



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de
Producto**

Rediseño de porterías de balonmano Adaptables para Balonmano Inclusivo

Autor:

Acero Quarteroni, Victoria

Tutor:

Mostaza Fernández, Roberto

Dpto.de CMeIM, EGI, ICGyF, IM e IPF.

Área de Ingeniería Mecánica

Valladolid, Julio y 2025.



Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DE PRODUCTO

REDISEÑO DE PORTERÍAS DE BALONMANO ADAPTABLES PARA BALONMANO INCLUSIVO

Autora: Victoria Acero Quarteroni

Tutor: Roberto Mostaza Fernández

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal el diseño de una portería de balonmano adaptada que permita su uso tanto en el balonmano convencional como en su modalidad inclusiva para personas en silla de ruedas. Ante la ausencia de soluciones accesibles y versátiles en el mercado, se ha desarrollado una propuesta que busca fomentar la igualdad en la práctica deportiva mediante una estructura funcional, segura y fácil de ajustar.

El proyecto abarca desde el análisis normativo y estructural hasta el diseño detallado de un sistema ajustable, todo ello enfocado a garantizar la viabilidad técnica, la adaptabilidad y la durabilidad del producto final en entornos deportivos reales.

ABSTRACT

The main objective of this Final Degree Project is to design an adapted handball goal that allows for use in both conventional handball and its inclusive version for wheelchair users. Given the lack of accessible and versatile solutions on the market, a proposal has been developed that seeks to promote equality in sports practice through a functional, safe, and easily adjustable structure.

The project ranges from regulatory and structural analysis to the detailed design of an adjustable system, all focused on ensuring the technical feasibility, adaptability, and durability of the final product in real-world sports environments.

PALABRAS CLAVE / KEY WORDS

balonmano - inclusividad - porterías - diseño para todos – accesibilidad

Handball - Inclusivity - Goals - Design for All - Accessibility

A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo, la constancia y humildad.
Por ser mi refugio e impulso y por creer en mí incluso en los días que yo no lo hacía.

A mi hermana, por estar siempre sin hacer ruido, por ser mi inspiración constante.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Justificación	14
1.2 Objetivos	15
2. ESTADO DEL ARTE	18
2.1 Origen y significado de la palabra “ <i>inclusivo</i> ”	18
2.2 Ejemplos.....	22
2.2.1 Only for your eyes.....	22
2.2.2 Coca-Cola y Navilens.....	24
2.2.3 Sillas de ruedas deportivas inclusivas	27
2.2.4 Bicicletas inclusivas.....	29
2.3 Origen y evolución del balonmano tradicional e inclusivo.....	32
2.4 Porterías inclusivas y tradicionales.....	39
3. ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SOLUCIONES EXISTENTES	45
3.1 Porterias de balonmano convencionales	45
3.2 Adaptaciones en otros deportes	46
4. DISEÑO DEL EQUIPO (PORTERIA)	52
4.1 Diseño del sistema de ajuste	52
4.2 Bocetos del diseño	59
4.3 Materiales	60
4.4 Renders y diseño final	62
4.5 Selección del Tipo de Motor y Mecanismo de Transmisión	71
4.6 Integración del motor en la estructura de la portería	73
4.7 Eficiencia energética y sostenibilidad.....	74
4.8 Opción sistema autónomo con baterías para exteriores	74
4.9 Estética.....	76
4.10 Cálculos de esfuerzo.....	80
5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO Y LÍNEAS FUTURAS.....	90
6. BIBLIOGRAFÍA	94
7. ANEXO	100
1. Planos	100
2. Normativa	102

REFERENCIA DE FIGURAS 103**ÍNDICE DE FIGURAS**

ILUSTRACIÓN 1 DEFINICIÓN PALABRA “INCLUSIVO” EN LA RAE	18
ILUSTRACIÓN 2 CEREMONIA DE APERTURA DE LOS JUEGOS PARALÍMPICOS	20
ILUSTRACIÓN 3 TIRO CON ARCO PARALÍMPICO	20
ILUSTRACIÓN 4 LOGOTIPO DE LA FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE DEPORTES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD INTELECTUAL	21
ILUSTRACIÓN 5 BALONCESTO EN SILLA DE RUEDAS VETERANOS DE GUERRA	22
ILUSTRACIÓN 6 BOTELLA ONLY FOR YOUR EYES	23
ILUSTRACIÓN 7 DETALLE ETIQUETA EN BRAILLE	23
ILUSTRACIÓN 8 ETIQUETA PARA LA BOTELLA	24
ILUSTRACIÓN 9 LOGOTIPO NAVILENS	25
ILUSTRACIÓN 10 LOGOTIPO COCA-COLA	25
ILUSTRACIÓN 11 CÓDIGO QR NAVILENS	26
ILUSTRACIÓN 12 VISTA EXPLICATIVA APP NAVILENS	27
ILUSTRACIÓN 13 PACKAGING COCA-COLA CON CÓDIGO NAVILENS	27
ILUSTRACIÓN 14 JUGADOR TENIS INCLUSIVO	28
ILUSTRACIÓN 15: SILLA DE RUEDAS ALL COURT PARA BALONCESTO	29
ILUSTRACIÓN 16: PARTIDO DE BALONCESTO INCLUSIVO	29
ILUSTRACIÓN 17: BICICLETA TÁNDEM	30
ILUSTRACIÓN 18 BICICLETA DE MANO	31
ILUSTRACIÓN 19 GANADOR DEL ORO OLÍMPICO DE PARAMANO	31
ILUSTRACIÓN 20 DEPORTISTA CON TRICICLO ADAPTADO	32
ILUSTRACIÓN 21 HARPASTUM. MOSAICO EN LA VILLA ROMANA DEL CASALE	33
ILUSTRACIÓN 22 JUEGOS CON PELOTA EN LA EDAD MEDIA	33
ILUSTRACIÓN 23 FOTOGRAFÍA DE HOLGER NIELSEN	34
ILUSTRACIÓN 24 EVOLUCIÓN LOGOTIPO IAAF	34
ILUSTRACIÓN 25 FOLLETO INFORMATIVO DE HANDBALL DE LOS JJOO DE BERLÍN (1936), FOTO DE UNO DE LOS PARTIDOS CELEBRADOS Y TICKET DE ENTRADA AL OLYMPIA STADION	35
ILUSTRACIÓN 26 FOTOGRAFÍAS ANTIGUAS DE LANZAMIENTOS DE BALONMANO	35
ILUSTRACIÓN 27 PRIMERA PARTICIPACIÓN FEMENINA EN LOS JUEGOS OLÍMPICOS MONTREAL, CANADÁ 1976	36
ILUSTRACIÓN 28 LOGOTIPO IHF	36
ILUSTRACIÓN 29 EQUIPO DE LA ACADEMIA DE INFANTERÍA	37
ILUSTRACIÓN 30 EQUIPO VALLADOLID CAMPEÓN DE ESPAÑA	38
ILUSTRACIÓN 31 JUGADOR DEL BM GRANOLLERS	38
ILUSTRACIÓN 32 PARTIDO DE BALONMANO EN SILLA DE RUEDAS	39
ILUSTRACIÓN 33 PORTERÍAS DE BALONMANO DE 1971	40
ILUSTRACIÓN 34 MEDIDAS BAJO NORMATIVA AENOR PORTERÍA BALONMANO	41
ILUSTRACIÓN 35 PORTERÍA MODERNA DE BALONMANO	42
ILUSTRACIÓN 36 MODOS DE REBAJE DE PORTERÍA PARA BALONMANO INCLUSIVO	43
ILUSTRACIÓN 37 PLANO PORTERÍA TRADICIONAL UNE-EN 749	46
ILUSTRACIÓN 38 EQUIPO PRACTICANDO FÚTBOL 7 ADAPTADO	47
ILUSTRACIÓN 39 PARTIDO HOCKEY AVANZADO	48
ILUSTRACIÓN 40 PARTIDO BALONCESTO EN SILLA DE RUEDAS	49

ILUSTRACIÓN 41 BOCETO SISTEMA MANIVELA.....	53
ILUSTRACIÓN 42 BOCETO SISTEMA MULETA.....	55
ILUSTRACIÓN 43 CAJÓN DE PERSIANA Y SUS ELEMENTOS.....	57
ILUSTRACIÓN 44 TOLDÓ VERTICAL	58
ILUSTRACIÓN 45 BOCETO PORTERÍA ADAPTABLE.....	59
ILUSTRACIÓN 46 BOCETO PORTERÍA ADAPTABLE CON EL TOLDÓ INTEGRADO Y DETALLE DE LA GUÍA.....	60
ILUSTRACIÓN 47 PERFIL DE ALUMINIO	61
ILUSTRACIÓN 48 CORTINA PVC	62
ILUSTRACIÓN 49 RENDER TOLDÓ VISTA FRONTAL.....	63
ILUSTRACIÓN 50 RENDER TOLDÓ VISTA TRASERA.....	63
ILUSTRACIÓN 51 DETALLE GUÍAS PARA TOLDÓ	64
ILUSTRACIÓN 52 PORTERÍA CON EL TOLDÓ BAJADO EN PABELLÓN	65
ILUSTRACIÓN 53 PORTERÍA CON EL TOLDÓ BAJADO EN PABELLÓN	65
ILUSTRACIÓN 54 PORTERÍA CON EL TOLDÓ BAJADO EN PABELLÓN	66
ILUSTRACIÓN 55 DETALLE DEL MECANISMO DE LA CORTINA TOTALMENTE BAJADA	66
ILUSTRACIÓN 56 VISTA FRONTAL DE LA PORTERÍA.....	67
ILUSTRACIÓN 57 ANTROPOMETRÍA DE UNA PERSONA EN SILLA DE RUEDAS.....	68
ILUSTRACIÓN 58 DETALLE DEL BOTÓN ACCIONADOR.....	69
ILUSTRACIÓN 59 CANASTA ADAPTABLE MEDIANTE ELECTRICIDAD.....	69
ILUSTRACIÓN 60 GRADO DE PROTECCIÓN IP	70
ILUSTRACIÓN 61 MOTOR REDUCTOR	71
ILUSTRACIÓN 62 REDUCTOR DE VELOCIDAD	72
ILUSTRACIÓN 63 IMAGEN GENERADA POR LA IA.....	77
ILUSTRACIÓN 64 RENDER POSTE SUPERIOR	79
ILUSTRACIÓN 65 RENDER VISTA FRONTAL PORTERÍA FINAL.....	79
ILUSTRACIÓN 66 RENDER PORTERÍA FINAL	80
ILUSTRACIÓN 67 CAPTURA DE PANTALLA DE CONDICIONES DE CONTORNO Y FUERZAS EJERCIDAS SOBRE LA PORTERÍA	83
ILUSTRACIÓN 68 BARRA HORIZONTAL SUPERIOR DE LA PORTERÍA, BAJO LA FUERZA DE UN JUGADOR QUE SE CUELGA DE ÉL	83
ILUSTRACIÓN 69 CAPTURA DE PANTALLA RESULTADOS DEL ANÁLISIS.....	84
ILUSTRACIÓN 70 DETALLE DE LA ZONA MÁS CRÍTICA DE LA PORTERÍA	85
ILUSTRACIÓN 71 CAPTURA DE PANTALLA DE LOS RESULTADOS DEL TOLDÓ SOPORTANDO UN BALONAZO ...	86
ILUSTRACIÓN 72 CAPTURA DE PANTALLA DE LOS RESULTADOS DEL TOLDÓ SOPORTANDO UN BALONAZO ...	87

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE ADAPTACIONES EN DEPORTES INCLUSIVOS	50
TABLA 2 FÓRMULAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR POTENCIA NECESARIA.....	73
TABLA 3 TABLA DE FUERZAS Y CARGAS PARA EL ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN EN CATIA	82
TABLA 4 RESUMEN DE TENSIONES OBTENIDAS AL APLICAR UNA FUERZA VERTICAL	85
TABLA 5 RESUMEN TENSIONES OBTENIDAS AL SOPORTAR UN BALONAZO.....	87



1.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El diseño industrial y el desarrollo de productos juegan un papel fundamental en la evolución de las soluciones tecnológicas aplicadas al ámbito deportivo. La accesibilidad y la inclusividad en el deporte han sido temas de creciente interés en los últimos años, con múltiples esfuerzos orientados a garantizar que todas las personas, independientemente de sus capacidades físicas, puedan participar en igualdad de condiciones. Sin embargo, a pesar de los avances en diversas disciplinas deportivas, el balonmano sigue presentando limitaciones en términos de adaptación para jugadores en silla de ruedas y otras condiciones de movilidad reducida.

Actualmente, no existen porterías de balonmano diseñadas específicamente para permitir una transición eficiente entre el balonmano convencional y el balonmano inclusivo. Esta carencia supone una barrera importante para la implementación de este deporte en competiciones mixtas o en contextos donde se busca promover la inclusión. Mientras que en otros deportes se han desarrollado adaptaciones específicas, como las canchas ajustables en baloncesto en silla de ruedas o las modificaciones en el fútbol adaptado, el balonmano sigue dependiendo de estructuras rígidas que no permiten modificaciones en altura o dimensiones sin necesidad de intervención manual significativa.

El presente Trabajo de Fin de Grado surge como respuesta a esta problemática, con el objetivo de desarrollar un diseño innovador que permita la adaptación de las porterías de balonmano para su uso tanto en el juego convencional como en el inclusivo. La falta de soluciones existentes en el mercado y la ausencia de investigaciones previas centradas en este aspecto del balonmano hacen que este proyecto no solo sea una propuesta novedosa, sino también una contribución relevante en el ámbito del diseño industrial aplicado al deporte. Esta adaptación no solo beneficiará a los jugadores, sino que también contribuirá a la promoción del balonmano como un deporte inclusivo y accesible para todos.

Desde un punto de vista técnico, el desarrollo de una portería adaptable requiere un enfoque multidisciplinario que involucra mecánica, materiales y usabilidad. No se trata únicamente de modificar dimensiones, sino de garantizar que la transición entre modalidades sea rápida, segura y viable en un entorno real de juego. Además, el producto final debe cumplir con las normativas vigentes de la Federación Internacional de Balonmano y la normativa española UNE-EN 749 de porterías de balonmano y garantizar que su implementación no altere la dinámica del juego ni comprometa la seguridad de los jugadores.

En definitiva, este TFG busca dar respuesta a una necesidad real en el ámbito del balonmano, proporcionando una solución técnica viable y accesible que favorezca la práctica inclusiva de este deporte. La ausencia de desarrollos previos en esta línea refuerza la importancia del proyecto y su potencial impacto en la comunidad deportiva. A lo largo del presente trabajo se abordará el estado actual del arte, el proceso de diseño, los análisis estructurales y las pruebas necesarias para validar la viabilidad del sistema, con el propósito de ofrecer una solución innovadora y funcional al problema planteado.

1.2 Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal el diseño y desarrollo de una portería de balonmano adaptada para su uso tanto en la práctica convencional de este deporte como en su modalidad inclusiva, en la que participan jugadores en silla de ruedas. Esta necesidad surge ante la falta de soluciones existentes en el mercado que permitan la práctica del balonmano en condiciones de igualdad para personas con y sin discapacidad, lo que supone una barrera significativa para la expansión del balonmano inclusivo.

Para alcanzar este propósito general, se han definido una serie de objetivos específicos que estructuran y delimitan el trabajo a realizar:

1. **Análisis del estado del arte y revisión normativa:** Se llevará a cabo un estudio exhaustivo de la normativa vigente en relación con las dimensiones, materiales y requisitos de seguridad de las porterías de balonmano, tanto en su versión tradicional como en su adaptación para el balonmano en silla de ruedas. Además, se analizarán las posibles regulaciones aplicables en el ámbito del deporte adaptado para garantizar que el diseño resultante cumpla con los estándares requeridos por los organismos competentes.
2. **Identificación de necesidades y requisitos funcionales:** Se determinarán los requerimientos técnicos, ergonómicos y funcionales que debe cumplir la portería para que pueda ser utilizada de manera óptima en ambas modalidades. Este análisis incluirá aspectos como la facilidad de ajuste de la altura, la estabilidad de la estructura, la resistencia mecánica a los impactos y la accesibilidad para su uso en instalaciones deportivas convencionales.
3. **Desarrollo de un sistema de ajuste práctico y eficiente:** Uno de los aspectos clave de este proyecto es la incorporación de un mecanismo que permita la modificación de la altura de la portería de forma sencilla, rápida y segura, sin la necesidad de herramientas especializadas ni un gran número de personas para su manipulación. Este sistema debe garantizar la correcta fijación de la estructura en cualquiera de sus configuraciones para evitar riesgos durante el juego. Se valorará la practicidad y eficiencia del sistema de ajuste en función de criterios como la facilidad de uso, la rapidez del ajuste y la seguridad del mecanismo.
4. **Validación estructural mediante herramientas de simulación:** Se utilizarán software de diseño asistido por ordenador (CAD) y herramientas de análisis por elementos finitos (FEA) para evaluar el comportamiento estructural de la portería bajo diferentes condiciones de carga y uso. Estos estudios permitirán optimizar el diseño y garantizar su resistencia y durabilidad sin comprometer la ligereza y facilidad de ajuste del conjunto.
5. **Fabricabilidad y viabilidad técnica del diseño:** Se analizará la viabilidad del proceso de fabricación de la portería considerando tanto los métodos tradicionales como las tecnologías avanzadas de manufactura. Se buscará un equilibrio entre

costos de producción, facilidad de ensamblaje y mantenimiento, así como la posibilidad de implementación en diferentes entornos deportivos sin requerir una infraestructura compleja.

6. **Evaluación del impacto y propuestas de mejora:** Una vez definido el diseño, se planteará una evaluación del impacto que podría tener la implementación de esta portería en la práctica del balonmano inclusivo. Se analizarán las ventajas que aporta respecto a las soluciones actuales inexistentes en el mercado y se identificarán posibles líneas de mejora y desarrollo futuro para optimizar aún más su funcionalidad y accesibilidad. Esta evaluación también podría incluir un análisis de la viabilidad económica y la sostenibilidad del diseño, considerando aspectos como los costos de fabricación, mantenimiento y el impacto ambiental de los materiales utilizados.

Con estos objetivos, este TFG busca contribuir de manera significativa a la accesibilidad y equidad en el ámbito deportivo, ofreciendo una solución innovadora que facilite la práctica del balonmano de forma inclusiva sin necesidad de infraestructuras especializadas. La implementación de este diseño podría suponer un avance importante en la promoción del balonmano adaptado y en la ampliación de su alcance a un mayor número de jugadores, independientemente de sus capacidades físicas.



2.

ESTADO DEL ARTE

2. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se presenta una breve introducción sobre la historia tanto del balonmano convencional como del balonmano inclusivo, subrayando su evolución desde los primeros registros del deporte hasta las adaptaciones que lo hicieron accesible para personas con discapacidades. Se explora cómo y cuándo el término "inclusivo" fue incorporado al lenguaje, lo que refleja la expansión y formalización de este término a nivel global.

El propósito de esta sección es proporcionar una base sólida de información sobre el contexto histórico del balonmano, que servirá como marco de referencia para el desarrollo del proyecto. Esta revisión histórica no solo permitirá entender las raíces del balonmano, sino también las razones y momentos clave que impulsaron la inclusión y adaptación del deporte para personas con movilidad reducida, garantizando que el rediseño de las porterías cumpla con los estándares y necesidades actuales.

2.1 Origen y significado de la palabra “*inclusivo*”

The screenshot shows the RAE website interface. At the top, there are logos for the Real Academia Española, the Fundación "la Caixa", and the Asociación de Academias de la Lengua Española. The main navigation bar includes links for 'Diccionario de la lengua española', 'Edición del Tricentenario', 'Actualización 2023', and 'RAE.es'. Below the bar, a search bar contains the word 'inclusivo, va' with buttons for 'SIN.' and 'ANT.'. A small note indicates the word comes from 'Del lat. escolástico *inclusivus*, y este del lat. *inclusus*, part. pas. de *includere* 'incluir', 'encerrar', e -*ivus* '-ivo''. The definition itself is: '1. adj. Que incluye o tiene virtud y capacidad para incluir.' and 'ANT.: exclusivo, excluyente.' To the right, there is a sidebar with icons for 'Edición del Tricentenario', 'Guía de consulta', 'Modo de cita', 'UNIDRAE', 'Consultas lingüísticas', and 'Actualización 2023'.

Ilustración 1 Definición palabra “*inclusivo*” en la RAE

Esta definición refleja la idea de integración, es decir, ningún elemento o individuo es excluido.

En el contexto de este proyecto, la noción de inclusividad es clave, ya que se busca adaptar las porterías de balonmano para garantizar que todos los jugadores, independientemente de sus capacidades físicas, puedan formar parte activa del juego sin tener que esforzarse en cambiar o mover elementos. Este concepto es esencial en la evolución del deporte hacia una práctica más accesible y justa para todos.

Al buscar en el diccionario “Merriam-Webster,” se observa que el primer uso registrado de la palabra "inclusivo" data en el siglo XV definida como: “*the act of including : the state of being included*”.^[1]

Inicialmente, el término se empleaba en contextos relacionados con la integración social y los esfuerzos por incluir a todos los individuos en diversas actividades y sistemas, con especial énfasis en promover la igualdad y la no exclusión. El diseño inclusivo se centra en la creación de proyectos que consideren las diversas capacidades de los usuarios. El objetivo es lograr que el resultado final sea accesible y utilizable por la mayor cantidad de personas posible. Grupo Social ONCE plantea los principios del diseño inclusivo. “*El diseño inclusivo se rige por varios principios o valores que, llevados por el buen camino y con conciencia del mundo súper diverso en el que vivimos, harán de ese producto, servicio, sistema o entorno algo para todas las personas sean como sean. El hecho de ser accesible, equitativo en experiencias, respetuoso y considerado con el propio usuario, consistente en la propuesta, no perder el carácter de herramienta o utilidad, ser configurable o adaptable y capaz de agregar valor sobre lo existente hace que un diseño sea inclusivo.*”^[2]

Este enfoque no solo mejora la calidad y la usabilidad de los productos para grupos específicos, sino que también beneficia a un público más amplio. A menudo, las características diseñadas para satisfacer necesidades particulares resultan útiles para muchas otras personas. Por ejemplo, un producto con controles de voz, pensado para personas con discapacidades visuales o motrices, también puede ser práctico para personas con las manos ocupadas o con limitaciones temporales, como una mano enyesada.

