9
Precio acumulado [€]	69	131	187	235	276	311	339	359	373	380

Table 20 Depreciación del mobiliario

En la siguiente ilustración se puede observar como el valor del mobiliario no se deprecia de forma lineal. Prácticamente en los tres primeros años ya se ha conseguido depreciar la mitad del gasto.

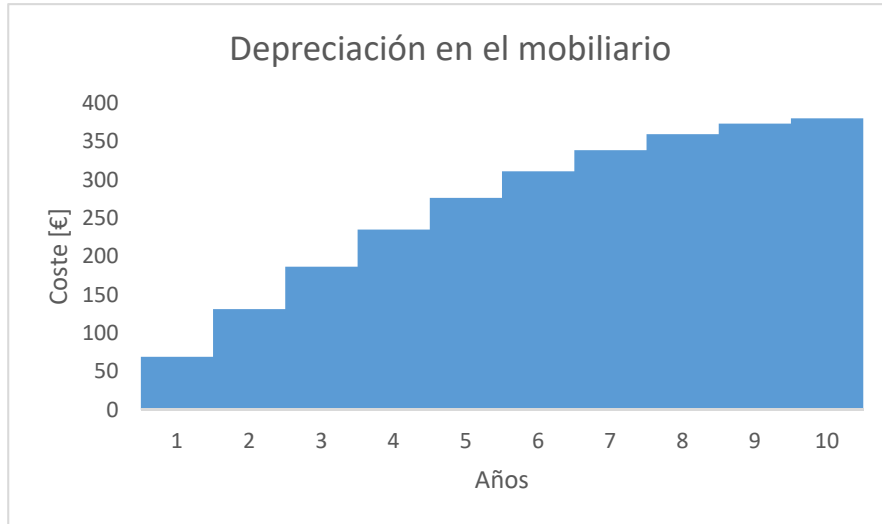


Ilustración 25 Representación gráfica de la depreciación

Fuente: Elaboración propia, 2019

El coste final del proyecto viene recogido en la siguiente tabla:

	Coste final [€]
MOD	4300
Consumibles	1943
Ordenador	338
Mobiliario	69
Licencias	1265
Otros	271
Alquiler	500
	6743

Table 21 Coste final

7.3 Conclusiones

En este capítulo se ha calculado el presupuesto del Proyecto. Como se puede apreciar en la tabla superior los gastos más importantes los constituyen tanto las horas de trabajo como los consumibles. Siendo dentro de los consumibles las licencias el gasto más importante. En los siguientes capítulos se engloban las conclusiones del diseño y se realiza una comparación con el mercado actual. Después se analizan los objetivos marcados y conseguidos

8 Comparación del diseño actual en el mercado

Este capítulo ha sido dividido en tres, la función principal, el medio ambiente y la ergonomía. Se definen los tres como la base de este diseño y entre los cuales se ha establecido un equilibrio. Se recogen las conclusiones y se compara con el estado actual de la técnica.

8.1 Función principal

Se trata de una protección deportiva y por tanto su función principal es proteger al jugador. En este proyecto la intención principal era mantener las características de seguridad e incrementar el resto de las propiedades que se enumeran más adelante. Sin embargo, se considera una medida en el diseño conceptual de la armadura. Consiste en el alargamiento de la protección en la parte superior del hombro a la zona lateral. De esa forma, se consigue proteger la parte lateral de impactos frecuentes. Más de un tercio de las lesiones de tronco superior son causadas en la zona del hombro.

En la siguiente imagen se aprecia como el diseño en los últimos años ha sido incrementando la protección lateral en el hombro, cuando la zona estaba completamente a descubierta a que la hombrera baje un poco y además tenga protección en la parte superior del bíceps. Sin embargo, la protección no llega alcanzar las dimensiones que se sugieren y sigue usando la protección lateral de forma aislada, que no supone ninguna ventaja.



Ilustración 26 Evolución del hombro en la protección

Fuente: Elaboración propia 2019

8.2 Medio ambiente

Se llevan a cabo dos medidas principales, la primera concierne a la materia prima de la armadura y su tratamiento. Mientras que la segunda intenta aumentar la calidad del producto y que su vida incremente.