Así, el diseño inclusivo favorece la creación de una sociedad más equitativa, en la que todas las personas, independientemente de si tienen o no una discapacidad, puedan beneficiarse por igual.

La evolución del concepto en el deporte está marcada por una serie de sucesos clave que han moldeado su significado y aplicación a lo largo del tiempo.

Uno de los momentos más destacados fue la creación de los **Juegos Paralímpicos** en 1960, en Roma. Este evento se ideó inicialmente para veteranos de guerra con lesiones medulares y otros deportistas con discapacidades físicas. No solo ofreció visibilidad a estos atletas, sino que también impulsó la idea de que el deporte no debía estar reservado únicamente a personas sin limitaciones físicas.

Con el paso del tiempo, los Juegos Paralímpicos se han consolidado como el principal referente para los atletas con discapacidades, posicionando al deporte adaptado como una disciplina con identidad, reconocimiento y prestigio a nivel mundial. Este avance representó un hito en el camino hacia la inclusión en el ámbito deportivo, al demostrar que la discapacidad no constituye una barrera insalvable, sino una condición que puede ser considerada y adaptada para garantizar la participación plena de todas las personas.

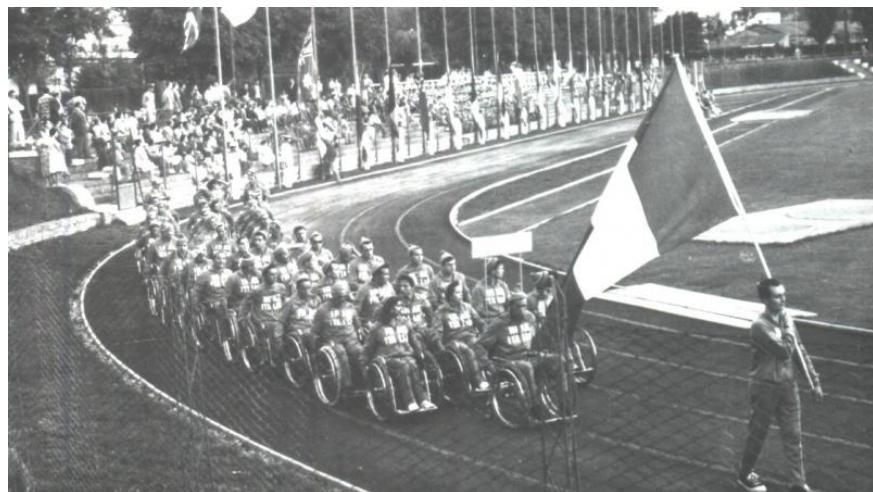


Ilustración 2 Ceremonia de apertura de los Juegos Paralímpicos



Ilustración 3 Tiro con arco paralímpico

Otro avance significativo fue la creación de federaciones deportivas adaptadas. En 1986, se fundó la “*International Sports Federation for Persons with Intellectual Disability (INAS)*”, la primera organización internacional dedicada a promover la participación de personas con discapacidades intelectuales en competencias deportivas. Esto fue un paso clave para la integración de un grupo que históricamente había sido marginado en muchas áreas, incluido el deporte. La INAS ayudó a organizar campeonatos y a asegurar que los atletas con discapacidades intelectuales también tuvieran acceso a las mismas oportunidades de competir y destacar en el ámbito deportivo.

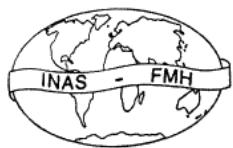


Ilustración 4 Logotipo de la Federación Internacional de Deportes para Personas con Discapacidad Intelectual

En el ámbito legal y social, la “*Ley de Educación para Todos los Niños con Discapacidades (Education for All Handicapped Children Act)*”, se aprobó en 1975 y la “*Americans with Disabilities Act (ADA)*” en 1990 en los Estados Unidos, estas leyes marcaron un antes y un después en la integración educativa y, por extensión, en la integración deportiva ya que garantizaba que todos los niños con discapacidades pudieran acceder a una educación pública gratuita y apropiada. Se crearon las bases para una mayor integración social. Además, se les otorgó protecciones legales contra la discriminación en todos los aspectos de la vida. No solo amplió las oportunidades laborales y educativas, sino que también promovió la accesibilidad en espacios recreativos y deportivos, asegurando que todas las personas, independientemente de su condición, pudieran participar plenamente y sin ningún inconveniente en la sociedad.

En el año 2001, sucedió otro hito clave en la historia de la inclusión deportiva cuando el *Comité Olímpico Internacional (COI)* y el *Comité Paralímpico Internacional (IPC)* firmaron un acuerdo histórico para que los Juegos Paralímpicos y los Juegos Olímpicos se celebraran en las mismas sedes. Este acuerdo no solo reforzó la visibilidad de los atletas paralímpicos, sino que también simbolizó el ideal de igualdad, integrando a atletas con y sin discapacidades bajo un mismo marco organizativo.

El baloncesto en silla de ruedas fue el primer deporte popular. Comenzó en 1946 como parte de la rehabilitación de veteranos de la Segunda Guerra Mundial en los Estados Unidos. Este deporte ganó popularidad rápidamente y fue incluido en los Juegos Paralímpicos de Roma en 1960, lo que le dio visibilidad internacional.

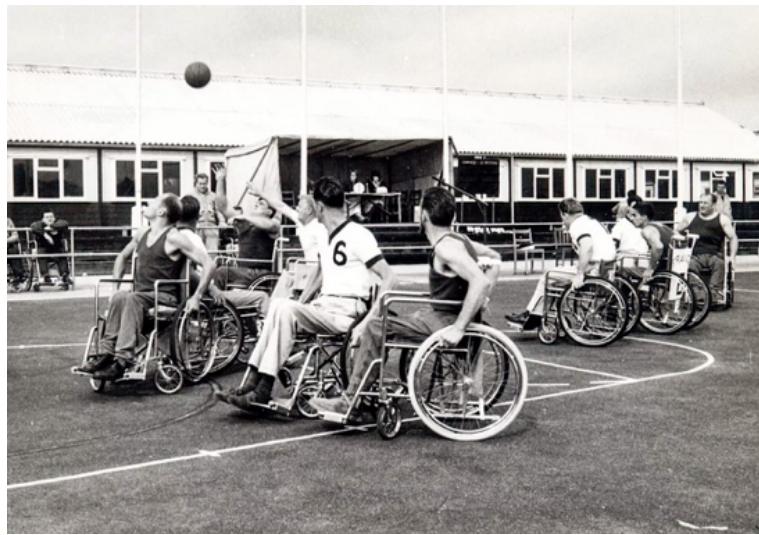


Ilustración 5 Baloncesto en silla de ruedas veteranos de guerra

2.2 Ejemplos

Los siguientes ejemplos de productos demuestran la aplicación del diseño inclusivo y universal para una mejor comprensión del concepto.

2.2.1 Only for your eyes

El proyecto “Only for Your Eyes”, desarrollado por la agencia creativa Supperstudio para la campaña “Love is Love” de Avery Dennison, constituye un destacado ejemplo de diseño inclusivo en el ámbito del packaging. *“Hay más de 1.300 millones de personas ciegas en el mundo. Solo para tus ojos, tiene como objetivo crear conciencia sobre la realidad de este grupo. Un concepto de embalaje desarrollado exclusivamente en Braille para una bebida de café fría.”*^[3]

Al contrastar los datos, se observa que la cifra de personas ciegas está considerablemente aumentada, ya que, según la OMS, *“Alrededor de 285 millones de personas sufren algún tipo de discapacidad visual en el mundo, al menos 39 millones son ciegas y 246 tienen baja visión, según ha publicado la Organización Mundial de la Salud, con motivo de la celebración este jueves del Día Mundial de la Salud Visual.”*^[4]

La propuesta consiste en una etiqueta para una bebida de café cold brew diseñada exclusivamente en Braille. Los caracteres se representan mediante una disposición de puntos en relieve, realizados con tinta y barniz serigráficos.

El material utilizado es un papel ecológico extra blanco con textura de fieltro, fabricado a partir de 100% fibras recicladas.

Este diseño forma parte de la campaña “Build your Brand” de Avery Dennison, que invita a las marcas a sumarse a una revolución donde los pequeños gestos pueden lograr grandes cambios.

“Only for Your Eyes” ha sido reconocido internacionalmente, obteniendo el oro en la categoría de bebidas en los Pentawards 2021.

Este caso ejemplifica cómo el diseño puede ser una herramienta poderosa para la inclusión social, al adaptar productos y experiencias a las necesidades de colectivos tradicionalmente marginados.



Ilustración 6 Botella Only for your Eyes

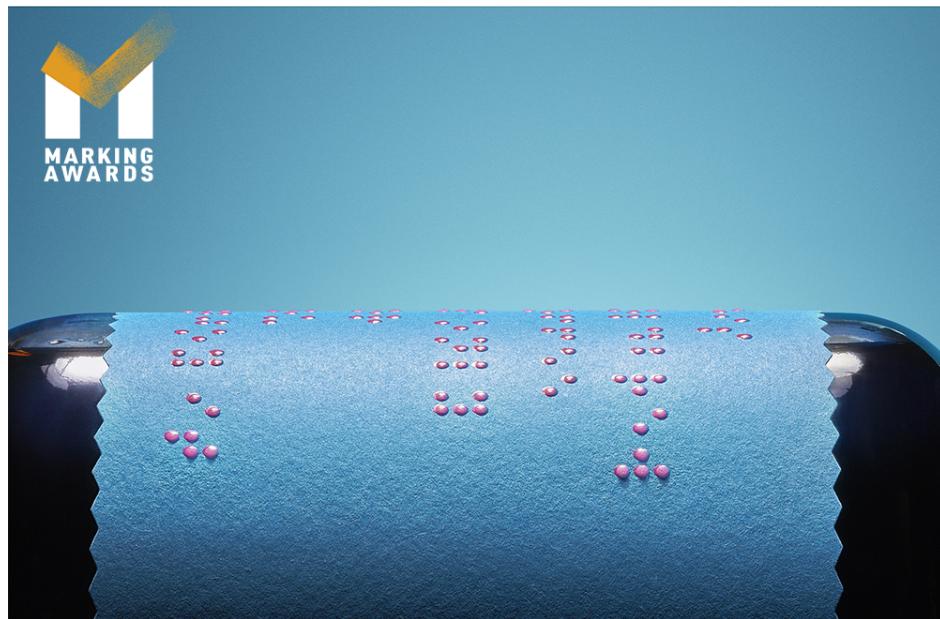


Ilustración 7 Detalle etiqueta en Braille



Ilustración 8 Etiqueta para la botella

2.2.2 Coca-Cola y Navilens

Un ejemplo destacado de innovación inclusiva en el diseño de envases lo protagoniza la empresa multinacional Coca-Cola en colaboración con la tecnología NaviLens, un sistema diseñado para facilitar el acceso a la información de productos a personas con discapacidad visual.

"NaviLens ayuda a hacer ciudades más inteligentes e inclusivas. Las capacidades de este código permiten a los usuarios relacionarse de forma más sencilla y accesible con su entorno en sitios como estaciones de metro, paradas de bus y museos o edificios públicos."

[5]



Ilustración 9 Logotipo NaviLens



Ilustración 10 Logotipo Coca-Cola

Es un innovador sistema de señalización visual diseñado para mejorar la accesibilidad de personas con discapacidad visual, aunque también resulta útil para otros colectivos con dificultades de orientación. A través de un código de colores similar a un QR pero mucho más avanzado, permite que los usuarios puedan escanearlo con la cámara de su teléfono móvil sin necesidad de enfocar directamente ni mantener una distancia o ángulo específicos. Esto lo hace especialmente eficaz en movimiento, desde varios metros de distancia y en condiciones de poca luz.

El sistema funciona mediante una aplicación gratuita (Navilens o Navilens GO) que traduce la información contenida en el código a mensajes sonoros o visuales en distintos idiomas, ofreciendo indicaciones claras sobre el entorno, como la ubicación de una parada de autobús, una sala dentro de un edificio, o las instrucciones de uso de un producto. Su implementación se ha extendido en entornos como el transporte público, museos, centros educativos, edificios institucionales o envases comerciales, facilitando la inclusión y autonomía de los usuarios.

Desarrollado en España por la empresa Neosistec junto con la Universidad de Alicante, Navilens ha sido reconocido internacionalmente por su impacto social y su capacidad para democratizar el acceso a la información en espacios físicos, marcando un gran paso hacia una sociedad más inclusiva.

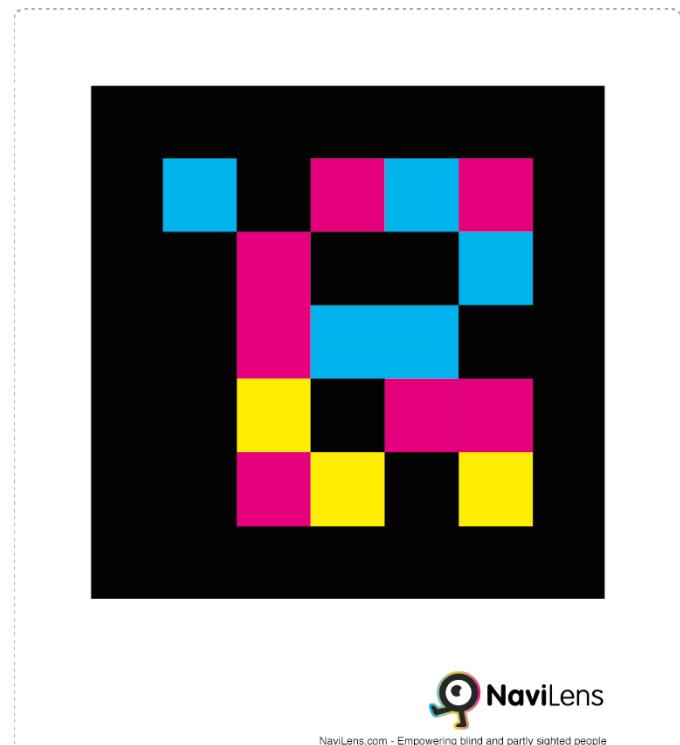


Ilustración 11 Código QR NaviLens



Ilustración 12 Vista explicativa App NaviLens*Ilustración 13 Packaging Coca-Cola con código NaviLends*

2.2.3 Sillas de ruedas deportivas inclusivas

Dentro del ámbito del diseño inclusivo aplicado al deporte, uno de los elementos más representativos es la silla de ruedas deportivas, concebida para satisfacer las exigencias físicas y funcionales de distintas disciplinas como el baloncesto, el tenis o el rugby. Aunque su estructura puede recordar a la de una silla de ruedas convencional, presenta características específicas orientadas a optimizar la movilidad, velocidad y maniobrabilidad del usuario.

Este tipo de sillas son autopropulsadas, a diferencia de las eléctricas, y están fabricadas con materiales ultraligeros como el aluminio aeronáutico o la fibra de carbono. Además, su diseño busca mejorar el centro de gravedad, ofreciendo así una mayor estabilidad durante el juego.



Ilustración 14 Jugador tenis inclusivo

Uno de los elementos más diferenciadores en su diseño son las ruedas. En la silla deportivas, las ruedas delanteras suelen ser de menor tamaño, lo que facilita los giros rápidos y mejora la agilidad. Las ruedas traseras, están dispuestas con una inclinación negativa que aumenta la base de sustentación y, por lo tanto, mejora la estabilidad lateral y la respuesta en maniobras bruscas.

Cada modalidad cuenta con requerimientos técnicos concretos que deben ser tenidos en cuenta en el diseño del equipo.

En el caso del **baloncesto en silla de ruedas**, las sillas presentan un diseño altamente especializado. Incorporan un armazón delantero en forma de parachoques para absorber impactos y un sistema antivuelco en la parte trasera que evita caer hacia atrás. Este diseño no solo protege al deportista, sino que le permite desplazarse a gran velocidad, frenar bruscamente y realizar tiros con un alto grado de libertad de movimiento.



Ilustración 15: Silla de ruedas All Court para baloncesto



Ilustración 16: Partido de baloncesto inclusivo

2.2.4 Bicicletas inclusivas

El ciclismo es uno de los deportes paralímpicos más consolidados y divertidos del programa internacional, tanto en pruebas de pistas como de carretera. Este deporte ha evolucionado significativamente gracias al diseño y desarrollo de tecnologías adaptadas a diferentes tipos

de discapacidad, lo que lo convierte en un claro ejemplo de cómo la ingeniería y el diseño industrial pueden contribuir a la inclusión y la participación plena en el deporte.

Originalmente, el ciclismo paralímpico estaba limitado a personas con discapacidad visual. Sin embargo, actualmente esta disciplina fue integrada a deportistas con parálisis cerebral, lesiones medulares, amputaciones y otras discapacidades físicas.

Actualmente el tercer deporte con más participantes en los Juegos Paralímpicos, y uno de los más visibles para el público general debido a su espectacularidad, exigencia física, etc. Se usa un sistema de clasificación según el grado de discapacidad y dependiendo de este se utilizan un tipo de bicicletas u otro.

1. Tándem para discapacidad visual

Los ciclistas con ceguera o discapacidad visual utilizan bicicletas tandem, donde el piloto sin discapacidad, va en la parte delantera, mientras que el deportista afectado ocupa el trasero. Ambos pedalean al unísono, pero el control del manillar, frenado y navegación queda en manos del piloto.



Ilustración 17: Bicicleta tandem

2. Handbikes o bicicletas de mano

Las handbikes están destinadas a ciclistas que no pueden utilizar las extremidades inferiores, ya sea por lesiones modulares o amputaciones. El movimiento se genera mediante manivelas accionadas por los brazos, lo que convierte al tren superior del cuerpo en el principal motor.

Además de su función deportiva, estas bicicletas son un ejemplo excelente de diseño ergonómico que permite un alto rendimiento físico sin comprometer la comodidad del usuario.



Ilustración 18 Bicicleta de mano



Ilustración 19 ganador del oro olímpico de paramano

3. Triciclos adaptados

Los triciclos están diseñados para deportistas cuya discapacidad afecte principalmente al equilibrio, como ocurre en algunas personas con parálisis cerebral o ataxia. Ofrecen una mayor superficie de apoyo y seguridad durante la conducción.



Ilustración 20 Deportista con triciclo adaptado

2.3 Origen y evolución del balonmano tradicional e inclusivo

El balonmano es un deporte, que en su faceta moderna ha evolucionado a partir de múltiples juegos de pelota que se remonta a miles de años en diversas culturas antiguas. Estos primeros juegos se encuentran en pinturas halladas en tumbas del Antiguo Egipto, donde se muestra a sacerdotes practicando un juego de pelota con las manos. Además, los antiguos griegos jugaban a un juego llamado urania, mencionado en la "Odisea" del poeta Homero, donde los participantes utilizaban una pelota del tamaño de una manzana de lana púrpura.

De manera paralela, en Roma también se jugaba al harpastum, un juego que consistía en lanzar una pelota sobre una línea marcada en el suelo, lo cual también podría haber influido en el desarrollo del balonmano.

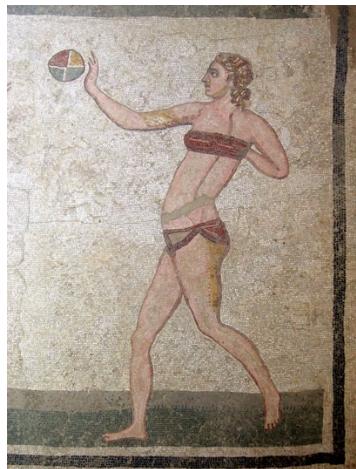


Ilustración 21 Harpastum. Mosaico en la Villa Romana del Casale.

El progreso de todos estos juegos y deportes se estancó en la Edad Media, ya que fue una época en la que las actividades lúdicas fueron limitadas por restricciones tanto sociales como religiosas.

Aun así, surgieron los “Juegos de Verano”, prácticas deportivas que carecían de reglamentación, pero mantenían viva la tradición de los juegos con pelota en la época.



Ilustración 22 Juegos con pelota en la Edad Media

El balonmano moderno comenzó a tomar forma a finales del siglo XIX en Dinamarca, cuando el profesor Holger Nielsen desarrolló el “Haandbold”, que consistía en marcar goles en la portería contraria utilizando un balón pequeño.



Ilustración 23 Fotografía de Holger Nielsen

Sin embargo, la mayoría de los historiadores coinciden con que la versión oficial del balonmano fue desarrollada en Berlín en 1907, por un profesor de educación física.

Aun así, el balonmano, que al principio se jugaba con 11 jugadores en campos de fútbol, no fue formalmente reconocida hasta 1926, cuando se incluyó en el programa de la *Federación Internacional de Atletismo Amateur (IAAF)*.



Ilustración 24 Evolución logotipo IAAF

En 1936, el balonmano hizo su debut en los *Juegos Olímpicos de Berlín*, aunque en una modalidad de campo con 11 jugadores por equipo. No fue hasta los Juegos Olímpicos de Múnich de 1972 que se estableció la versión actual con 7 jugadores por equipo, que hoy conocemos.

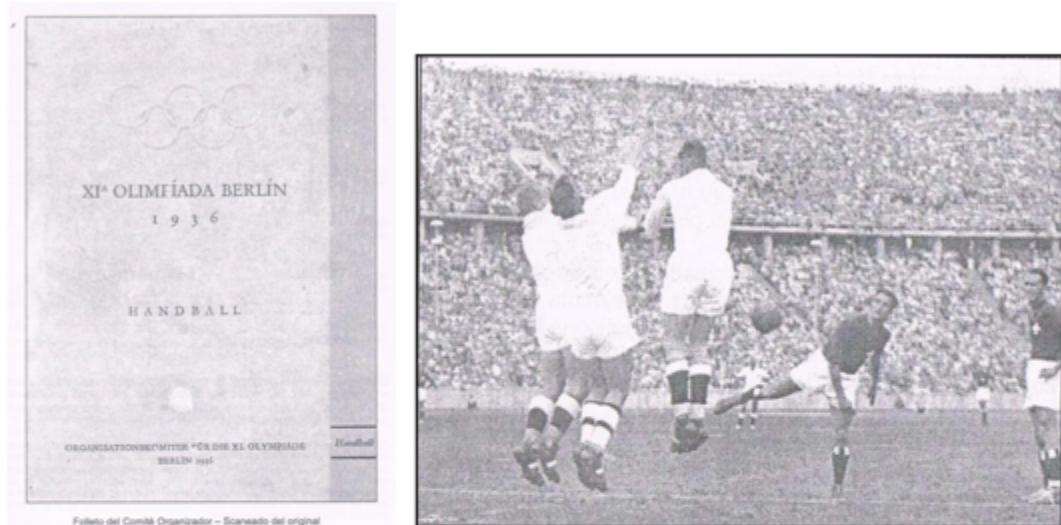


Ilustración 25 Folleto informativo de Handball de los JJO de Berlín (1936), foto de uno de los partidos celebrados y ticket de entrada al Olympia Stadion.