8.2.1 Materiales reciclados

Todos los materiales (salvo el adhesivo) que se utilizan para fabricar la protección son reciclados y se pueden volver a reciclar. Aunque las emisiones no supongan un gran efecto en la producción de gases, la diferencia de dióxido de carbono supone la mitad. Las protecciones de Lacrosse actualmente usan materiales como la fibra de carbono que son fácilmente sustituibles en equipamiento deportivo solo para favorecer sus ventas. Sin embargo, mediante la estrategia de una protección sostenibles las ventas se podrían mantener constantes o aumentar.

En la siguiente ilustración se puede apreciar una de las variables que se ha tenido en cuenta para la elección de materiales mediante el programa CES Edu Pack.

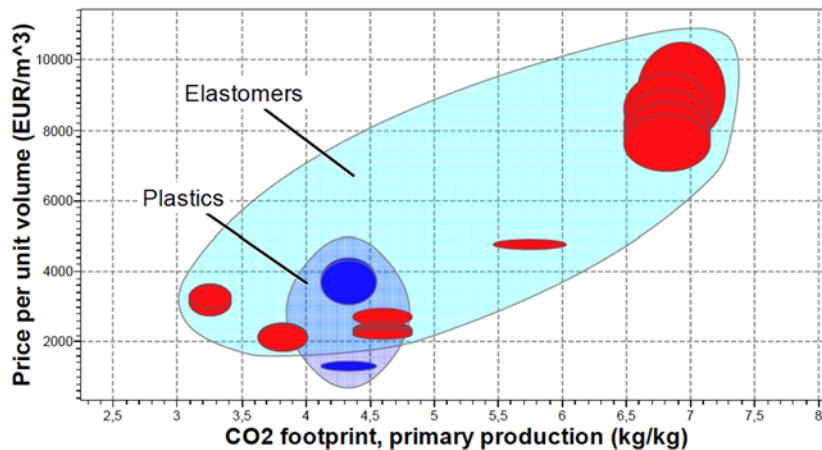


Ilustración 27 Material Interior Gráfica CES EDUPACK entre huella de carbono en fin de uso y precio

Fuente: Captura de pantalla CES EDUPACK 2019

Los materiales escogidos han sido: material rígido, TPO; material interior, TPU; material exterior, PP y material protector, EVA85. El peso de la protección será de 1,5 kg a 1,7 kg, se encuentra dentro de la normalidad en las protecciones de pecho y no mejora al estado anterior de la técnica.

8.2.2 Vida útil del producto:

Para aumentar la vida útil del producto se comienza desde los fallos iniciales. En estos fallos iniciales se encuentran los errores de fabricación o la mala elección de tallaje. Este proyecto no profundiza en la fabricación detallada de la prenda, sin embargo, el tallaje y su ajuste se considera fundamental. Se ha tomado una muestra real de jugadores de Lacrosse

y se ha utilizado un recurso estadístico para que la armadura se ajuste perfectamente a todos los jugadores. Solo mediante tres medidas fundamentales, el jugador es capaz de decidir sobre su tallaje y evitar el error en la compra. Al tratarse de un deporte americano y los pedidos transoceánicos normalmente se desecha la protección y en muchas ocasiones se pierde.

El segundo se fija en el final de la vida del producto. Las protecciones actuales sufren desgaste acelerado solo en determinadas partes mientras que la pieza principal de la armadura se encuentra en perfecto estado. Las piezas con desgaste superior son los elásticos o los velcros. Para evitar dicho desgaste en este Proyecto se propone el uso de velcros que se pueden retirar de la pieza principal de la armadura, facilitando así un recambio y que la protección se pueda seguir utilizando. Respecto a las ventas de la armadura, se piensa que el beneficio neto aumentaría ya que las piezas de recambio son relativamente sencillas y su margen de beneficio sería muy superior.

Como se aprecia en la siguiente fotografía el foco de atención se sitúa en las zonas más críticas en la vida útil del producto y gracias a lo cual se ha mejorado sustancialmente su vida.