Ilustración 26 Fotografías antiguas de lanzamientos de balonmano

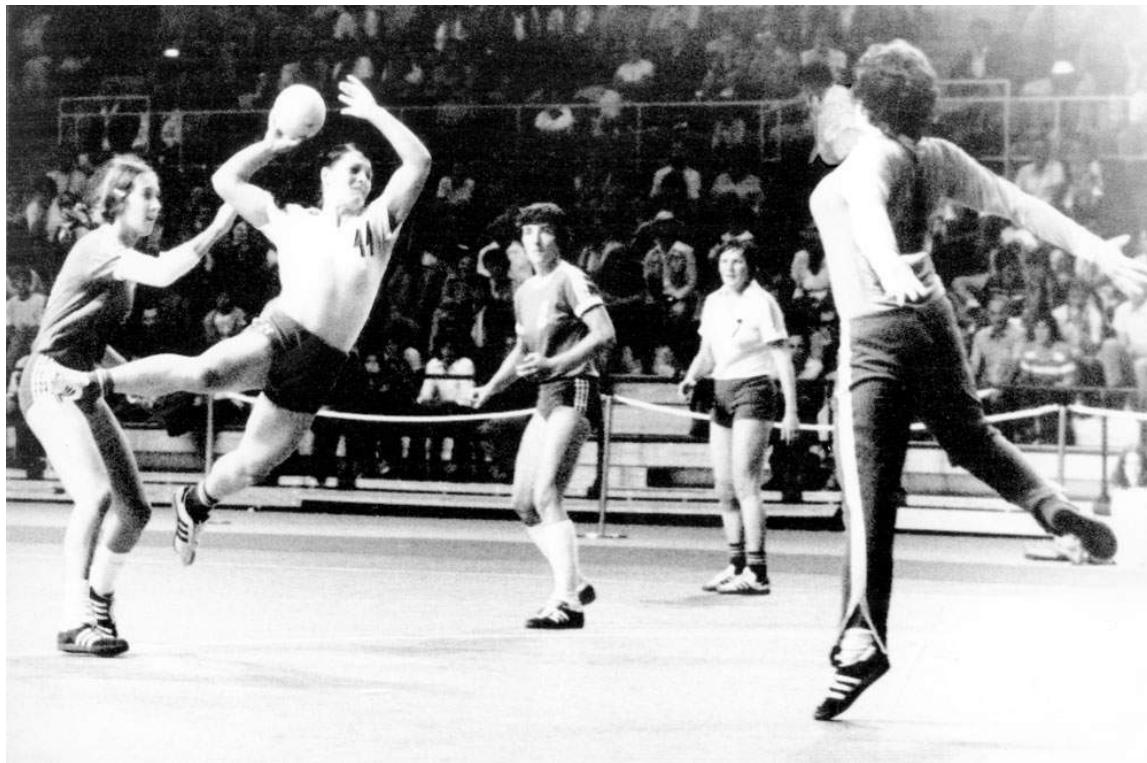


Ilustración 27 Primera participación femenina en los Juegos Olímpicos Montreal, Canadá 1976

Con el paso de los años, el balonmano ganó popularidad y se establecieron ligas en diferentes países, especialmente en Europa, donde se formó la *Federación Internacional de Balonmano (IHF)* en 1946. La IHF ha sido fundamental en la organización de competiciones internacionales y en la estandarización de las reglas, permitiendo que el balonmano se convierta en un deporte global, con un crecimiento constante en la participación y en la competencia.



Ilustración 28 Logotipo IHF

En España, su origen está particularmente ligado a las instituciones militares. En la década de 1920, fue en la Escuela Militar de Toledo donde se comenzó a practicar el deporte, extendiéndose más tarde a la Escuela Naval de El Ferrol. En 1928, en el Regimiento Alcántara de Barcelona, se practicaba un juego primitivo de balonmano, y tras la Guerra Civil, el Frente de Juventudes y la Sección Femenina asumieron el control de las actividades deportivas, incluyendo el balonmano. La primera normativa formal del deporte en España fue redactada en 1929 por el capitán Hermosa, y en 1941 se fundó la Federación Española de Balonmano, con Emilio Suárez Marcelo como su primer presidente.



Ilustración 29 Equipo de la academia de infantería

En los años siguientes, el balonmano español comenzó a consolidarse como un deporte relevante. En 1942, el SEU de Valladolid se coronó campeón del primer Campeonato de España, y en 1958, España participó por primera vez en un Mundial. La creación de la División de Honor en 1958 marcó otro hito importante, con el B.M. Granollers como primer campeón en la modalidad de 7 jugadores. En 1979, España logró su primera victoria internacional importante al ganar el Mundial B y clasificarse para los Juegos Olímpicos de Moscú.



Ilustración 30 Equipo Valladolid Campeón de España



Ilustración 31 Jugador del Bm Granollers

Respecto al balonmano inclusivo, en las últimas décadas, ha habido un mayor reconocimiento de la importancia de la inclusión de personas con discapacidades en el deporte. Aunque no hay una fecha específica para el inicio del balonmano inclusivo, su desarrollo ha estado impulsado por un cambio en la percepción social hacia la discapacidad y la necesidad de promover la igualdad en el deporte. El balonmano se ha adaptado para permitir que personas con diversas capacidades físicas participen de manera equitativa.

Esta adaptación se ha manifestado en la creación de modalidades como el balonmano en silla de ruedas, que sigue las reglas del balonmano tradicional con ajustes específicos para garantizar la accesibilidad y la seguridad de todos los jugadores. En estas competiciones,

se han realizado cambios en el tamaño de las porterías y en la forma de jugar para acomodar a los atletas con discapacidades físicas.

El primer torneo formal de balonmano en silla de ruedas se llevó a cabo en 1985 en Francia, lo que marcó un hito en el reconocimiento del deporte inclusivo. La *Federación Internacional de Balonmano (IHF)* ha comenzado a promover y regular el balonmano inclusivo, buscando integrarlo dentro de su estructura de competiciones, lo que ha contribuido a la creación de ligas y torneos en varios países, donde los atletas con discapacidades tienen la oportunidad de competir al más alto nivel.



Ilustración 32 Partido de Balonmano en silla de ruedas

A medida que la sociedad avanza hacia una mayor inclusión, el balonmano ha seguido adaptándose. La promoción de eventos que integran tanto a jugadores con y sin discapacidades refleja un compromiso más amplio con la inclusión. Esto es evidente en la creciente popularidad del balonmano inclusivo, que no solo proporciona oportunidades deportivas, sino que también desafía las percepciones sociales sobre la discapacidad y fomenta un sentido de comunidad.

2.4 Porterías inclusivas y tradicionales

La historia de las porterías de balonmano está muy relacionada con la evolución del propio deporte. Como he comentado antes, ha pasado de ser una actividad recreativa en distintos países a una disciplina regulada y profesionalizada. En los inicios del balonmano, las porterías no seguían un estándar claro, y eran estructuras rudimentarias de madera. A principios del siglo XX, en los países europeos donde comenzó a practicarse el deporte, como Alemania y Dinamarca, las porterías en cuanto a el tamaño y construcción eran muy variables. La madera era el material más utilizado debido a su disponibilidad y bajo coste. Sin embargo, estas porterías, aunque funcionales, no siempre eran duraderas ni seguras, especialmente en competiciones de mayor intensidad o en condiciones climáticas adversas.



Ilustración 33 Porterías de Balonmano de 1971

Con el tiempo, a medida que el balonmano se formalizó y adquiría popularidad, surgió la necesidad de establecer regulaciones claras para uniformar el tamaño y los materiales de las porterías. Fue en 1926, durante el congreso de la Federación Internacional de Atletismo Amateur (IAAF), cuando se definieron las dimensiones estándar que aún se utilizan hoy en día: **3 metros de ancho por 2 metros de alto**.

BALONMANO - FÚTBOL SALA HANDBALL - FUTSAL

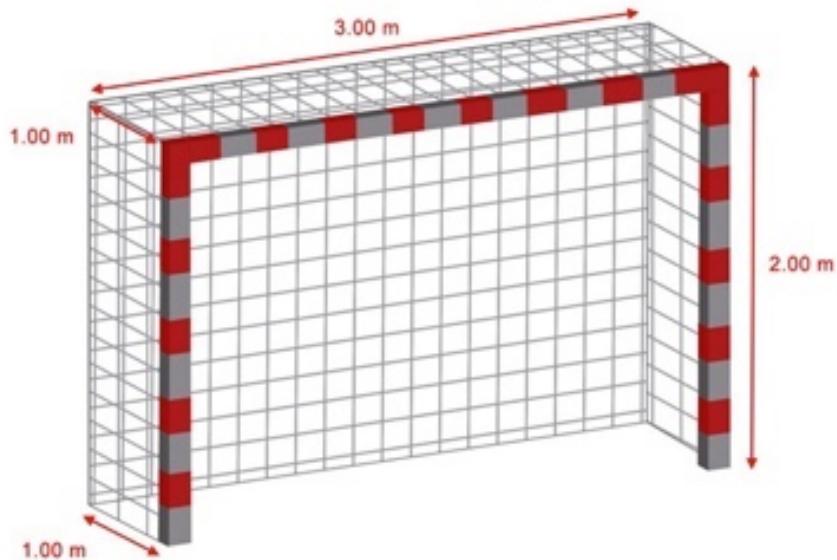


Ilustración 34 Medidas bajo normativa AENOR portería balonmano

A medida que la tecnología avanzó y el balonmano creció en popularidad, los materiales de construcción de las porterías también evolucionaron. Se dejó atrás la madera en favor de materiales más resistentes y ligeros, como el aluminio y el acero, que permitían una mayor durabilidad y seguridad. El uso de aluminio anodizado en las porterías se convirtió en una opción estándar debido a su resistencia a la corrosión y su ligereza, lo que facilitó su transporte y manejo tanto en competiciones. Estos materiales también permiten sistemas de anclaje más sofisticados, que evitan que las porterías se vuelquen o se muevan durante el juego.

La modernización de las porterías no se detuvo con la elección de materiales, sino que también se implementaron mejoras en términos de seguridad y estabilidad. La normativa actual, la **UNE-EN 749**, es esencial para asegurar que las porterías cumplan con los estándares internacionales de seguridad. Esta norma regula aspectos como las dimensiones exactas de la portería, la resistencia a la corrosión y los sistemas de anclaje. De acuerdo con la norma, las porterías deben estar fabricadas con materiales ligeros pero resistentes, como el aluminio o el acero, para garantizar una estructura sólida y segura. Las pruebas de estabilidad son especialmente importantes, ya que simulan los impactos que una portería puede sufrir durante el juego, asegurando que la estructura se mantenga firme y no represente un riesgo para los jugadores. Además, la norma establece que las porterías deben ser capaces de resistir la corrosión, un aspecto fundamental para aquellas que se utilizan en instalaciones exteriores o en condiciones climáticas adversas. Las porterías de balonmano modernas están diseñadas para soportar tanto los elementos como el rigor del juego competitivo. Esto ha llevado al desarrollo de porterías recubiertas con capas protectoras que aumentan su resistencia a

largo plazo. Las redes que se utilizan en las porterías también están reguladas por esta norma, asegurando que estén firmemente sujetas a la estructura.



Ilustración 35 Portería moderna de balonmano

La evolución de las porterías en el balonmano inclusivo responde a la necesidad de adaptar el deporte a las características del balonmano en silla de ruedas, su única modalidad reconocida. En esta modalidad, las porterías mantienen los **3 metros de ancho**, pero la **altura** se reduce a **1.7 metros**, lo que facilita el juego para los atletas que compiten desde una posición más baja. Este ajuste en las dimensiones de la portería se adapta mejor a las capacidades físicas de los jugadores. A pesar de la diferencia en altura, las porterías de balonmano inclusivo deben cumplir con las mismas normativas en cuanto a seguridad y durabilidad que las porterías tradicionales.

Las porterías de balonmano inclusivo no están reguladas por ninguna norma específica emitida por **AENOR** (Asociación Española de Normalización). Esta falta de regulación presenta un desafío significativo, ya que las adaptaciones necesarias para su uso en el contexto del balonmano en silla de ruedas no están estandarizadas. En lugar de contar con un diseño oficial, los equipos suelen emplear soluciones improvisadas, como el uso de cintas o rebajes de madera, para reducir la altura de las porterías.



Ilustración 36 Modos de rebaje de portería para balonmano inclusivo

Estas adaptaciones permiten que las porterías sean más accesibles para los jugadores en silla de ruedas, pero a su vez generan problemas de consistencia y seguridad, ya que no existe un criterio claro sobre cómo deben ser estas modificaciones. Esta situación se convierte en el eje central del problema que abordaré en este trabajo de fin de grado.



ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SOLUCIONES EXISTENTES



3. ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SOLUCIONES EXISTENTES

Para el diseño de una portería de balonmano adaptable, se realizó un análisis de productos y tecnologías existentes, incluyendo porterías convencionales, soluciones adaptadas en otros deportes y mecanismos de ajuste relevantes. Este estudio busca identificar oportunidades de mejora y sentar las bases para una solución innovadora.

Para ello, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las soluciones existentes, abarcando tres áreas principales: porterías de balonmano convencionales, adaptaciones en otros deportes y tecnologías de ajuste relevantes.

3.1 Porterías de balonmano convencionales

El punto de partida para este análisis son las porterías de balonmano convencionales, cuyas características técnicas y funcionales deben ser consideradas y respetadas en cualquier diseño adaptado. Las porterías reglamentarias se componen de una estructura rectangular de 3 metros de ancho por 2 metros de alto, con postes verticales y un travesaño horizontal que delimitan el área de gol. La profundidad de la portería, que se extiende 1 metro hacia atrás desde el plano de gol, es crucial para la función de detención de balones.

Los materiales más comunes en la fabricación de porterías convencionales son el acero y el aluminio, elegidos por su resistencia estructural y durabilidad. La red, generalmente hecha de nylon o polipropileno, se encarga de detener los balones y debe ser lo suficientemente resistente para soportar el impacto repetido. Las porterías se fijan al suelo mediante anclajes o pernos para garantizar su estabilidad durante el juego.

El análisis de las porterías convencionales revela la importancia de cumplir con las normativas establecidas por la Federación Internacional de Balonmano (IHF) y las normas nacionales correspondientes. Estas regulaciones abarcan aspectos como las dimensiones, los materiales, la construcción y los requisitos de seguridad. Cualquier diseño de portería adaptable debe cumplir con estas normativas para ser aceptado en competiciones oficiales.

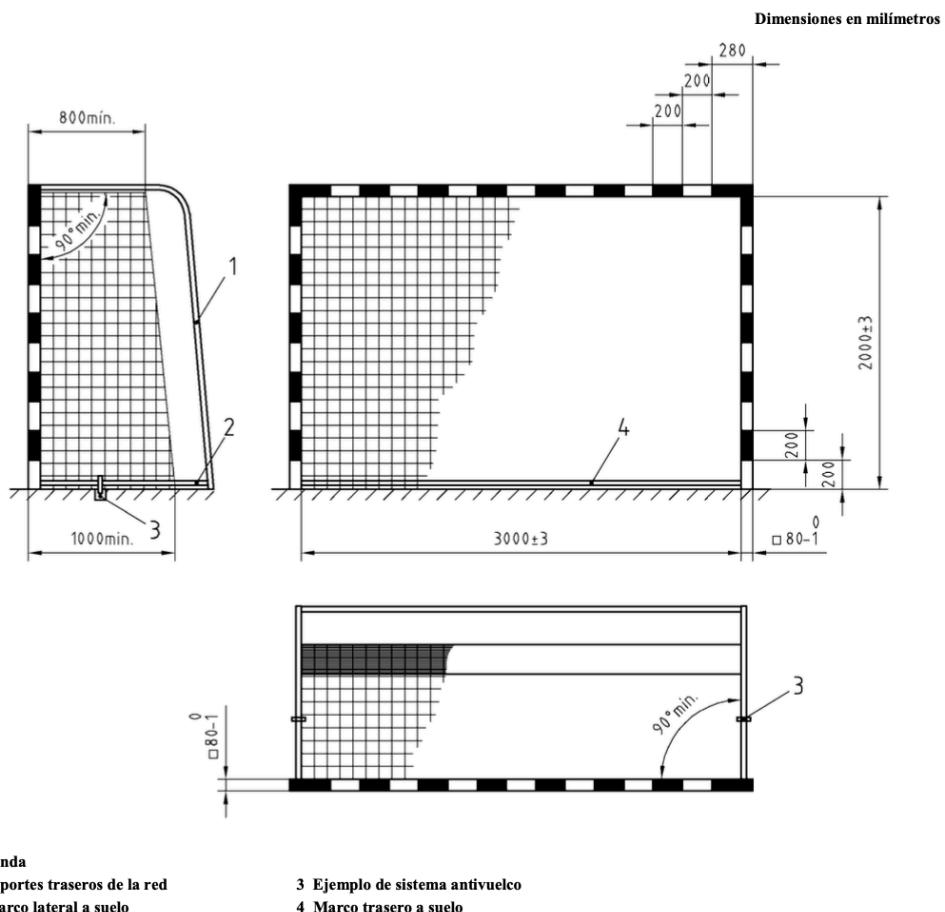


Ilustración 37 Plano portería tradicional UNE-EN 749

3.2 Adaptaciones en otros deportes

La Federación Internacional de Balonmano (IHF) reconoce una adaptación para jugadores en silla de ruedas que consiste en reducir la altura de la portería a 1,7 metros. Esta modificación se logra mediante la utilización de rebajes de madera que se colocan en la parte superior del larguero de la portería convencional.

Es importante destacar que esta adaptación no es una solución ideal, ya que requiere de la intervención manual para modificar la altura de la portería y no permite una transición rápida y sencilla entre el juego convencional y el adaptado. Además, los rebajes de madera pueden representar un riesgo de seguridad si no se fijan correctamente.

A pesar de estas limitaciones, la adaptación en el balonmano para silla de ruedas demuestra que es posible ajustar el equipamiento deportivo para satisfacer las necesidades de jugadores con diferentes capacidades. El análisis de esta solución, así como de las adaptaciones en otros deportes, puede revelar principios de diseño, mecanismos y

materiales que podrían ser aplicables al desarrollo de una portería de balonmano adaptable de forma más eficiente y segura. El análisis de estas adaptaciones puede proporcionar información valiosa y servir de inspiración para el diseño de la portería adaptable.

Fútbol 7 adaptado: En el fútbol 7 se utilizan porterías de dimensiones convencionales. Además, se permite el uso de ayudas técnicas, como andadores o sillas de ruedas, dentro del terreno de juego.



Ilustración 38 Equipo practicando fútbol 7 adaptado

Hockey adaptado: En el hockey adaptado para personas con discapacidad física, se utilizan reglas adaptadas para permitir que los jugadores utilicen sillas de ruedas o prótesis. No hay adaptaciones específicas en las porterías, pero se permite el uso de "sticks" adaptados para facilitar el juego a los deportistas.



Ilustración 39 Partido hockey adaptado

Baloncesto en silla de ruedas: Como ya se mencionó, en el baloncesto en silla de ruedas la altura de la canasta se mantiene a la altura reglamentaria, pero se realizan adaptaciones en las reglas del juego y en la clasificación de los jugadores según su nivel de discapacidad.



Ilustración 40 Partido baloncesto en silla de ruedas

Como hemos podido comprobar, los deportes inclusivos a menudo se caracterizan por adaptar diversos aspectos del juego para facilitar la participación de personas con discapacidad. Estas adaptaciones pueden incluir modificaciones en las reglas, en el equipamiento de los jugadores (como sillas de ruedas deportivas o prótesis) e incluso en las dimensiones del terreno de juego. Sin embargo, sorprendentemente, las porterías y elementos similares suelen ser una excepción en esta tendencia de adaptación.

A continuación, se presenta un análisis comparativo de diferentes soluciones existentes, considerando aspectos clave como el deporte en cuestión, el tipo de adaptación, los mecanismos utilizados y las ventajas y desventajas de cada enfoque.

Tabla 1 Análisis comparativo de adaptaciones en deportes inclusivos

DEPORTE	TIPO DE ADAPTACIÓN	MECANISMOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
BALONMANO	Reducción de altura	Rebaje de madera	Sencillez, bajo coste	Requiere intervención manual, no permite transición rápida, riesgo de seguridad
FÚTBOL 7	Reglas adaptadas	-	Facilita el juego a personas con mov. Reducida	No aplicable al balonmano, no aborda la altura
RUGBY	Silla de ruedas adaptadas	-	Facilita la movilidad y el juego	No adapta la portería, depende de la habilidad individual
BALONCESTO	Reglas adaptadas	-	Permite la participación de jugadores en silla de ruedas	No adapta la canasta, depende de la habilidad individual
PORTERIAS MODULARES	Adaptación modular	-	Potencial para adaptarse a diferentes deportes	Concepto en desarrollo, requiere investigación



4.

DISEÑO DEL EQUIPO (PORTERÍA)



4. DISEÑO DEL EQUIPO (PORTERIA)

El diseño de la portería debe asegurar la correcta práctica de este deporte, tanto en su modalidad tradicional como en su versión inclusiva. El reto en este proyecto consiste en rediseñar este objeto para que cumpla con las dimensiones reglamentarias del balonmano tradicional, 2 metros de alto por 3 metros de ancho (AENOR 2003), y que, al mismo tiempo, sea fácilmente adaptable a las especificaciones del balonmano inclusivo, en el cual las dimensiones son de 1,7 metros de alto por 3 metros de ancho (International Handball Federation).

El punto más importante y delicado en este trabajo es crear un sistema de ajuste que permita la transformación rápida y segura de la portería para ambas modalidades sin comprometer la estabilidad ni la durabilidad de la estructura. Esto requiere la selección de materiales ligeros pero resistentes, que soporten las demandas del juego en ambas configuraciones.