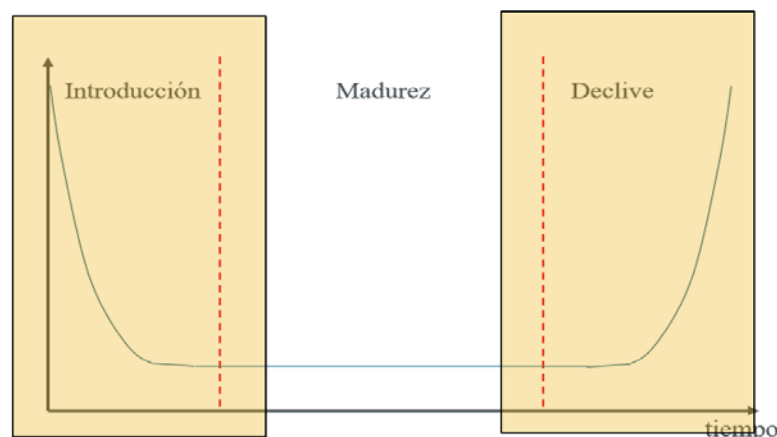


Ilustración 28 Vida útil del producto y las zonas críticas

Fuente: Elaboración propia 2019

8.3 Ergonomía

El jugador de Lacrosse prescinde de las protecciones de pecho en numerosas ocasiones argumentando falta de comodidad o de movimiento. Actualmente, las protecciones de Lacrosse dificultan la respiración de la piel y obstaculizan el movimiento de las

articulaciones superiores. A continuación se presentan las conclusiones de ambos puntos en detalle

8.3.1 Térmica y sudor

La selección de materiales se ha seguido en función de las características mecánicas y cerciorando la protección del jugador. Sin embargo, para su selección también ha sido crucial la permeabilidad del tejido o su resistencia térmica. Para que el jugador no evite el uso de protecciones es importante que se encuentre en confort térmico con la protección puesta.

Una vez realizado el cálculo térmico se obtiene que en invierno apenas se incrementa la energía interna mientras que en verano la energía interna incrementa por hora la mitad de la tasa metabólica. La protección se trata de una variable compleja para el diseño térmico. Mientras que no se realice correctamente la selección de materiales, la ergonomía térmica puede dificultar mucho el juego. Sin embargo, la transmisión de calor en el cuerpo humano no la define únicamente la protección y si las condiciones exteriores son calurosas la transmisión de calor hacia el entorno es menor de lo ideal y apenas se puede acelerar.

Por otra parte, desde el punto de vista de la permeabilidad se ha conseguido un equilibrio en las diferentes capas de la estructura sándwich para que se pueda jugar en condiciones tanto de lluvia como soleadas. El peso de la protección no aumenta de forma drástica ya que la absorción máxima de la espuma es del 0,15% del peso. Se consigue que el jugador pueda transpirar sin que la protección sea permeable.

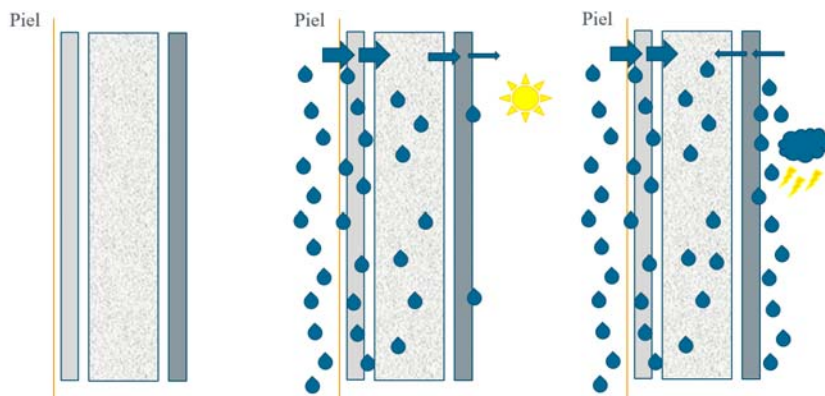


Ilustración 29 Representación gráfica de los flujos de agua en las capas de la protección

Fuente: Elaboración propia 2019

8.3.2 Ajuste al cuerpo

En la actualidad, las protecciones no se ajustan con comodidad y hay muchos jugadores que evitan su uso en entrenamientos o partidos ligeros. Gracias al estudio estadístico se asegura que, si el jugador elige correctamente la talla, esta se ajustará al cuerpo a la perfección y permitiendo la movilidad de los hombros. La diferencia principal viene causada por el deterioro de las piezas elásticas que finalmente no permiten al jugador ajustar correctamente la armadura.