Además, se plantea un análisis exhaustivo de la resistencia estructural a través de simulaciones de elementos finitos (FEM) para asegurar que la portería mantenga su integridad bajo diferentes tipos de esfuerzo.

4.1 Diseño del sistema de ajuste

Para el diseño del proyecto, he explorado diversas alternativas que inicialmente parecían viables pero que, tras un análisis profundo, presentaron dificultades importantes en términos de practicidad, accesibilidad y facilidad de uso en un contexto inclusivo. Las primeras alternativas incluyen el uso de sistemas de manivela, mecanismos telescópicos, engranajes de cremallera y piñón, y opciones motorizadas o hidráulicas. Sin embargo, al evaluar cada uno de estos enfoques, descubrí que no cumplían con los objetivos de simplicidad, independencia y adaptabilidad que son fundamentales para un diseño inclusivo, especialmente pensado para personas con movilidad reducida. Teniendo en cuenta estas limitaciones, he decidido desarrollar una opción diferente: un sistema de cortina inspirado en las persianas enrollables o las puertas correderas que se ven en algunos locales comerciales, como los bares.

1. Sistema de manivela con eje dentado

La primera opción evaluada consistía en un mecanismo de manivela acoplado a un eje dentado, el cual permitiría ajustar la altura de la portería mediante el giro manual de la manivela. La ventaja principal de este diseño radicaba en su aparente simplicidad mecánica. Sin embargo, tras analizarlo más a fondo, detecté varios problemas:

- Requerimiento de fuerza: La operación de este sistema implica un esfuerzo físico considerable para mover el eje dentado. Esto implicaría que una persona tendría que realizar una fuerza constante y considerable para lograr el ajuste necesario, lo cual es problemático en el contexto inclusivo.

- Dependencia de múltiples personas: Debido al esfuerzo requerido, este sistema necesitaría la colaboración de al menos dos personas para ajustarse con comodidad, lo cual va en contra del objetivo de independencia y accesibilidad para los usuarios.

- Desgaste mecánico: Este tipo de mecanismos es susceptible a un desgaste significativo con el tiempo, lo que comprometería la durabilidad y la consistencia del sistema en un entorno de uso deportivo frecuente.

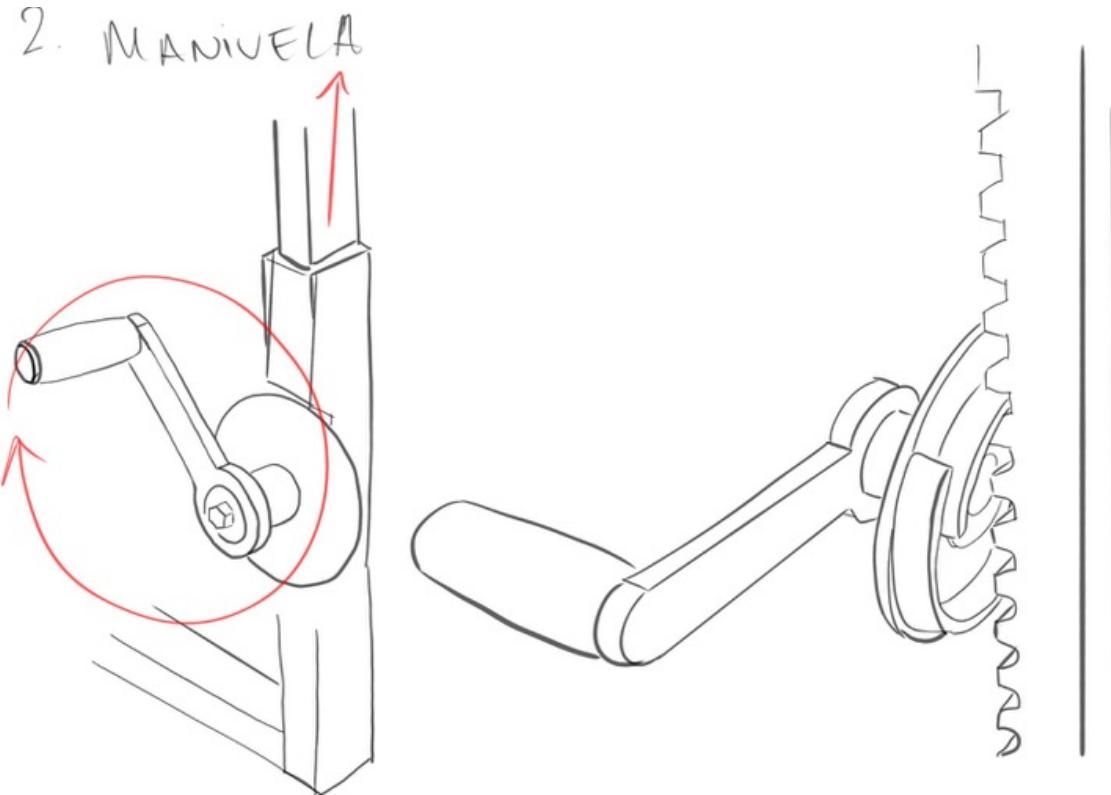


Ilustración 41 Boceto sistema manivela

2. Sistema telescopico

Otra alternativa fue un sistema telescopico, que permitiría ajustar la portería mediante la extensión y contracción de los postes, de manera similar a los mecanismos de las antenas extensibles o ciertos soportes ajustables como las muletas. Las principales razones que motivaron su consideración fueron la posibilidad de ajuste rápido y su diseño teóricamente adaptable. Sin embargo, este sistema también presentó varios inconvenientes:

- Peso y robustez: Para soportar la estructura de una portería y resistir los impactos, el mecanismo telescopico requeriría materiales robustos, lo cual incrementaría tanto el peso total como el costo del dispositivo.

- Dificultad de operación: Aunque el sistema telescópico facilita la extensibilidad, en el contexto de una portería, ajustarlo manualmente seguiría siendo complicado y demandaría fuerza adicional. Este aspecto contradice el principio de accesibilidad, ya que las personas con movilidad reducida o con capacidades físicas distintas no podrían realizar el ajuste de forma autónoma y siempre se necesitaría más de una persona para realizar el ajuste por el volumen de la portería.

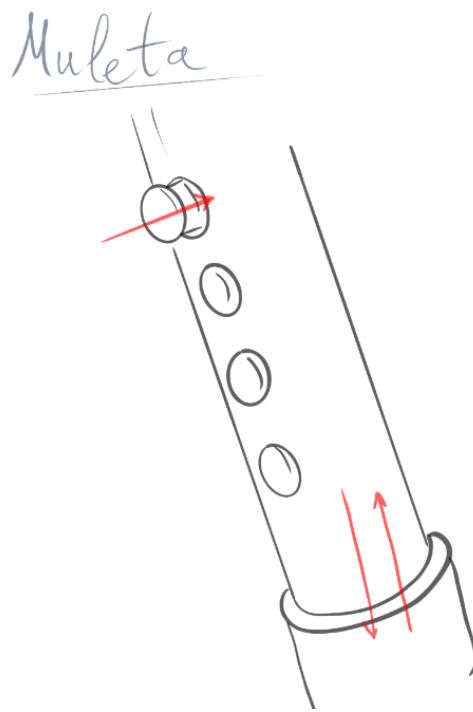
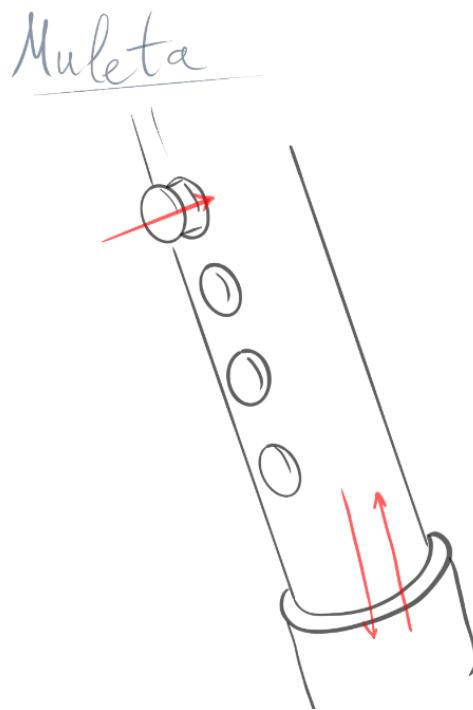


Ilustración 42 Boceto sistema muleta

3. Sistema de piñón y cremallera

La tercera opción evaluada consistía en un mecanismo de cremallera y piñón, muy parecido a la primera. Se utilizaría un engranaje acoplado a la estructura para ajustar la portería

mediante el movimiento del engranaje sobre la cremallera. Este sistema parecía prometedor en cuanto a precisión y control de ajuste, pero mostró importantes limitaciones en la práctica:

- Esfuerzo mecánico considerable: Al igual que los sistemas anteriores, el uso de una cremallera y piñón requeriría de una cantidad considerable de fuerza para mover la estructura, haciendo que sea difícil de operar por una persona sin ayuda adicional.
- Desgaste y mantenimiento: El uso frecuente de un engranaje de cremallera implica un desgaste significativo en los dientes de la cremallera, especialmente bajo las condiciones de uso intensivo de una portería de balonmano. Esto no sólo aumenta los costos de mantenimiento, sino que también afecta la fiabilidad del sistema a largo plazo.
- Dependencia de ayuda externa: Para ajustar la portería mediante este sistema, la persona tendría que realizar un esfuerzo que, de nuevo, va en contra del objetivo de permitir el ajuste independiente y accesible.

4. Mecanismos motorizados o hidráulicos

Otra opción que consideré fue la posibilidad de utilizar un sistema motorizado o hidráulico. Podría facilitar el ajuste de la portería con sólo presionar un botón. Fueron estas las razones por las que desestimé esta opción:

- Coste elevado: Los sistemas motorizados o hidráulicos requieren componentes sofisticados y de alto coste, lo cual incrementaría considerablemente el precio final de la portería, haciéndola inaccesible para muchas instituciones deportivas que operan con presupuestos limitados.
- Requerimientos de energía: Este sistema necesitaba puntos de alimentación eléctrica o de baterías para operar. Un sistema motorizado es contradictorio con la simplicidad y accesibilidad. Además, en algunos entornos deportivos, no siempre se dispone de un acceso fácil a la electricidad ya que muchas de estas porterías están en la calle.
- Peso: estos sistemas añadirían peso adicional a la estructura, dificultando el transporte e instalación de la portería.

Después de analizar las diferentes alternativas para el sistema de ajuste, se ha optado por un **sistema de cortina tipo persiana o corredera**, como las que se utilizan en bares o locales comerciales. Esta elección se basa en una serie de ventajas significativas que ofrece este sistema en términos de accesibilidad, facilidad de uso y costo de fabricación, en comparación con las opciones previamente consideradas.

Descripción detallada del sistema de cortina

El sistema de cortina propuesto consiste en una estructura que se desliza verticalmente a lo largo de unos rieles o guías, de manera similar a una persiana enrollable o una puerta corredera. Esta estructura puede estar fabricada con materiales ligeros pero resistentes,

como aluminio o materiales compuestos, que garanticen la estabilidad y durabilidad de la portería.

El sistema de cortina se acciona mediante un mecanismo sencillo y accesible. Este mecanismo permite a cualquier persona, independientemente de su condición física, ajustar la altura de la portería de forma rápida y sencilla, sin necesidad de herramientas especializadas ni ayuda externa.

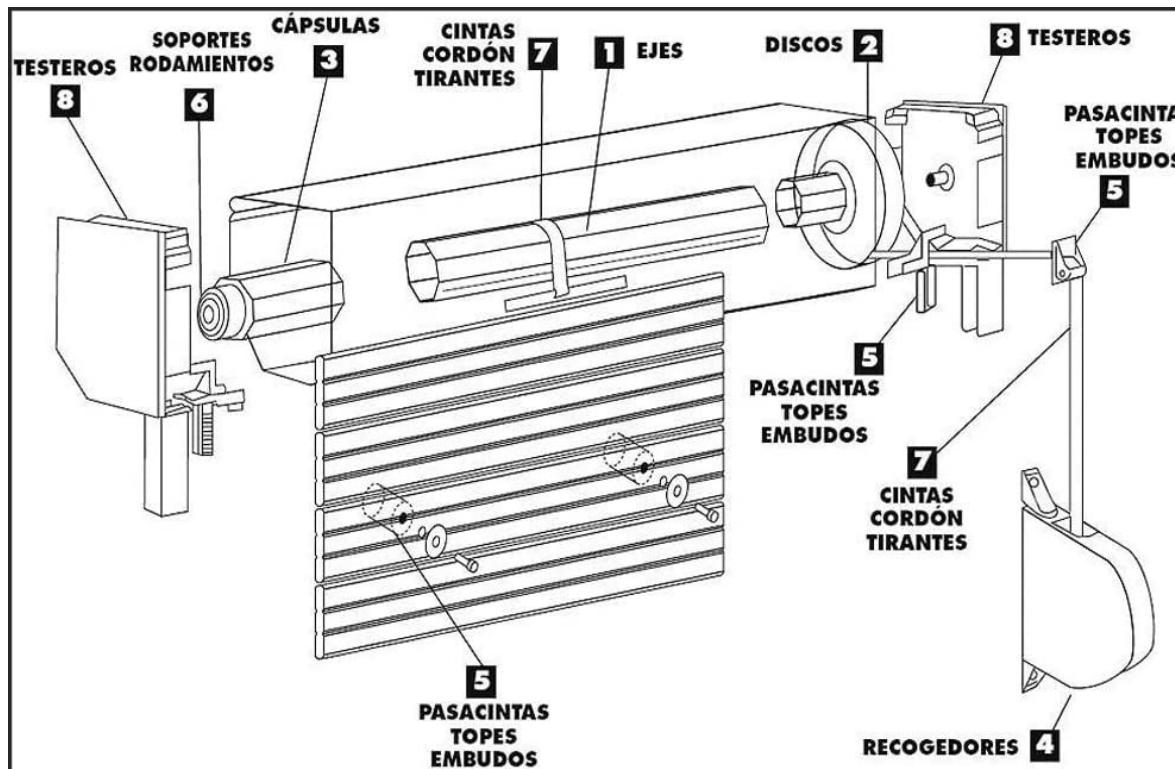


Ilustración 43 Cajón de persiana y sus elementos



Ilustración 44 Toldo vertical

Ventajas del sistema de cortina

- **Accesibilidad:** El sistema de cortina es fácil de usar y accesible para personas con movilidad reducida o con capacidades físicas diferentes. El accionamiento manual no requiere fuerza excesiva ni movimientos complejos, lo que permite que cualquier persona pueda ajustar la altura de la portería de forma autónoma.
- **Facilidad de uso:** Es un sistema intuitivo y sencillo de operar. El ajuste de la altura se realiza de forma rápida y fluida, sin necesidad de manipular mecanismos complicados ni realizar ajustes laboriosos.
- **Costo de fabricación:** El sistema presenta un costo de fabricación menor en comparación con otras opciones, como los sistemas motorizados o hidráulicos. Al utilizar materiales ligeros y económicos y evitar componentes mecánicos complejos, se reduce el costo de producción y se facilita el acceso a la portería adaptable a un mayor número de instituciones deportivas.
- **Mantenimiento:** Requiere un mantenimiento mínimo en comparación con otros sistemas mecánicos más complejos. Al tener menos componentes susceptibles al desgaste, se reduce la necesidad de reparaciones y se prolonga la vida útil del equipo.
- **Adaptabilidad:** Permite ajustar tanto la altura como el ancho de la portería de manera fluida, lo que facilita su uso en distintos contextos y modalidades deportivas, desde el balonmano estándar hasta el balonmano inclusivo para personas en silla de ruedas.

4.2 Bocetos del diseño

En esta etapa del proyecto, se han desarrollado una serie de bocetos que exploran la solución para el diseño de la portería adaptable. Estos bocetos se centran en el sistema de ajuste, la estructura principal y el sistema de encaje de la cortina con la estructura principal, y buscan cumplir con los requisitos de funcionalidad, seguridad y estética.

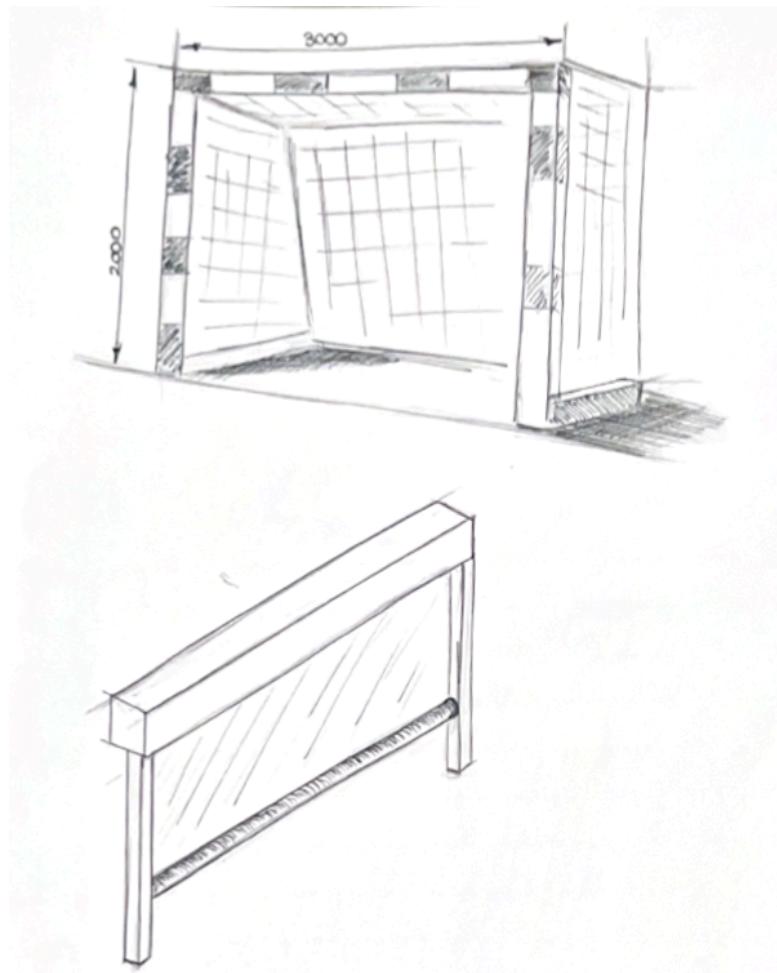


Ilustración 45 Boceto portería adaptable

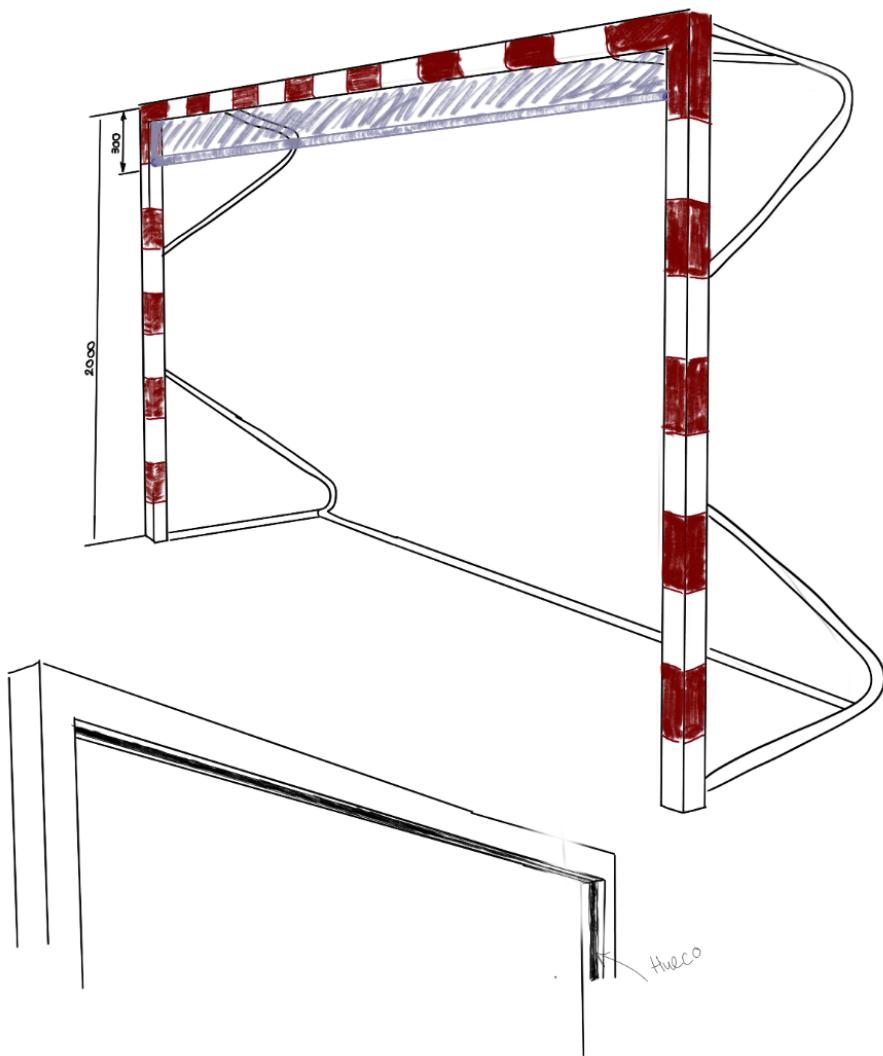


Ilustración 46 Boceto portería adaptable con el toldo integrado y detalle de la guía

4.3 Materiales

La elección de los materiales es fundamental para lograr una portería adaptable que cumpla con los requisitos de ligereza, resistencia y durabilidad establecidos en la norma UNE-EN 749. Para la estructura principal, se propone el uso de perfiles de aluminio o materiales compuestos ligeros y de alta resistencia, que garanticen la estabilidad y durabilidad del conjunto sin comprometer la ligereza. Estos materiales ofrecen una excelente combinación de propiedades mecánicas, ligereza y resistencia a la corrosión, lo que los hace ideales para su uso en instalaciones deportivas.



Ilustración 47 Perfil de aluminio

La cortina encargada de realizar la función de adaptación de la portería deberá estar fabricada con materiales textiles técnicos específicamente diseñados para aplicaciones que requieren una alta resistencia mecánica. Entre las opciones más adecuadas se encuentran las lonas reforzadas y los tejidos de alta tenacidad, como aquellos compuestos por fibras sintéticas tipo poliéster recubiertas con PVC o poliuretano, ampliamente utilizados en sectores como el deportivo, industrial o náutico debido a su durabilidad y resistencia.

Este tipo de materiales no solo deben ser capaces de resistir las tensiones generadas por el despliegue y recogida del sistema con el paso del tiempo, sino también soportar de forma eficaz la abrasión y el desgaste provocado por un uso frecuente e intensivo. Además, es esencial que presenten un buen comportamiento frente a agentes ambientales adversos, como la humedad, los cambios bruscos de temperatura, la exposición prolongada a la luz solar o la acumulación de polvo y suciedad, garantizando así un correcto funcionamiento tanto en interiores como en pabellones deportivos parcialmente abiertos o mal climatizados.

Por otro lado, uno de los requisitos fundamentales que debe cumplir el material de la cortina es su capacidad para absorber o resistir el impacto de los lanzamientos de balonmano, ya que se trata de un deporte que implica potentes disparos del balón contra la portería. Por este motivo, el tejido debe ofrecer una buena resistencia a impactos repetitivos sin deformarse, rasgarse ni perder sus propiedades físicas con el tiempo. En función del diseño final, incluso podría valorarse la inclusión de refuerzos en zonas específicas o tratamientos adicionales que mejoren su comportamiento frente a impactos.



Ilustración 48 Cortina PVC

4.4 Renders y diseño final

Para facilitar la comprensión del diseño propuesto y mostrar el resultado final de la portería adaptable, se han generado una serie de renders fotorrealistas. Estos renders permiten visualizar la portería en detalle, mostrando su estructura, el sistema de ajuste y los diferentes componentes desde diversas perspectivas.

Las siguientes imágenes ilustran la funcionalidad y el diseño de la "cortina" adaptable. Este sistema, inspirado en persianas enrollables, permite una transición fluida entre las alturas reglamentarias del balonmano convencional e inclusivo.

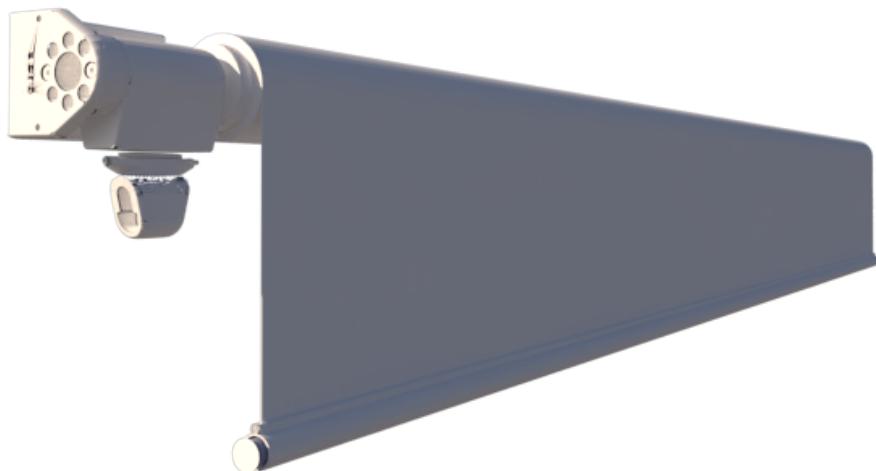


Ilustración 49 Render toldo vista frontal

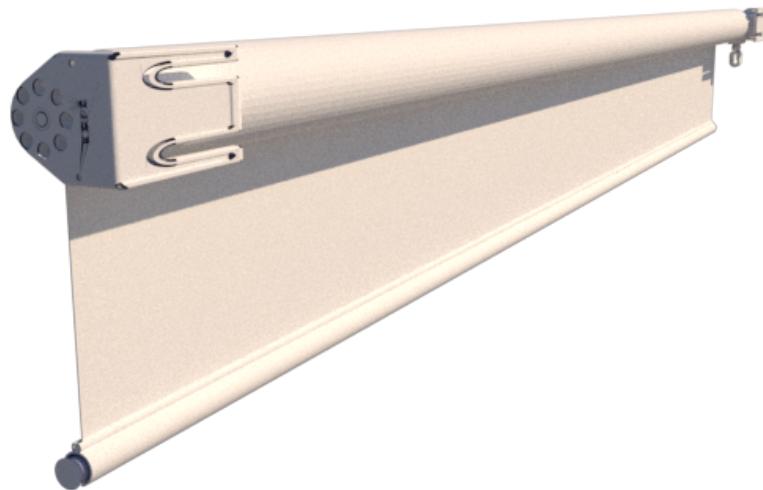


Ilustración 50 Render toldo vista trasera

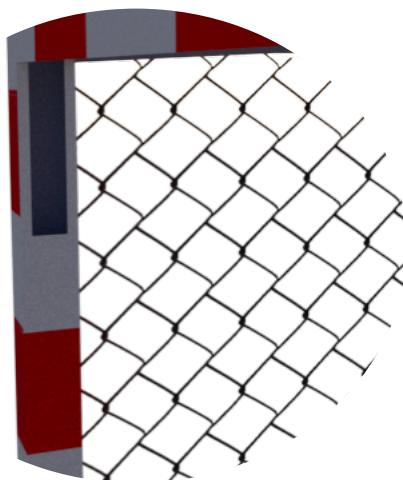


Ilustración 51 Detalle guías para toldo

Estos renders muestran la cortina en su máxima extensión, configurando la portería para la altura del balonmano inclusivo (1.7 metros). Los laterales de la cortina se integran con la estructura de la portería mediante unas guías que aseguran que la lona se despliegue de manera tensa y sin pliegues. Además, se distingue en el borde inferior de la lona un peso cilíndrico integrado. Este peso cumple una doble función: mantener la lona completamente estirada durante el juego y encajar perfectamente en un hueco diseñado específicamente en el poste superior de la portería cuando la lona se recoge. Este encaje asegura una integración limpia y evita que el peso quede colgando o interfiera con la estructura superior cuando la portería está en su configuración de altura estándar. La calidad del material sugiere durabilidad y resistencia a los impactos del balón.

La imagen ofrece una vista detallada de la guía lateral integrada en uno de los postes verticales de la portería adaptable. Este componente esencial del sistema de ajuste de altura permite el movimiento controlado y preciso de la "cortina" a lo largo del poste.

A continuación, se sitúa la portería de balonmano adaptable en su entorno natural de uso, la cancha de juego. A través de diversas perspectivas y enfoques, se explora su integración funcional y estética en el contexto deportivo.

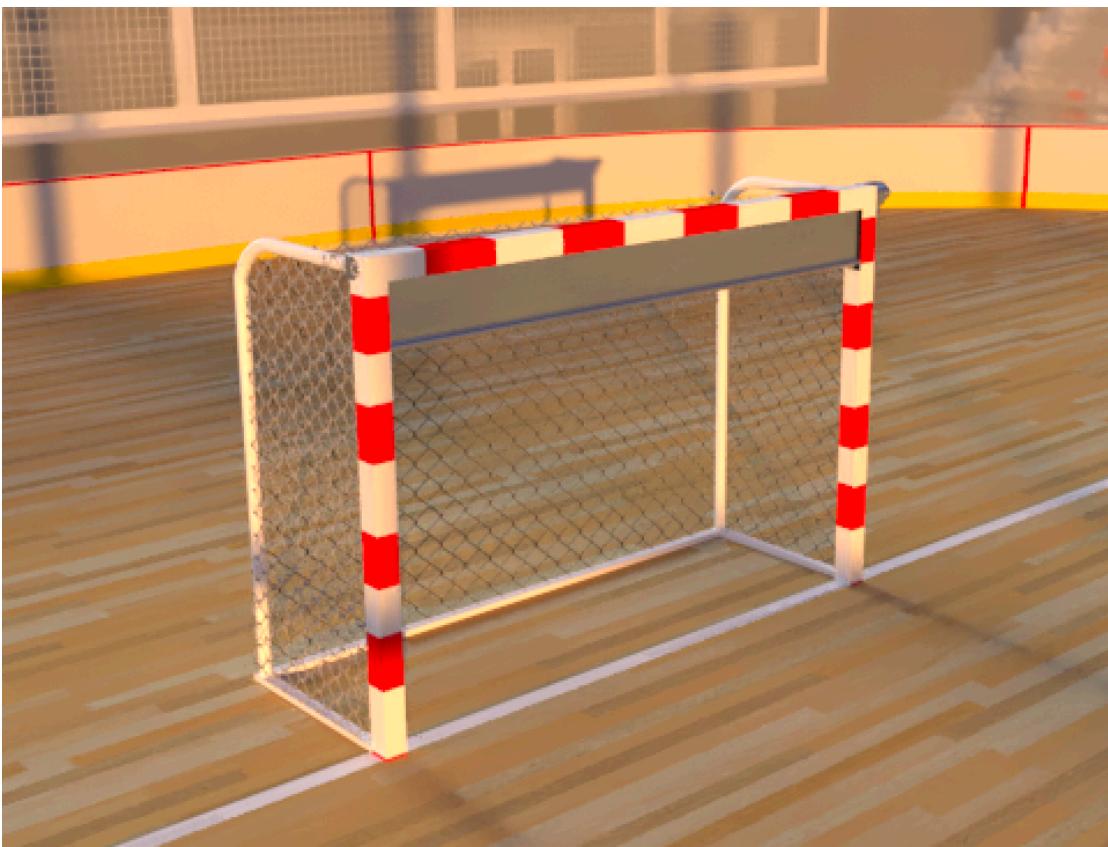


Ilustración 52 Portería con el toldo bajado en pabellón

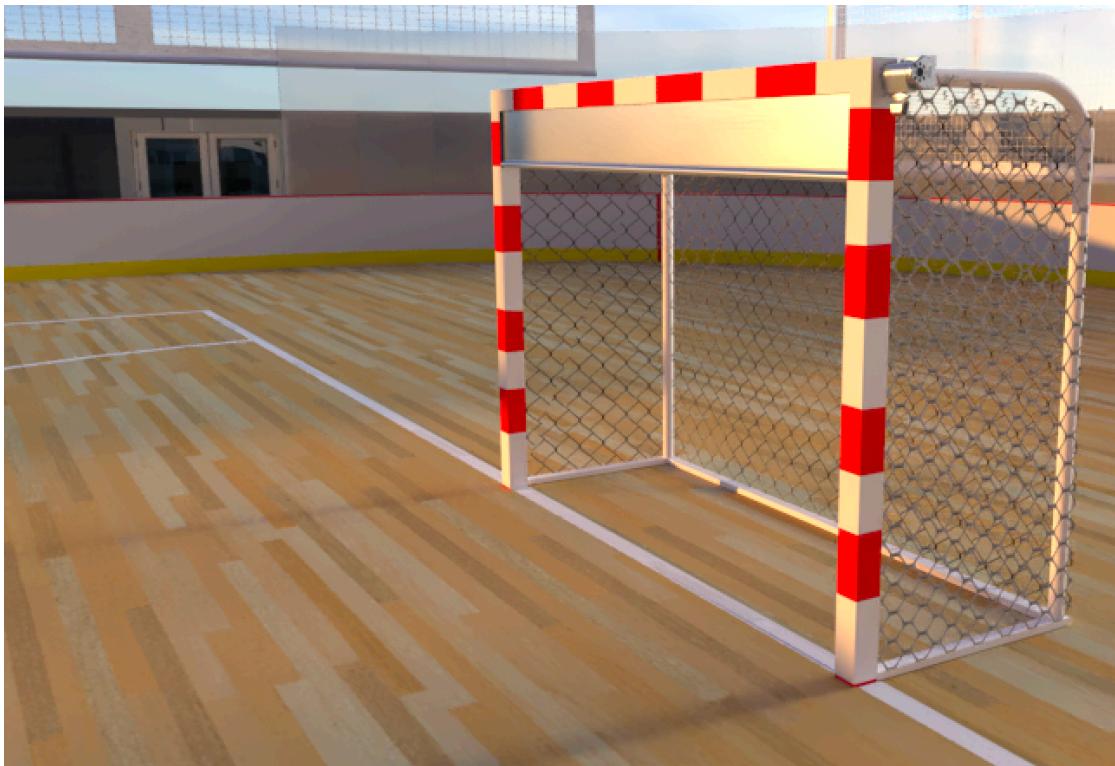


Ilustración 53 Portería con el toldo bajado en pabellón



Ilustración 54 Portería con el toldo bajado en pabellón

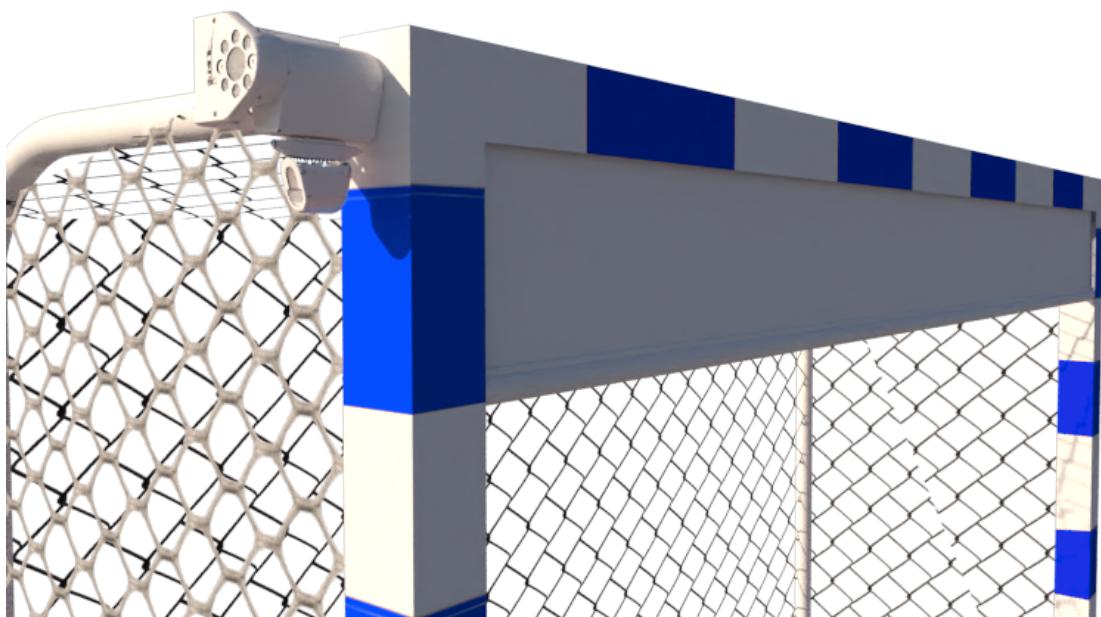


Ilustración 55 Detalle del mecanismo de la cortina totalmente bajada

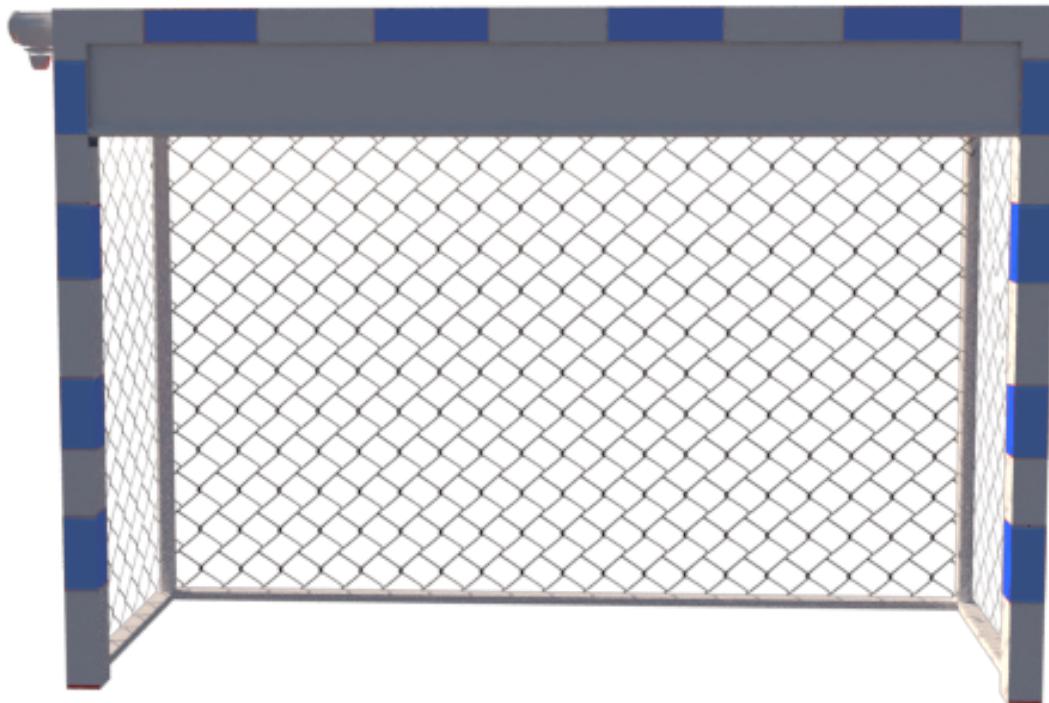


Ilustración 56 Vista frontal de la portería

La siguiente imagen se centra en el corazón del sistema de adaptación de altura de la portería, el mecanismo encargado de subir y bajar la lona frontal. Este sistema permite modificar parcialmente la altura útil del área de gol, adaptándola a las necesidades del balonmano en silla de ruedas sin alterar las dimensiones reglamentarias de la estructura principal.

El render ofrece una vista cercana y detallada de los componentes clave implicados en esta funcionalidad. Originalmente, el sistema consistía en un despliegue mecánico manual inspirado en mecanismos tipo persiana o cortina enrollable, el cual permitía desplegar la lona desde el travesaño superior hasta cubrir aproximadamente el 25% de la altura de la portería. Esta lona, de carácter opaco, actuaba como elemento visual y físico de limitación del espacio de juego superior, ajustando el área útil al contexto inclusivo.

No obstante, con el objetivo de elevar significativamente la accesibilidad, la seguridad y la funcionalidad del sistema de ajuste de la portería, se propone la implementación de un mecanismo automatizado con accionamiento eléctrico en las fases avanzadas del diseño. Esta evolución representa un salto cualitativo respecto a los sistemas puramente manuales, que, si bien funcionales, no ofrecen la autonomía, la precisión ni la comodidad deseadas para un espectro completo de usuarios.

La interacción con este sistema se simplificará al máximo mediante la integración de **un único botón accionador**. Este botón, estratégicamente situado en un lateral de la portería a una altura ergonómicamente accesible (idealmente entre 0.8 y 1.2 metros del suelo para

personas en silla de ruedas), permitirá controlar de manera intuitiva el despliegue y recogida de la lona.

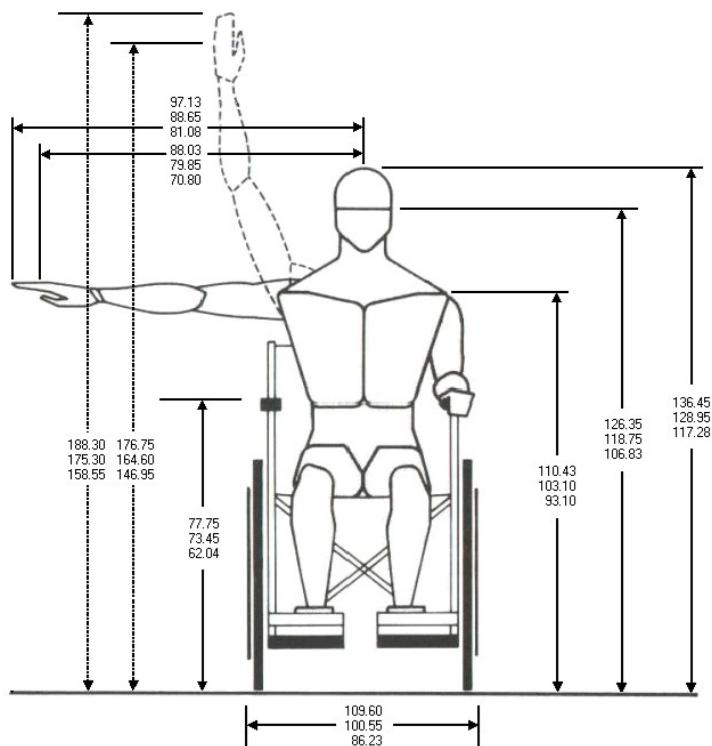


Ilustración 57 Antropometría de una persona en silla de ruedas

El sistema de accionamiento de la cortina funciona con un mecanismo muy sencillo e intuitivo, pensado para facilitar su uso sin necesidad de asistencia externa. Mediante un único botón, el usuario puede controlar tanto el despliegue como la recogida del sistema.

Con una primera pulsación, la cortina desciende automáticamente hasta alcanzar su posición inferior. Una segunda pulsación activa el movimiento en sentido contrario, recogiendo la cortina hasta su posición superior. En ambos casos, el movimiento se detiene de forma automática al llegar a los extremos del recorrido, sin que el usuario tenga que intervenir más allá de pulsar el botón.

Este paro automático se logra gracias a la incorporación de sensores de final de carrera, ya sean mecánicos, magnéticos o electrónicos, que detectan cuándo la cortina ha alcanzado el límite establecido en cada extremo. Una vez se activa el sensor correspondiente, el sistema interrumpe la alimentación del motor o envía una señal de parada, garantizando así un movimiento controlado, seguro y preciso.

Este funcionamiento alternativo con una sola pulsación por ciclo, junto con la parada automática, aporta una gran comodidad y autonomía al usuario. Además, minimiza el riesgo de errores o accidentes y simplifica el mantenimiento del sistema al evitar esfuerzos innecesarios o bloqueos mecánicos.