Se presenta a continuación la tabla con las medidas obtenidas mediante el algoritmo. Los jugadores son repartidos entre los diferentes grupos y las medidas están ajustadas al grupo de su talla. Esto permite la elección de la talla sin necesidad de probarse previamente la protección y solo mediante tres medidas. La altura y el peso no resultan tan representativas.

	Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho del brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]
S	97,71	43,57	29,86	169,43	69,71
M	103,62	45,08	34,15	179,62	74,15
L	109,30	47,90	36,90	186,40	88,70

Table 22 Medidas optimizadas de las tallas

Por último, mediante el velcro y su pieza única separa se consigue que el ajuste sea correcto siempre que el jugador sustituya la pieza en peor estado.

9 Objetivos conseguidos y líneas de investigación

9.1 Introducción

El proyecto concluye con la comprobación del clavo, cálculos del nuevo diseño y la solicitud de patente. En primer lugar, se realiza una evaluación del cumplimiento de los objetivos, posteriormente se recogen las conclusiones de los capítulos y finalmente se establecen futuras líneas de investigación.

9.2 Objetivos del proyecto

- *Resolver las limitaciones actuales en cuanto a movilidad presentes en las protecciones deportivas. Maximizar las diferentes posibilidades de ajuste de la protección al cuerpo del jugador.*

En el Capítulo 2, el Lacrosse se define por primera vez las necesidades exactas de un jugador y su comportamiento con la ropa deportiva. Se realiza un estudio previo para comprender cuales son las herramientas que se usan actualmente. Sin embargo, será en el siguiente capítulo en el que se empiezan a definir los diferentes ajustes y como aumentar la vida útil del producto sin restringir su ergonomía. Por último, el Capítulo 4 busca reducir las dificultades en movilidad al máximo desde el correcto ajuste de tres medidas características.

- *Aprender el uso de recursos estadísticos, como el uso de percentiles, para el diseño ergonómico. Asimismo, considerar las áreas ergonómicas del cuerpo humano para el correcto diseño conceptual.*

Como ya se ha comentado en el anterior punto, el Capítulo 4 *Diseño II: Tallas y partes* toma tres medidas características basadas en la ergonomía y anatomía humana para definir tres tallas diferentes en la prenda deportiva y optimizar el movimiento del jugador. Para encontrar el tamaño adecuado de dichas tallas se usa el recurso estadístico basado en la iteración de Voronoi, K- medias.

- *Diseñar una protección que permita minimizar el impacto físico hacia el jugador.*

En el segundo Capítulo se establecen las lesiones más comunes y las protecciones que se usan para reducir el daño físico. Gracias a las conclusiones obtenidas de esta investigación se puede realizar un análisis mecánico. Tanto en primer capítulo como en el último del diseño se tienen en cuenta los esfuerzos mecánicos a lo que la protección está sometida.

- *Realizar un diseño que permita incrementar el ciclo de vida del producto. Se considerarán diseños con piezas intercambiables, reciclado, segundo uso, alternativas a materiales elásticos...*

En el Capítulo 3 *Diseño I: Equipamiento deportivo* se establece el uso de una nueva pieza para aumentar la vida útil del producto y prescindir de materiales elásticos fijos. También se aumenta la vida mediante la reducción de errores iniciales. Por otra parte, en el Capítulo 6 *Diseño IV: Selección de materiales* tiene especial atención al medio ambiente en la determinación de los materiales que se usan. Todos los materiales utilizados para confeccionar la armadura son reciclados y se pueden volver a reciclar.