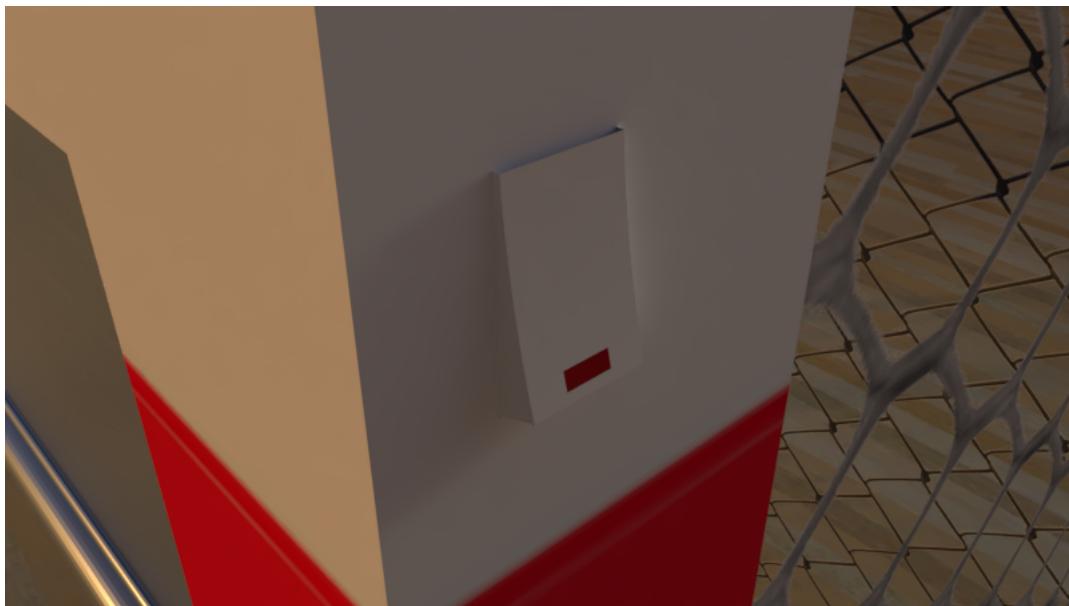


Ilustración 58 Detalle del botón accionador

Este nivel de automatización para la adaptación de la portería de balonmano establece un paralelismo directo con la tecnología ya consolidada en canastas de baloncesto profesionales, las cuales incorporan extensos sistemas eléctricos para ajustar su altura o plegarse.



Ilustración 59 Canasta adaptable mediante electricidad

La robustez, fiabilidad y seguridad inherentes a esos sistemas son el referente para el desarrollo de esta propuesta.

La alimentación energética principal del sistema automatizado se derivará de la red eléctrica convencional del pabellón deportivo. Esta elección se basa en la ubicación y la fiabilidad de la infraestructura eléctrica existente en la gran mayoría de instalaciones deportivas cubiertas, garantizando un suministro de energía constante y virtualmente ilimitado durante las horas de operación.

La conexión se realizará mediante un cableado de grado industrial, altamente resistente a la abrasión, impactos y humedad (con un índice de protección IP adecuado, como IP65 o superior).

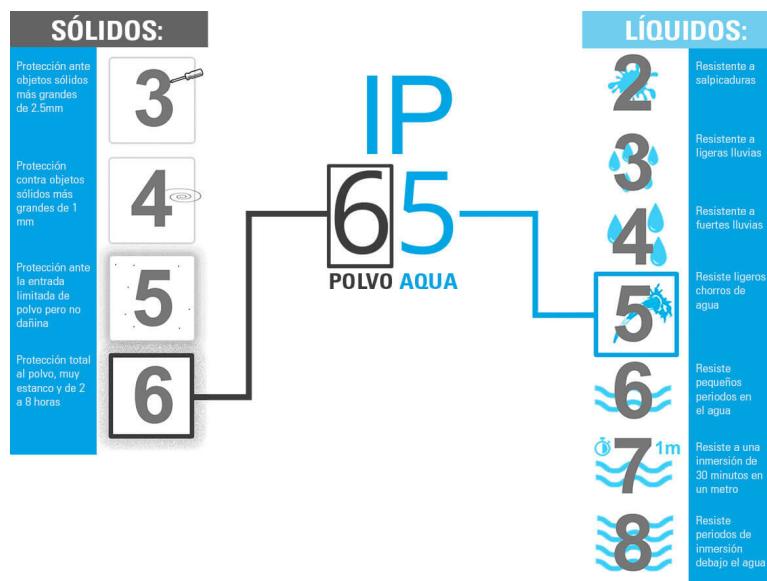


Ilustración 60 Grado de protección IP

Este cableado se integrará de manera impecable y segura dentro de la estructura de la portería, guiado a través de conductos protectores o perfiles cerrados para eliminar cualquier riesgo de daño, atrapamiento o tropiezo, y cumpliendo rigurosamente con las directrices de seguridad eléctrica, como el *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT)* en España y la norma *UNE-EN 60204-1 (Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas)*, así como la *UNE-EN 749* para porteras. Esto abarca un aislamiento meticoloso, protecciones avanzadas contra sobreintensidades, cortocircuitos y disyuntores diferenciales de alta sensibilidad, y una puesta a tierra robusta para todas las partes metálicas accesibles.

El cerebro de este sistema de automatización será un motorreductor eléctrico de bajo voltaje, cuidadosamente seleccionado para proporcionar el par y la velocidad precisos para un movimiento fluido y controlado de la cortina, evitando vibraciones o movimientos bruscos. Este motor estará bajo la gestión de un microcontrolador robusto que actuará como el centro de control lógico. Su programación se encargará de interpretar la única

pulsación del botón, gestionar la secuencia de arranque/parada y el sentido de giro del motor, y procesar la información de una serie de sensores de posición altamente precisos. Se incluirán finales de carrera en los extremos superior e inferior del recorrido de la lona para una parada segura y automática, previniendo daños mecánicos por sobre recorrido.

Esta meticulosa integración de la electrónica y la mecánica, inspirada en los sistemas más avanzados de equipamiento deportivo profesional, no solo garantiza la facilidad y la fiabilidad en el ajuste de la altura, sino que también posiciona esta portería como un referente en diseño inclusivo, promoviendo la autonomía del deportista y contribuyendo a la construcción de espacios deportivos verdaderamente accesibles y seguros para todos.

4.5 Selección del Tipo de Motor y Mecanismo de Transmisión

Para garantizar un movimiento suave, controlado y eficiente de la lona, la elección recae en un motorreductor de corriente continua (DC) o, si la potencia lo justifica, un motorreductor de corriente alterna (AC) monofásico. El motorreductor DC es preferible por su capacidad de ofrecer un control de velocidad y par más preciso a bajo coste, lo cual es especialmente relevante para un movimiento gradual y sin tirones. Los motores DC permiten una mayor flexibilidad en la programación de rampas de aceleración y desaceleración, lo que se traduce en un movimiento fluido de la lona, minimizando el desgaste mecánico y mejorando la seguridad. Además, su compatibilidad con sistemas de baterías es directa, ofreciendo como ventajas clave su controlabilidad, eficiencia a bajas velocidades y facilidad de inversión de giro.



Ilustración 61 Motor reductor

El motor no actuará directamente sobre el eje de enrollamiento de la lona, sino que se acoplará a un reductor de velocidad (caja de engranajes). Este reductor es fundamental porque los motores eléctricos de tamaño compacto suelen operar a altas RPM con un par relativamente bajo. El reductor transformará esta alta velocidad y bajo par en alto par y baja velocidad necesaria para enrollar y desenrollar la lona de forma controlada y vencer la resistencia del peso de la lona y la fricción en las guías. Un reductor de engranajes helicoidales ofrecerá un movimiento más preciso y eliminará holguras, siendo crucial para que la lona se detenga exactamente a las alturas reglamentarias. Algunos tipos de reductores, como los de tornillo sin fin, pueden ofrecer características de auto bloqueo o retención. Sin embargo, para nuestra portería, la seguridad de la posición de la lona está garantizada principalmente por el diseño de sus guías laterales y los topes mecánicos en los extremos del carril, que aseguran que la lona se detenga de forma segura y precisa a las alturas reglamentarias sin requerir un autobloqueo constante por parte del reductor para mantener la posición.



Ilustración 62 Reductor de velocidad

El dimensionamiento de la potencia (W) y el par (Nm) del motorreductor se realizará con precisión basándose en el peso total de la lona y el perfil inferior, las fuerzas de fricción en las guías laterales y la velocidad de ajuste deseada (por ejemplo, entre 5 y 10 segundos para un cambio de altura completo), aplicando siempre un factor de seguridad adecuado (como 1.5 a 2 veces la carga máxima calculada). Para una portería de estas dimensiones, un motorreductor con un rango de 24V a 48V DC y una potencia de 50W a 150W (dependiendo del reductor y el rendimiento requerido) sería un buen punto de partida.

Para determinar la potencia eléctrica necesaria para el motorreductor y su selección, se utilizan las fórmulas de mecánica y electricidad que se presentan a continuación. Estas ecuaciones nos permiten calcular el par y la potencia mecánica requeridos para mover la lona en el tiempo deseado, considerando las fuerzas implicadas (peso de la lona, fricción)

y aplicando un factor de seguridad. Finalmente, al dividir la potencia mecánica por la eficiencia del motor y del reductor, obtenemos la potencia eléctrica que el motor debe ser capaz de suministrar.

Tabla 2 Fórmulas utilizadas para determinar potencia necesaria

CONCEPTO	FÓRMULA	UD	DESCRIPCIÓN
FUERZA (F)	$F = P_{Lona} + F_{fricción} + F_{seguridad}$	N	Fuerza total a vencer. Flona es el peso de la lona y el perfil inferior; Ffriccion es la fuerza de fricción en las guías; Fseguridad es la fuerza adicional para el factor de seguridad/inercia
PAR REQUERIDO (T)	$T = F * r$	N*m	Par necesario para enrollar/desenrollar la lona. F es la fuerza neta calculada; r es el radio del tambor de enrollamiento
POTENCIA MECÁNICA (P)	$P_{mec} = T * \omega$	W	Potencia mecánica necesaria para mover la lona. T es el par requerido; ω es la velocidad angular del tambor (rad/s). ($\omega=2\cdot\pi\cdot N/60$, donde N es la velocidad en RPM)
VELOCIDAD LINEAL (V)	$v = \frac{\Delta h}{\Delta t}$	M/s	Velocidad deseada de subida/bajada de la lona. Δh es el cambio de altura; Δt es el tiempo deseado.
POTENCIA ELÉCTRICA (P_{elec})	$P_{elec} = \frac{P_{mec}}{\eta_{motor} * \eta_{reductor}}$	W	Esta es la potencia que el motorreductor debe tener para cumplir con los requisitos. Pmec es la potencia mecánica; η_{motor} es la eficiencia del motor; $\eta_{reductor}$ es la eficiencia del reductor (valores entre 0 y 1).

Estos cálculos permiten seleccionar un motorreductor que no solo sea capaz de mover la lona, sino que lo haga de forma eficiente y con la holgura necesaria para garantizar un funcionamiento fiable y duradero en el tiempo. El rango de 50W a 150W se propone como un punto de partida basado en experiencias con sistemas de accionamiento similares (como persianas enrollables de dimensiones comparables), los cuales generalmente operan dentro de este rango para cargas y velocidades modestas. La aplicación de las fórmulas anteriores permitirá afinar este valor y seleccionar el motorreductor comercial más adecuado que ofrezca la potencia calculada, junto con las especificaciones de voltaje (24V a 48V DC preferentemente) y par para una óptima integración.

4.6 Integración del motor en la estructura de la portería

La ubicación y el montaje del motorreductor son críticos para la estética, la seguridad y la funcionalidad del conjunto. El motor se integrará de manera discreta y protegida en el poste horizontal superior de la portería, o en el interior de uno de los postes verticales en su parte superior, siempre cerca del eje de enrollamiento de la lona. Esta ubicación estratégica

minimiza la intrusión visual, protege el motor de golpes accidentales y lo aleja de posibles contactos con los jugadores o el balón.

El motorreductor y su sistema de transmisión se alojarán dentro de una carcasa de protección robusta, fabricada en un material resistente como el aluminio o un polímero, por ejemplo, ABS reforzado. Esta carcasa cumplirá con un grado de protección IP adecuado como se explicó anteriormente.

4.7 Eficiencia energética y sostenibilidad

El diseño del sistema eléctrico también considerará la eficiencia energética y la sostenibilidad. Se seleccionará un motor con alta eficiencia energética que minimice el consumo de electricidad durante la operación. Siempre que sea posible, se priorizará el uso de componentes eléctricos y electrónicos fabricados con materiales reciclables o de origen sostenible, y se buscará minimizar la cantidad de residuos electrónicos al final de la vida útil del producto.

En síntesis, la integración del motor eléctrico no es meramente un añadido, sino una transformación fundamental del producto. Se concibe como un sistema autónomo, fiable y seguro, que utiliza tecnología probada en otras aplicaciones deportivas para ofrecer una solución robusta. La elección de un motorreductor DC con un control preciso, combinado con una integración estructural protegida y un sistema de sensores inteligentes, garantiza que la portería no solo cumpla con su función adaptable, sino que lo haga de una manera que realmente mejore la experiencia y la autonomía de todos los usuarios, en línea con los principios más avanzados del diseño industrial inclusivo.

4.8 Opción sistema autónomo con baterías para exteriores

Para porterías destinadas a entornos exteriores como colegios, parques o plazas donde la conexión a una toma de corriente fija no es una opción viable o es extremadamente complicada, se propone un sistema de alimentación autónomo basado en baterías recargables integradas. Esta solución dota a la portería de total independencia energética, ampliando significativamente sus posibilidades de uso y despliegue en lugares donde la infraestructura eléctrica es limitada o inexistente.

La elección de la tecnología de baterías es crucial para este propósito. Se optará por baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄). Esta química, a diferencia de otras de litio, ofrece una seguridad superior, menor riesgo de sobrecalentamiento o ignición, una vida útil excepcionalmente larga permitiendo miles de ciclos de carga y descarga, y una excelente estabilidad térmica. Además, mantienen su rendimiento de descarga en un amplio rango de temperaturas, lo cual es fundamental para equipos expuestos a las condiciones del tiempo en exteriores. La capacidad de la batería se dimensionará para permitir un uso prolongado y repetido del sistema de ajuste; por ejemplo, una autonomía de más de 100 ciclos

completos de subida y bajada de la lona garantizaría la operatividad durante varios días o semanas de uso ocasional sin necesidad de recarga.

La integración física de este sistema de baterías será discreta y altamente protegida. Las baterías se alojarán en un compartimento con un grado de protección IP65 o IP67 para resistir lluvia y polvo, situado estratégicamente en la base de uno de los postes. Este compartimento, fabricado en materiales resistentes a la intemperie como plásticos de ingeniería robustos o aleaciones ligeras con tratamientos anticorrosión, no comprometerá la estabilidad ni el equilibrio de la portería. El acceso a este compartimento se realizará mediante un cierre seguro con llave o herramienta específica para evitar manipulaciones no autorizadas y proteger los componentes internos, teniendo así un corte o algo similar en la parte del poste donde se integre.

Para que esto sea posible, será necesario diseñar e implementar un corte o una abertura específica en el perfil del poste. Esta abertura no será un simple corte, sino una sección diseñada y mecanizada con precisión para integrar una puerta o tapa de acceso. Esta tapa deberá estar fabricada en un material robusto y resistente a la intemperie, como un polímero de ingeniería de alta resistencia o una aleación ligera con un acabado protector, que pueda ser abatida o deslizada para permitir el acceso al interior. Este diseño implicará la adición de componentes como bisagras ocultas y selladas para mantener la estética, juntas de estanqueidad para asegurar la protección contra el agua y el polvo, y el mecanismo de cierre de seguridad con llave o herramienta.

La implementación de este acceso diseñado y la adición de estos componentes sumará al costo total de fabricación de la portería. Esto se debe a la necesidad de mecanizado de precisión en los perfiles de aluminio existentes, la fabricación de la tapa con materiales adecuados para exteriores y el costo de los herrajes y elementos de seguridad que garantizan la estanqueidad y la durabilidad en un entorno expuesto.

El sistema de carga de las baterías para uso en exteriores presenta desafíos significativos dada la ausencia de una red eléctrica accesible. La opción principal sería la integración de un panel solar fotovoltaico en una sección no obstructiva de la portería (quizás en la parte superior del travesaño). Este panel solar, dimensionado para ofrecer una carga de mantenimiento y prolongar la autonomía, sería el único medio de recarga constante en exteriores. Sin embargo, la dependencia exclusiva de la energía solar introduce importantes complejidades:

- **Variabilidad Climática:** La eficacia de la carga solar depende directamente de la irradiación solar, lo que significa que días nublados, lluviosos o el uso durante la noche limitarían severamente la capacidad de recarga.
- **Requerimientos de Superficie:** Para generar suficiente energía para múltiples ciclos de movimiento y mantener la batería cargada, se necesitaría un panel solar de tamaño considerable, lo cual podría afectar la estética, el peso y la aerodinámica de la portería, además de ser susceptible a la obstrucción o el daño.
- **Mantenimiento y Protección:** Los paneles solares en entornos públicos al aire libre son vulnerables a la acumulación de suciedad (reduciendo su eficiencia) y a actos vandálicos o impactos, lo que implicaría requisitos de mantenimiento y protección elevados.
- **Relación Costo-Beneficio:** Lograr una autonomía fiable únicamente con energía solar para una aplicación con demanda de potencia relativamente alta (aunque

puntual) y ciclos repetidos, sin sacrificar la normativa de dimensionamiento, la estética y la durabilidad, incrementa considerablemente el costo del sistema de manera exponencial.

Se implementarán sistemas de protección contra sobrecarga y sobrecalentamiento para maximizar la vida útil y la seguridad. Un indicador visual como luces LED en el panel de control del botón único informará al usuario sobre el nivel de batería restante, similar a la autonomía de un teléfono móvil.

Este sistema autónomo con baterías, aunque técnicamente viable, presenta desafíos significativos en términos de la fiabilidad constante de la recarga en exteriores y la robustez requerida para un entorno público sin supervisión. Debido a la alta complejidad asociada a garantizar una recarga autónoma y constante mediante fuentes renovables en un entorno exterior no controlado, así como los costos y requisitos de mantenimiento que ello implicaría para asegurar una operatividad óptima y continua del sistema de ajuste, para el alcance de este Trabajo Fin de Grado, se desestima la implementación completa de un sistema de carga exclusivamente para exteriores. El foco principal del diseño del sistema eléctrico se mantendrá en la solución para interiores, considerando la batería para exteriores más como una conceptualización futura que requerirá investigación y desarrollo adicionales para superar estos desafíos de manera práctica y económica en un contexto de uso real.

4.9 Estética

Como parte del proceso de validación estética y funcional del diseño de la portería adaptada para balonmano inclusivo, se ha generado un render fotorrealista con la ayuda de IA que permite visualizar con mayor claridad tanto el concepto de integración arquitectónica en un entorno real de juego como el funcionamiento del sistema de adaptación de altura mediante lona extensible. Se representa la portería instalada en un pabellón deportivo cubierto, simulando una situación de partido real, y como hemos explicado anteriormente.

Además, se puede observar que ya se ha eliminado el mecanismo manual anteriormente propuesto, y que ha sido sustituido por un sistema automatizado de accionamiento eléctrico.

En los laterales de la estructura se integrarán discretamente unos botones eléctricos de control accesible, que permiten subir o bajar la lona con facilidad y sin ayuda externa.

Por último, y para concluir con el desarrollo completo del diseño, se ha optado por incorporar un elemento diferenciador que va más allá de la funcionalidad estructural, la elección de una nueva combinación cromática que permita reforzar el mensaje del proyecto y aportar una identidad visual única. En lugar de los colores tradicionales, se ha decidido aplicar a la portería un esquema de colores morado y blanco, buscando no solo una mayor visibilidad y contraste, sino también un componente simbólico potente que apoye el carácter inclusivo y transformador de esta propuesta.



Ilustración 63 Imagen generada por la IA

La elección cromática aplicada a esta portería no responde únicamente a un criterio estético, sino que nace de una profunda reflexión sobre el simbolismo, la inclusión, la accesibilidad visual y la necesidad de diferenciar el presente diseño como una propuesta transformadora dentro del entorno deportivo actual. En concreto, se ha optado por una combinación de color morado y blanco, una decisión que se alinea con los valores centrales de este Trabajo de Fin de Grado, la inclusión; la innovación y la ruptura con los convencionalismos sin abandonar la funcionalidad ni el cumplimiento normativo.

En primer lugar, el color morado ha sido históricamente un símbolo vinculado a la igualdad, la diversidad y el empoderamiento de colectivos marginados o invisibilizados. En el contexto actual, el morado representa también el compromiso social con causas que trascienden lo meramente estético, como la defensa de los derechos de las personas con discapacidad, la lucha por una sociedad más accesible, y el impulso hacia entornos verdaderamente inclusivos. Es un color que transmite profundidad, sensibilidad y transformación, y por tanto encaja de manera natural en un proyecto que pretende facilitar el acceso al deporte para todas las personas, independientemente de su condición física o movilidad. Por otro lado, el blanco actúa como contrapunto cromático ideal. Este color, símbolo de

limpieza, neutralidad y equilibrio, permite un alto contraste visual con el morado, facilitando la visibilidad de la portería desde todos los ángulos del pabellón. Esto no solo mejora la experiencia del juego, sino que además asegura el cumplimiento de las directrices relacionadas con la señalización y la identificación clara de los elementos del campo, requisito esencial en cualquier disciplina deportiva. La alta reflectancia del blanco también contribuye a la percepción de la portería en condiciones de iluminación diversas, especialmente en instalaciones interiores con luz artificial.

Desde el punto de vista funcional, la elección de morado y blanco también tiene implicaciones positivas. A diferencia de colores tradicionales como el rojo o el negro, que están saturados en su uso dentro del deporte y en ocasiones pueden confundirse con otros elementos visuales del entorno, el morado otorga identidad y unicidad a esta portería. Al ser una elección infrecuente pero impactante, proporciona a la estructura una presencia visual distintiva, lo que resulta especialmente útil en contextos donde conviven distintos deportes,

marcas o señaléticas.

Además, esta elección permite transmitir desde el primer vistazo el carácter inclusivo del diseño, incluso antes de observar sus mecanismos ajustables. Así, el color pasa a formar parte no solo del diseño visual, sino también del mensaje y de la filosofía del proyecto. El uso del morado y blanco convierte a esta portería en un símbolo visual de accesibilidad y adaptación, reforzando su valor como herramienta educativa, integradora y transformadora dentro del entorno deportivo.

Cabe destacar que esta combinación de colores cumple con la normativa establecida por la International Handball Federation (IHF), que exige únicamente el uso de franjas alternas de colores claramente contrastados en los postes y travesaño de la portería, pero no limita el espectro cromático a tonos específicos como el rojo o el negro, siempre que se garantice una adecuada visibilidad. Por tanto, la propuesta presentada mantiene todos los requisitos reglamentarios a la vez que introduce una innovación visual coherente y significativa.