- *Selección de materiales que mantengan un compromiso entre la protección, vida útil, coste y peso.*

Se ha llevado a cabo un estudio detallado para la determinación de cada material. Las propiedades mecánicas de los materiales son una característica necesaria y las otras tres características han sido analizadas mediante esquema para obtener la mejor relación sin perjudicar ninguna de las variables

9.3 Futuras líneas de investigación

Diseño para la fabricación: uso de un software especializado para hacer la estructura exacta de la protección. Este proyecto ha permitido determinar los materiales que se van a usar y las superficies necesarias para realizar el producto. Sin embargo, no ha existido la posibilidad de fabricar el producto y confeccionarlo. Al tratarse de una pieza flexible y muy irregular no se pueden usar software de piezas como CATIA V5 o Solidworks, se debe usar un software especializado para el textil.

Nuevas partes de la equipación: una vez diseñada la primera protección de Lacrosse y dado que los materiales o características necesarias son conocidos, el diseño del resto de las

protecciones de la equipación. Las coderas tienen una estructura muy similar y usarían la totalidad de los materiales escogidos. Por otra parte, los guantes requerirían un trabajo posterior mucho más sofisticado y necesitaría la ayuda del software textil ya mencionado.

Precio y estrategia en el mercado: una vez se ha determinado como se va a fabricar la protección, se debe definir el precio de venta en el mercado y su estrategia. Dado que se trata de un deporte completamente asentado en Norteamérica, una posible estrategia podría ser centrarse en el mercado europeo. Este mercado está mucho más concienciado con las responsabilidades medioambientales y sería más fácil acceder al mismo.

10 Bibliografía

10.1 Artículos y libros

- [ZACH15] *Zachary Y. Kerr*, The epidemiology's of NCAA men's lacrosse injuries, (2015)
- [TIPL08] *Tipler, Paul; Mosca, Gene*, Física para la ciencia y la tecnología, (2008)
- [DIEG19] *Diego Mas, José Antonio* Evaluación del confort térmico con el método de Fanger Ergonautas Universidad Politécnica de Valencia, (2019)
- [GALV13] *M. A. Gálvez Huerta* Instalaciones y Servicios Técnicos. Madrid: Sección de Instalaciones de Edificios.; et alt. (2013).
- [JUSS17] *Jussila, K., Rissanen, S., Aminoff, A*, Thermal comfort sustained by cold protective clothing in Artic open-pit mining- a thermal manikin and questionnaire study. (2017)
- [FERN94] *Felipe Fernández García*, Clima y confortabilidad humana. Aspectos Metodológicos, (1994)
- [ASHR05] Fundamentales: ASHRAE 2005, SI Ed. (2005)
- [NUES19] *Blog Nuestro Clima*, Lo que mata es la humedad (2019)
- [SUAR13] *David Suárez Rodríguez*, EFDeportes.com Revista Digital, Metabolismo basal, ejercicio y composición corporal, (2013)
- [HYP119] *Página web Hyperphysics* Calor de evaporación del agua hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/phase2.html#c3 (2019)
- [HYP219] *Página web Hyperphysics* Cálculo del calor de evaporación del agua en el ser humano hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/phase.html#hvap (2019)
- [FANG67] *Fanger P.O.*, (1967)
- [MATE15] *Maté Moreno, Marina*, Trastornos de la regulación de la temperatura (2015)
- [JIME14] *Jiménez Guzmán, José Rafael*, El Frío y la ausencia de calor (2014)

- [ASMU46] *E. Asmussen, M.Nielsen, Asmussen E. & Nielsen, (1946)*
[MERI17] *Meric, Derya A new approach to the use of innovative materials in textile and fashion design: Sandwich Structures (2017)*

10.2 Páginas web

- [GUIN18] Página web Guinness World Records
<http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/fastest-lacrosse-shot-2018> (2018)
- [SPOR18] Página web con equipamiento de Lacrosse
<https://www.sportstop.com> (2018)
- [EPOC18] Página web Tienda oficial de Epoch
<https://www.epochlacrosse.com/epoch-id-shoulder-pad/> (2018)
- [STXA18] Página web Tienda oficial de STX <https://www.stx.com/mens-lacrosse/gear/protective> (2018)
- [WIKI19] Área de superficie corporal Pagina web
https://es.m.wikipedia.org/wiki/Área_de_superficie_corporal
(2018)
- [WARR18] Página web Tienda oficial de Warrior
<https://www.warrior.com/mens-2018> (2018)
- [UNDE18] Página web tienda oficial de Under Armour
<https://www.underarmour.es/es-es/> (2018)
- [MAVE18] Página web tienda oficial de Mavericks
<https://maveriklacrosse.com> (2018)
- [NIKE18] Página web tienda oficial de Nike
<https://www.nike.com/us/en-us/c/lacrosse> (2018)

11 Anexo

11.1 Muestra estadística

La muestra fue tomada el mismo día antes y después de un entrenamiento de dos horas al equipo de Lacrosse, Storm Lacrosse KITSC. La muestra la componen 30 jugadores colocados por orden alfabético.

		Ancho del pecho [cm]	Longitud de hombro [cm]	Ancho de brazo [cm]	Altura [cm]	Peso [kg]	Superficie total [m2]	Superficie pecho [m2]	Superficie espalda [m2]	Cluster	Edad	Sudor [l]
Beni	Jugador 8	103	44	34	179	73	1,9	0,3	0,3	1	24	0,7
Chris	Jugador 2	111	49	37	191	87	2,2	0,3	0,3	2	28	1
Dennis	Jugador 21	99	43	30	169	73	1,8	0,3	0,3	0	27	0,5
Diaz	Jugador 15	97	44	30	169	73	1,8	0,3	0,3	0	23	0,7
Ege	Jugador 30	100	46	31	166	65	1,7	0,3	0,2	0	24	0,6
Fabi	Jugador 28	105	47	35	176	75	1,9	0,3	0,3	1	26	0,6
Felix	Jugador 17	105	45	36	184	78	2,0	0,3	0,3	1	24	0,5
Gilde	Jugador 20	112	49	39	183	98	2,2	0,3	0,3	2	28	1
Hassberg	Jugador 14	108	48	37	188	79	2,0	0,3	0,3	2	22	0,9
Hendrick	Jugador 13	104	46	34	186	92	2,2	0,3	0,3	2	29	0,9
Jakob	Jugador 26	106	47	35	181	85	2,1	0,3	0,3	2	23	0,9
Jorge	Jugador 7	102	43	34	178	71	1,9	0,3	0,3	1	25	0,7
Julius	Jugador 5	100	46	32	176	73	1,9	0,3	0,3	1	25	0,7
Luke	Jugador 23	98	43	31	170	66	1,8	0,3	0,2	0	22	0,5

Malte	Jugador 25	105	46	35	180	78	2,0	0,3	0,3	1	30	0,8
Nikli	Jugador 4	110	48	36	187	76	2,0	0,3	0,3	1	27	0,9
Oti	Jugador 19	96	43	29	168	65	1,7	0,3	0,2	0	27	0,5
Pascal	Jugador 29	112	49	38	187	102	2,3	0,3	0,3	2	29	1
Philip	Jugador 6	98	44	30	174	70	1,8	0,3	0,3	0	24	0,7
Pietrik	Jugador 3	108	49	36	182	87	2,1	0,3	0,3	2	28	0,9
Pollak	Jugador 11	110	47	36	189	83	2,1	0,3	0,3	2	25	1,1
Pomme	Jugador 1	115	49	39	192	92	2,2	0,3	0,3	2	28	0,9
Rafa	Jugador 27	102	43	34	182	63	1,8	0,3	0,3	1	19	0,7
Sanchez	Jugador 10	96	42	28	170	76	1,9	0,3	0,3	0	27	0,6
Sebi	Jugador 16	107	46	38	185	82	2,1	0,3	0,3	2	23	0,8
Spoden	Jugador 9	100	44	32	177	76	1,9	0,3	0,3	1	28	0,8
Stash	Jugador 12	103	45	33	178	78	2,0	0,3	0,3	1	24	0,8
Thim	Jugador 22	106	45	35	181	76	2,0	0,3	0,3	1	25	0,9
Tobi	Jugador 24	103	45	33	175	73	1,9	0,3	0,3	1	22	0,7
Viktor	Jugador 18	103	45	35	182	74	1,9	0,3	0,3	1	23	0,8