En resumen, la combinación de morado y blanco no es casual ni meramente decorativa, sino que responde a una voluntad de evolucionar hacia una concepción más humana, accesible y estética del equipamiento deportivo. Con esta decisión, se refuerza el mensaje de que el diseño inclusivo no solo debe centrarse en la funcionalidad estructural, sino también en la comunicación visual, emocional y simbólica del objeto que se pone en juego.

“Esta portería no es simplemente un elemento deportivo, es un manifiesto de apertura, igualdad y modernidad.”

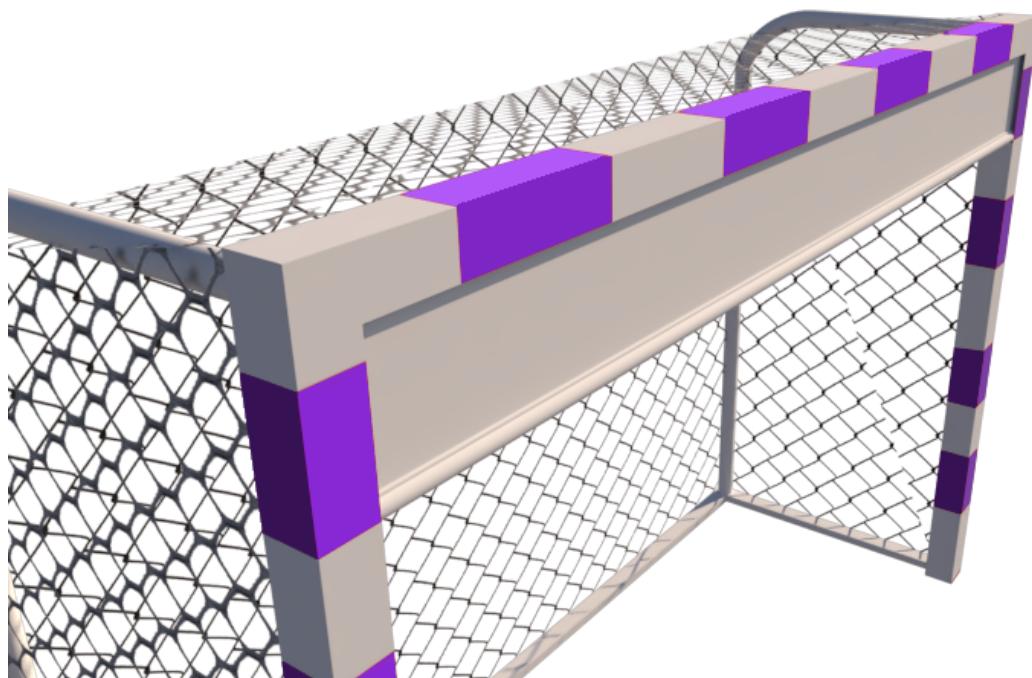


Ilustración 64 Render poste superior

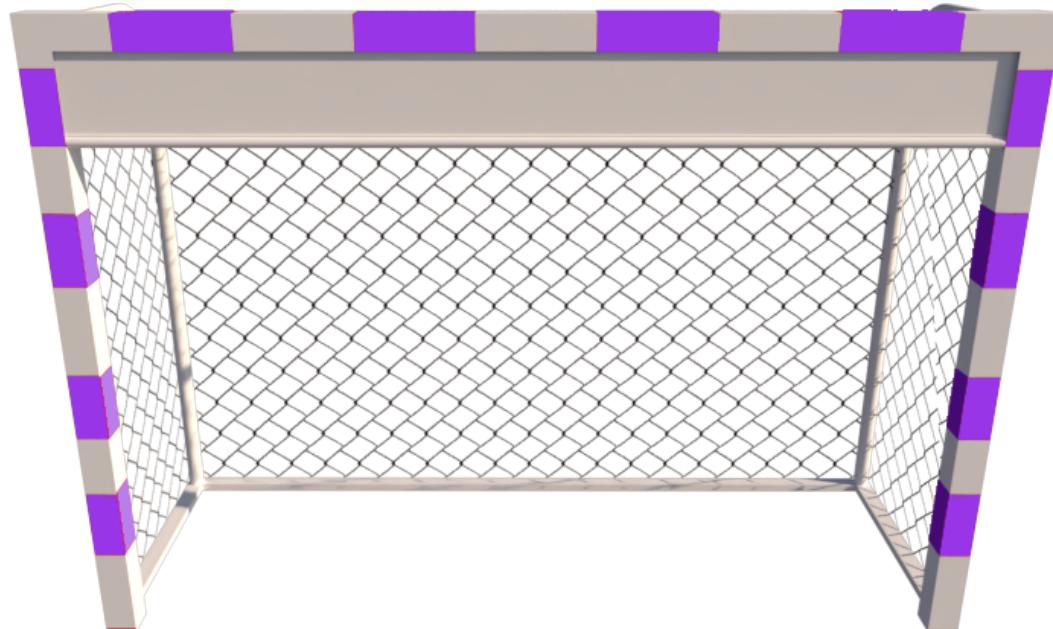


Ilustración 65 Render vista frontal portería final

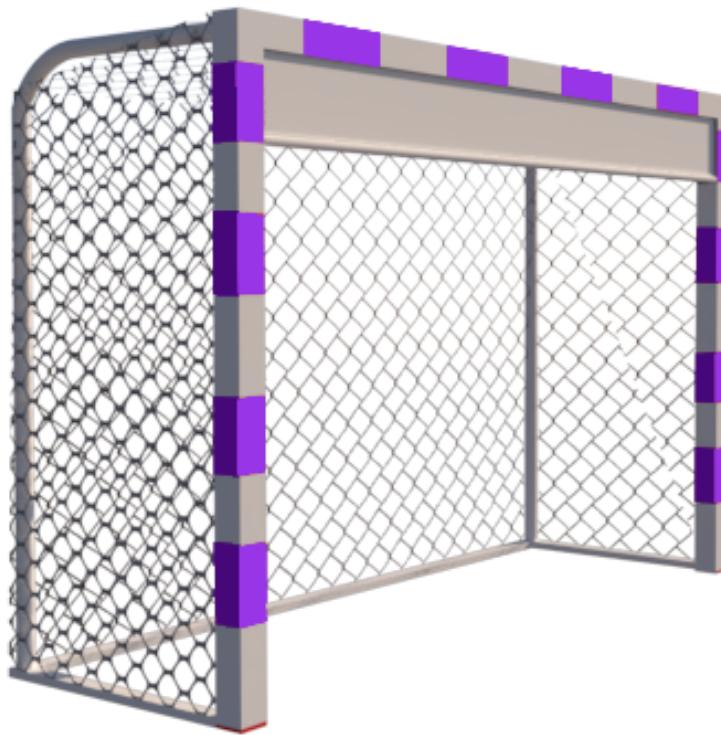


Ilustración 66 Render portería final

4.10 Cálculos de esfuerzo

Para garantizar la solidez, la durabilidad y, sobre todo, la seguridad absoluta de la portería adaptable, se ha llevado a cabo un estudio minucioso de su comportamiento estructural. Para ello, hemos empleado un software de diseño asistido por ordenador avanzado, CATIA, que incorpora una potente herramienta de simulación basada en el Método de Elementos Finitos (FEM). Este proceso no es un simple paso; es una parte crucial en la fase de diseño de ingeniería. Permite prever con una precisión asombrosa cómo reaccionará la estructura de la portería ante diversas situaciones de uso. Al "probarla" virtualmente antes de fabricarla, podemos detectar cualquier posible punto débil, cualquier zona que pudiera doblarse o romperse, y así ajustar y mejorar el diseño de forma continua. Esto no solo nos ahorra tiempo y dinero en prototipos físicos, sino que lo más importante es que asegura

que la portería final sea un producto totalmente fiable y seguro, capaz de soportar el uso intensivo y las exigencias de un entorno deportivo real sin sorpresas desagradables.

El análisis se ha centrado específicamente en dos escenarios de carga principales, considerados los más críticos para la integridad y la seguridad de la portería en su funcionamiento diario. A continuación, explicamos en detalle cada uno de estos escenarios.

El primer escenario clave que hemos analizado es la simulación de un jugador colgado del larguero. Aunque colgarse del larguero no es una acción reglamentaria en el balonmano, sabemos que es un comportamiento que puede ocurrir en la vida real, especialmente en entornos no supervisados como parques o colegios, o incluso por accidente durante el juego. Para replicar esta situación en CATIA, aplicamos una fuerza distribuida directamente en la parte superior del travesaño.

Los valores de fuerza que utilizamos para esta simulación oscilaron entre 500 Newtons (N) y 1000 N. El valor de 500 N se basa en el peso aproximado de una persona adulta promedio (considerando que 1 kilogramo de masa ejerce una fuerza de aproximadamente 9.81 Newtons de peso, 50 kg equivalen a unos 490 N). El límite superior de 1000 N se establece para incluir un margen de seguridad importante. Este margen contempla no solo el peso de personas más pesadas, sino también los efectos dinámicos que se producen cuando alguien se cuelga bruscamente, se balancea o intenta saltar y agarrarse, lo que puede duplicar o incluso triplicar la fuerza inicial del peso estático. Con esta simulación, buscamos evaluar cómo el larguero soporta la flexión y la tensión, y cómo los postes verticales que lo sujetan resisten la compresión y el posible pandeo. Es vital asegurarnos de que la estructura no sufra deformaciones permanentes o, peor aún, una rotura catastrófica en un escenario de este tipo, garantizando así la seguridad del usuario.

El segundo escenario fundamental abordado fue el impacto de un balonazo directo en la lona adaptable. Para simular esto, aplicamos una fuerza distribuida sobre un área con distancia el diámetro de un balón de balonmano, de manera perpendicular, como si este fuera lanzado con gran potencia y golpeara ese punto específico. Los valores de fuerza utilizados para esta simulación de impacto de balón se situaron en un rango de 500 N a 1500 N.

Esta amplitud de valores se justifica al considerar la energía que un balón de balonmano puede transferir en un golpe. Factores como la masa del balón, la velocidad a la que es lanzado, desde un tiro suave hasta un lanzamiento profesional de alta velocidad, y el brevísimos tiempo de contacto durante el impacto, influyen en la magnitud de esta fuerza. Al simular estas fuerzas pico, nos aseguramos de que la lona y, crucialmente, sus puntos de sujeción al marco de la portería y a las guías deslizantes, sean capaces de absorber la energía del impacto sin sufrir daños. El análisis en CATIA nos permite observar cómo la lona se deforma localmente, cómo se distribuyen las tensiones en su material y, de manera crítica, si los puntos de anclaje tienen la resistencia suficiente para evitar desgarros o el desprendimiento de la lona. Esto es esencial para la durabilidad del sistema y para que la lona mantenga su función y su apariencia estética a lo largo de los muchos impactos que recibirá durante el juego.

Ambas pruebas, la del jugador colgado y la del balonazo en la lona, se llevaron a cabo utilizando las capacidades de simulación de CATIA. Configuramos el análisis de forma "estática", lo que significa que observamos cómo se deforma la portería una vez que la

fuerza se ha aplicado y está en su punto máximo, sin considerar el movimiento o la vibración en el tiempo. Para preparar el modelo en CATIA, creamos una "malla" de pequeños elementos sobre la superficie de la portería. Esta malla nos permite dividir la geometría en partes más pequeñas para que el programa pueda calcular las tensiones y deformaciones en cada una de ellas. También definimos las "condiciones de contorno", que es simplemente decirle al programa cómo está sujetada la portería al suelo (si está fija o si puede deslizarse un poco). Los resultados que obtenemos de estas simulaciones no son solo números complejos, sino la base fundamental que nos permite confirmar la validez de nuestro diseño. Gracias a ellos, podemos optimizar la elección de los materiales, ajustar las dimensiones de las barras y componentes, y finalmente, garantizar que nuestra portería adaptable cumpla sobradamente con todos los requisitos de seguridad y funcionamiento que se esperan de un equipo deportivo de alta calidad en el mundo real.

Tabla 3 Tabla de Fuerzas y Cargas para el Análisis de Deformación en CATIA

Tipo de Fuerza	Descripción	Valor/Rango Típico (N o Nm)	Punto de Aplicación/Área	Consideraciones en CATIA (FEM)
Fuerza de Usuario (Colgado del Larguero)	Fuerza ejercida por un jugador al colgarse brevemente del travesaño de la portería.	500 N-1000 N(Puntual)	Parte superior del travesaño, en el centro o cerca de un poste.	Carga concentrada puntual aplicada en el punto de contacto más desfavorable.
Impacto del Balón en la Lona	Fuerza resultante del golpe del balón directamente en la superficie de la lona adaptable.	500 N-1500 N(Pico)	Superficie de la lona desplazado a la izquierda.	Carga concentrada puntual o de pequeña área, aplicada perpendicularmente a la superficie de la lona.

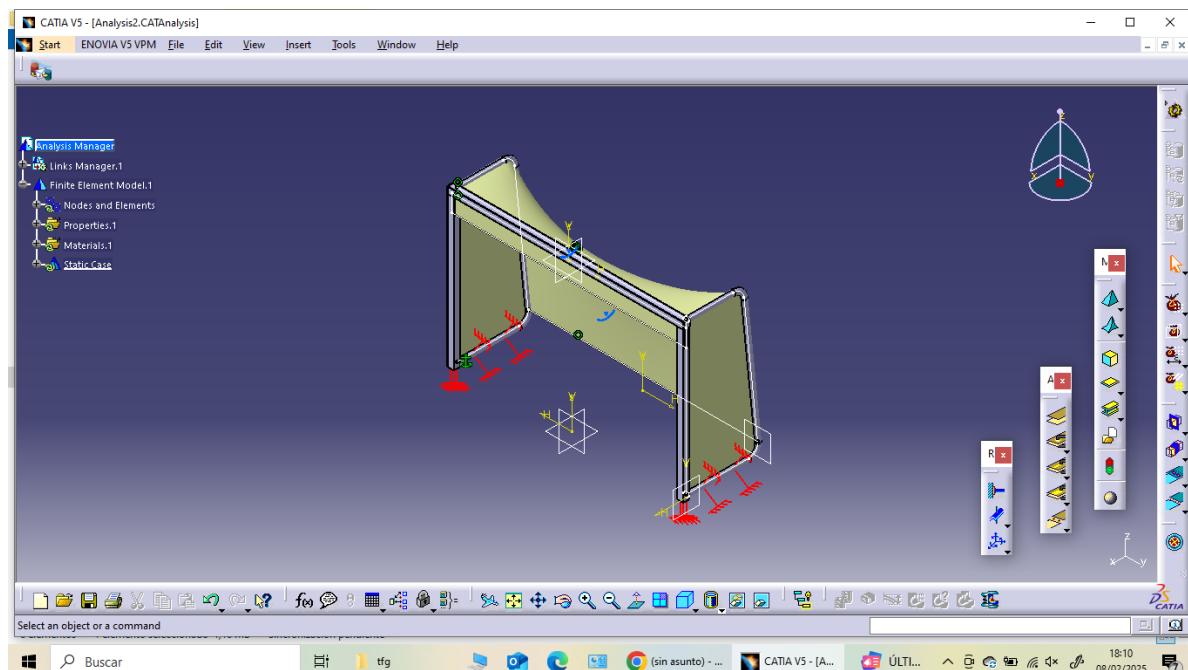


Ilustración 67 Captura de pantalla de condiciones de contorno y fuerzas ejercidas sobre la portería

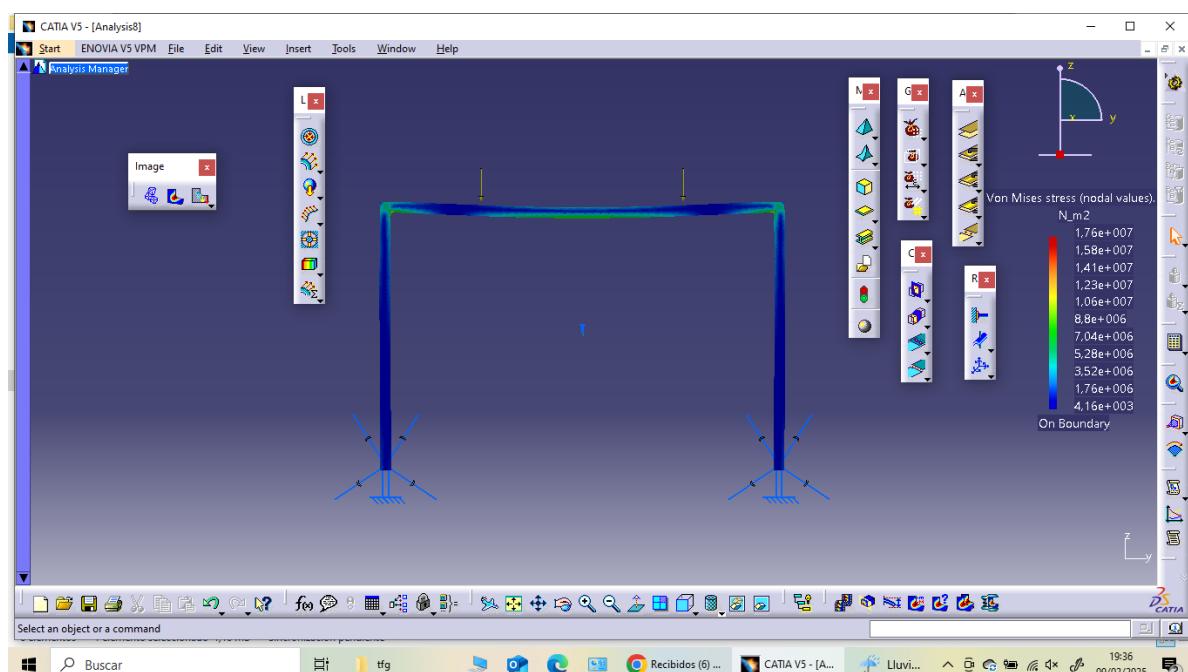


Ilustración 68 Barra horizontal superior de la portería, bajo la fuerza de un jugador que se cuelga de él

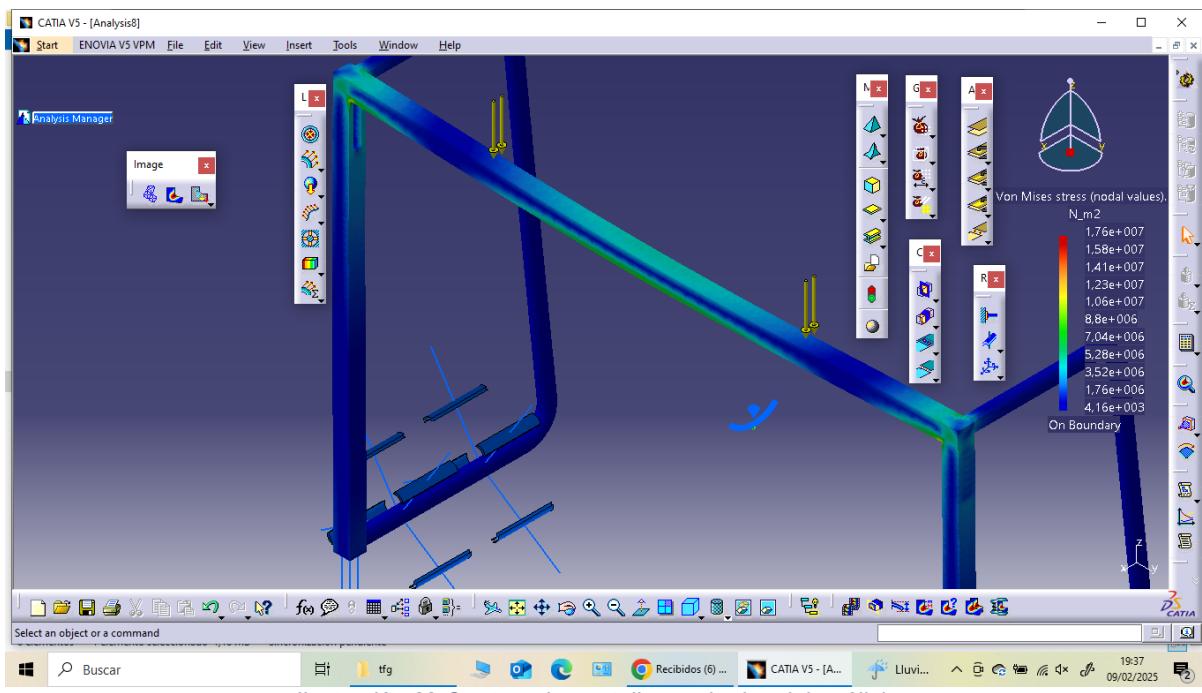


Ilustración 69 Captura de pantalla resultados del análisis

Estas dos imágenes nos muestran el larguero, la barra horizontal superior de la portería, bajo la fuerza de un jugador que se cuelga de él. Podemos observar que la mayor parte del larguero se presenta en tonos azules y verdes. Esto indica que la tensión en la mayor parte de la barra es relativamente baja y está lejos de los límites de resistencia del material. Sin embargo, si miramos con atención hacia los extremos, cerca de donde el larguero se une con los postes verticales, podemos apreciar que los colores tienden un poco más hacia el verde claro o incluso el amarillo tenue. Esto sugiere que las zonas cercanas a los puntos de unión son las que experimentan un poco más de estrés o esfuerzo, lo cual es normal. Las uniones son siempre puntos críticos donde se concentran las fuerzas. Estos resultados nos tranquilizan al confirmar que el larguero, en su diseño actual, es capaz de soportar el peso de un jugador sin que el material sufra un esfuerzo excesivo en su parte central.

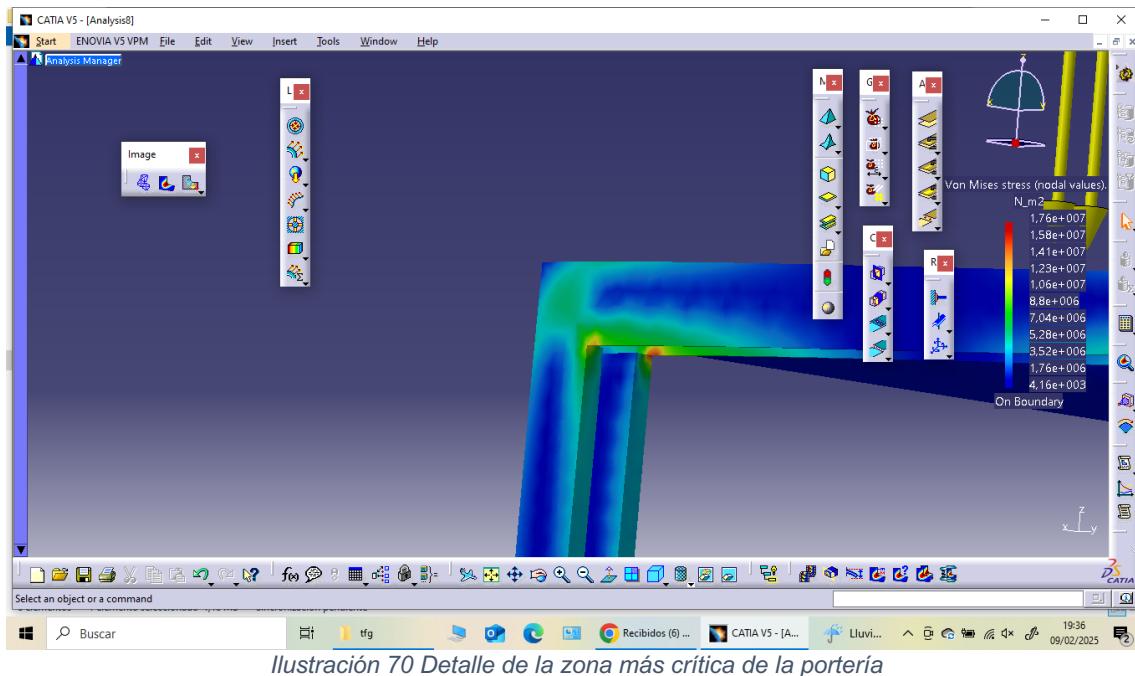


Ilustración 70 Detalle de la zona más crítica de la portería

Esta imagen es un acercamiento a una de las esquinas superiores de la portería, donde el larguero se une con uno de los postes verticales. Aquí vemos claramente una zona de color rojo intenso en el punto de unión. Esto es lo que llamamos una "concentración de tensiones". Significa que, aunque el resto de la estructura esté en azul o verde, esta esquina específica es el punto donde el material está soportando la mayor cantidad de esfuerzo cuando se aplica la fuerza (en este caso, la del jugador colgándose). Esto es un resultado esperado en cualquier estructura con esquinas, pero nos indica que esta zona necesitará una atención especial en el diseño final y en la fabricación para asegurar que sea lo suficientemente robusta.

Para complementar esta simulación, se ha incluido una tabla resumen con los valores obtenidos para el análisis del travesaño. El material considerado es aluminio, ampliamente usado en estructuras ligeras. La tensión de fluencia de este material ronda los 260 MPa.

Tabla 4 Resumen de tensiones obtenidas al aplicar una fuerza vertical

Parámetro	Valor
Tensión máxima (Von Mises)	17,6 MPa
Tensión de fluencia del aluminio	260 MPa
Coeficiente de seguridad	14.8

Los resultados confirman que la estructura presenta un coeficiente de seguridad superior a 3, lo cual asegura que la portería puede soportar este tipo de carga sin riesgo de fallo

estructural ni deformación permanente. La deformación obtenida es baja, y dentro del comportamiento elástico del material.

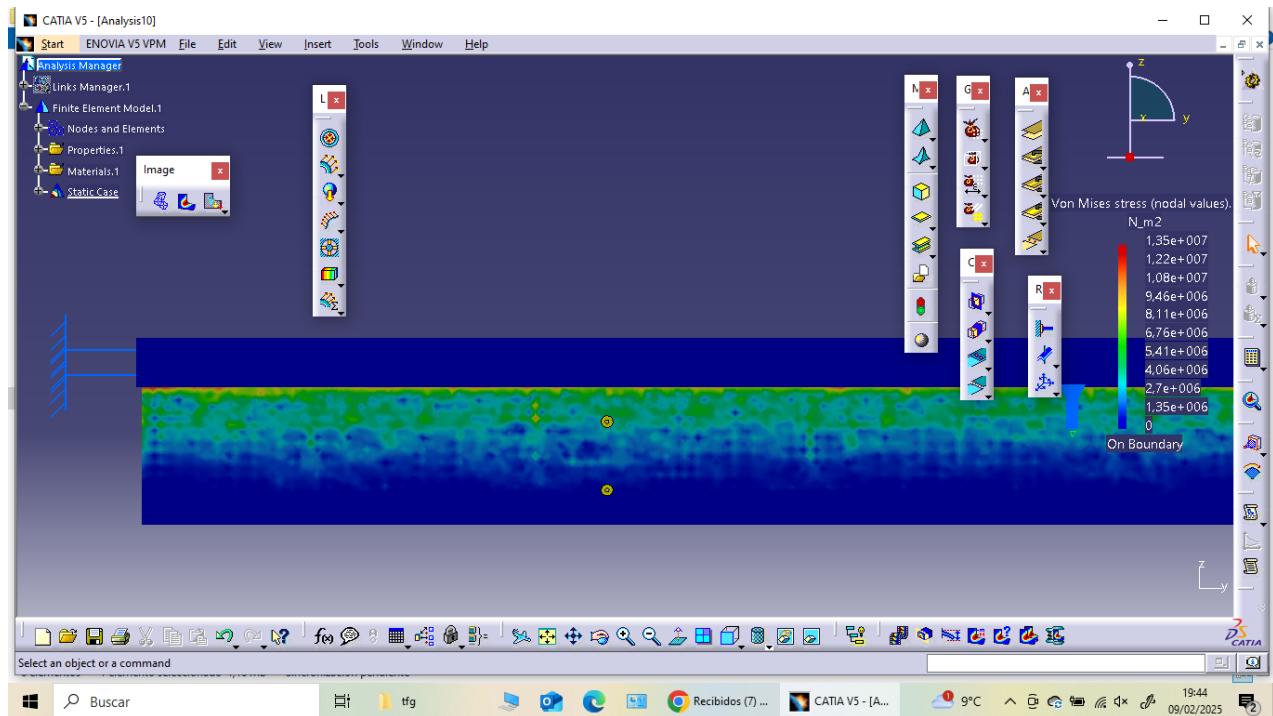


Ilustración 71 Captura de pantalla de los resultados del toldo soportando un balonazo

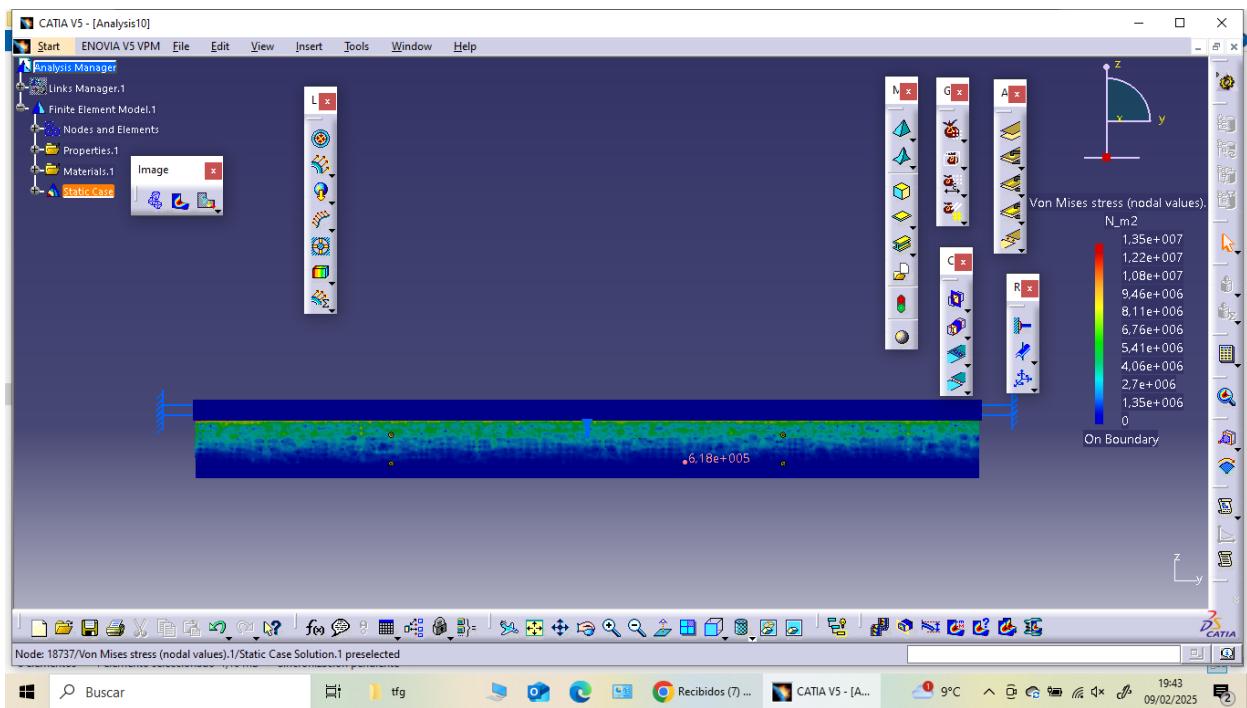


Ilustración 72 Captura de pantalla de los resultados del toldo soportando un balonazo

En estas imágenes se observa como especialmente en la zona donde la lona se une a su cajetín, es donde se observan las tensiones más elevadas, pudiendo llegar a tonos anaranjados o rojizos si el impacto es muy localizado y fuerte. Esto confirma que la lona absorbe la energía del impacto y transmite parte de esa fuerza a los elementos que la sostienen y que la conectan con la estructura principal.

El material de la lona es un tejido técnico flexible de PVC o poliuretano, ampliamente utilizado en aplicaciones deportivas y de exterior. Se ha considerado una tensión de rotura de referencia de 25 MPa para el análisis, lo que permite estimar la seguridad ante impactos.

Tabla 5 Resumen tensiones obtenidas al soportar un balonazo

Parámetro	Valor
Tensión máxima (Von Mises)	13.5 MPa
Tensión de rotura	25 MPa
Coeficiente de seguridad	1.85

Cabe destacar que en ningún caso se han observado signos de concentraciones críticas de tensión que pudieran comprometer la integridad de la estructura. La forma de la portería, que conserva una geometría rectangular clásica con perfiles continuos, contribuye favorablemente a la disipación de tensiones a lo largo de toda la estructura. La incorporación del sistema de lona adaptativa no introduce puntos débiles ni esfuerzos

adicionales significativos, siempre que se mantenga la tensión vertical y el sistema de guía garantice su correcta sujeción. Esto refuerza la hipótesis de que el diseño propuesto no solo mantiene la funcionalidad estética y deportiva del formato original, sino que también añade versatilidad sin comprometer la resistencia mecánica.

Por último, es importante subrayar que la elección de materiales estructurales y el correcto diseño de las uniones y refuerzos son aspectos determinantes para asegurar el rendimiento del conjunto. A la vista de los resultados obtenidos, se confirma que la estructura propuesta supera ampliamente los requisitos mínimos de resistencia mecánica para el tipo de uso al que estará destinada. El análisis por elementos finitos demuestra, por tanto, que la portería diseñada es robusta, funcional y adaptable a diversas condiciones de juego, lo que valida el concepto de inclusión estructural a través del rediseño mecánico.

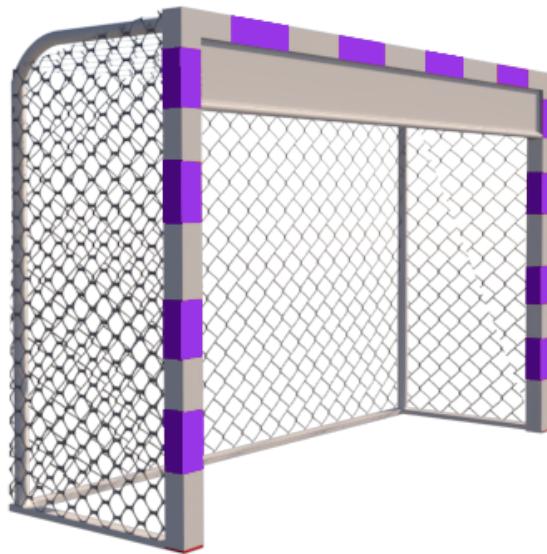


Conclusiones del proyecto

y
líneas futuras



5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO Y LÍNEAS FUTURAS



El desarrollo del presente Trabajo de Fin de Grado ha constituido un ejercicio exhaustivo de análisis, diseño y reflexión que ha permitido no solo abordar una necesidad técnica dentro del ámbito del balonmano, sino también posicionarse activamente frente a un reto de carácter social: *la accesibilidad y equidad en el deporte*.

A lo largo de este proceso, se ha puesto de manifiesto la carencia real de soluciones que permitan la práctica del balonmano de forma inclusiva, con equipamientos que se adapten tanto a las necesidades de jugadores en silla de ruedas como de jugadores convencionales. Esta ausencia de soluciones en el mercado actual ha sido la motivación principal que ha guiado todo el proyecto y ha reforzado, en cada etapa, la convicción de que el diseño industrial y el desarrollo de producto deben estar al servicio de todas las personas.

El planteamiento inicial surgió de una inquietud personal y profesional vinculada a la experiencia dentro del mundo del balonmano, que permitió observar de primera mano las barreras estructurales que aún persisten en la práctica deportiva inclusiva. Esta observación se transformó en una idea, y dicha idea en una propuesta de diseño concreta, basada en parámetros reales, con posibilidades de aplicación efectiva y con el potencial de transformar una parte del ecosistema deportivo que sigue siendo limitado para muchas personas con diversidad funcional. Así, el proyecto ha sido una herramienta no solo técnica, sino también transformadora.

Durante la fase de investigación, quedó patente que no existen actualmente porterías adaptables que respondan a una lógica de uso inclusiva y versátil. Si bien existen competiciones específicas de balonmano en silla de ruedas, el equipamiento utilizado no ha evolucionado paralelamente. Se siguen utilizando porterías convencionales, sin modificaciones, lo que conlleva una pérdida de calidad en la experiencia de juego, una

desventaja estructural en términos de equidad y, en muchos casos, la imposibilidad de práctica del deporte en ciertas instalaciones. Esta situación refuerza la necesidad urgente de soluciones prácticas, accesibles y normativas, como la que se ha desarrollado en el presente trabajo.

El proceso de diseño ha sido multidisciplinar y ha exigido integrar competencias de análisis normativo, simulación estructural, diseño 3D y ergonomía, con el objetivo de crear una portería ajustable que pueda ser utilizada por cualquier colectivo, sin necesidad de sustituir equipamiento ni realizar grandes adaptaciones. Uno de los logros más significativos del proyecto ha sido el desarrollo conceptual de un sistema tipo cortina que permite modificar la altura de la portería de forma rápida y segura, garantizando estabilidad, cumplimiento normativo y facilidad de uso. Este mecanismo, que ha sido validado mediante simulaciones de esfuerzo y análisis estructurales, representa una innovación clave en el diseño de equipamiento deportivo adaptado.

Otro aspecto que merece especial mención es la voluntad de mantener en todo momento el cumplimiento estricto de la normativa oficial vigente en cuanto a dimensiones permitidas para las porterías. En este sentido, se ha demostrado que es posible innovar sin comprometer la reglamentariedad del producto. Además, se ha propuesto un rediseño estético basado en colores que simbolizan la inclusión y la accesibilidad, ofreciendo una alternativa visual que puede ayudar a identificar claramente aquellas instalaciones comprometidas con el deporte para todos.

Desde una perspectiva metodológica, el proyecto ha sido un ejemplo claro de aplicación del diseño centrado en el usuario, con un enfoque funcionalista e inclusivo que ha priorizado en todo momento la experiencia del jugador, la accesibilidad, la seguridad y la facilidad de implementación en entornos deportivos reales. Se ha buscado en todo momento evitar complejidades innecesarias, abogando por soluciones simples, eficaces y económicamente viables. El resultado es un diseño que puede ser implementado sin modificaciones estructurales en la pista, sin necesidad de herramientas especializadas ni personal técnico cualificado, lo que favorece su implantación masiva en pabellones deportivos de todo tipo.

Este TFG también ha servido como vehículo de aprendizaje y crecimiento académico y profesional, consolidando las competencias adquiridas a lo largo de la formación universitaria en ingeniería de diseño industrial y desarrollo de producto. La necesidad de documentar, justificar, diseñar y verificar una solución técnica real ha implicado aplicar conocimientos de múltiples áreas, en un contexto práctico, lo que demuestra la preparación alcanzada para afrontar desafíos similares en el ámbito profesional.

A pesar de los logros alcanzados, este trabajo no representa un punto final, sino más bien el inicio de una línea de investigación y desarrollo con amplias posibilidades. Entre las principales líneas futuras de trabajo que pueden derivarse de este proyecto, destacan las siguientes:

1. **Prototipado físico y pruebas en campo real:** La fabricación de un prototipo funcional permitirá validar empíricamente los resultados obtenidos en las simulaciones. Las pruebas reales permitirán observar el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de uso, así como recoger observaciones y mejoras desde la experiencia directa de jugadores y entrenadores.

2. **Aplicación del modelo a otros deportes:** El sistema tipo cortina desarrollado puede adaptarse a otros deportes que utilizan porterías, como fútbol sala, hockey o balonmano playa. Esto abriría una línea de productos inclusivos basada en un principio de diseño común, modular y adaptable.
3. **Incorporación de sensores y dispositivos IoT:** En un contexto más tecnológico, podrían añadirse sistemas que midan parámetros del uso, como impactos, frecuencia de cambios de altura o condiciones del entorno, para crear porterías inteligentes que puedan ser gestionadas de forma remota.

En definitiva, este proyecto ha demostrado que la inclusión y la innovación pueden ir de la mano, y que es posible diseñar productos deportivos que respondan a necesidades reales de la sociedad sin renunciar a la técnica, la normativa ni la estética. El camino iniciado por este trabajo no se limita a resolver un problema puntual, sino que puede constituir una base firme para transformar, desde el diseño, la manera en que entendemos la accesibilidad y la equidad en el deporte del siglo XXI.



Bibliografía



6. BIBLIOGRAFÍA

- (S. f.). Rae.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.rae.es>
- ¿Qué significa Deporte Inclusivo? (2022, febrero 7). SOLA. <https://www.olimpiadasespeciales.org/blog/que-significa-deporte-inclusivo/>
- (S. f.-b.). Unicef.org. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.unicef.org/cuba/media/826/file/iguald-inclusion-deporte-folleto.pdf>
- NaviLens *EMPODERANDO a las personas con discapacidad visual.* (s. f.). Navilens.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.navilens.com/es/>
- Only for your eyes. (s. f.). Veredictas excellence standards. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://www.veredictas.com/ca/trabajo/15551/only_for_your_eyes
- ¿Qué es el deporte inclusivo y por qué debemos fomentarlo? (s. f.). Gruposocialonce.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://gruposocialonce.com/b/deporte-inclusivo>
- Infocop. (2022, febrero 28). *Guía de baloncesto inclusivo.* Infocop. <https://www.infocop.es/guia-de-baloncesto-inclusivo/>
- Paralímpicos. (s. f.). Paralimpicos.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.paralimpicos.es/deportes-paralimpicos/ciclismo>
- Armiñana, A. (2023, mayo 27). *Rompiendo barreras: La importancia de la inclusión en el ciclismo adaptado.* Pedalnet mobility. <https://pedalnetmobility.com/bicicletas-especiales/rompiendo-barreras-la-importancia-de-la-inclusion-en-el-ciclismo-adaptado/>
- SegaAlex®, & Lameiro, A. R. (s. f.). *Historia.* Serinex. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.hand-ball.org/historia/>
- Aproximación Histórica, I. (s. f.). *EVOLUCIÓN DEL DEPORTE DE BALONMANO.* Upm.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://oa.upm.es/48048/1/MONOGRÁFICO_JUAN_DE_DIOS_ROMAN_SECO.pdf
- Harpastum. Juegos romanos de pelota. Recuperado de: <http://www.acanomas.com/Historia-Juegos-Romanos-de-Pelota/660/Harpastum.htm>
- Liga ASOBAL de balonmano (2011). Competiciones nacionales. Recuperado de: www.asobal.es
- Meléndez Falkowski, M.M. (2014). Primeros pasos del balonmano en España. Recuperado de: <https://www.helvetia.es/actualidad/los-temas-que-nos-interesan/primeros-pasos-del-balonmano-en-espana>
- Jiménez García, A. (2015). *Análisis comparativo de las características cineantropométricas y de la condición física en jugadores de balonmano en edad juvenil.* Trabajo de fin de grado, Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad de León, León.
- Carta Olímpica (2016). International Olympic Committee. DidWeDo S.à.r.l., Lausana, Suiza.

- (s. f.). *EVOLUCIÓN DEL DEPORTE DE BALONMANO*. Upm.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://oa.upm.es/48048/1/MONOGRAFICO_JUAN_DE_DIOS_ROMAN_SECO.pdf
- *TODO sobre las Porterías de Balonmano*. (s. f.). SPS Sport. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://sps-sport.com/es/content/153-todo-sobre-las-porterias-de-balonmano>
- *Equidesa Equipamientos Deportivos*. (s. f.). Equidesa.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://equidesa.com/productos/deportes/porterias_futbolsala_balonmano
- *Porterías de balonmano*. (s. f.). DonDeporte. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.dondeporte.com/porterias-balonmano>
- *Mecanismo de altura regulable*. (2022, abril 28). Hardware Rebels. <https://hardwarerebels.com/es/soluciones-ergonomicas/mecanismo-de-altura-regulable/>
- <https://cortinasdeexterior.es/producto/recogedor-de-persiana/>
- *Propiedades del Aluminio*. (s. f.). Ingemecanica.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://ingemecanica.com/tutoriales/propiedades-del-aluminio.html>
- (S. f.-c). Faro.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://faro.es/es/blog/que-es-el-indice-de-proteccion/>
- Godoy, P. S., Borges, M., De Faria, F. R., & Duarte, E. (2017). Correlação entre classificação funcional, gênero e habilidades motoras de jogadores de handebol em cadeira de rodas. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, 39(4), 424–432. <https://doi.org/10.1016/j.rbce.2017.08.004>
- Germán, D. (2001). *Deporte y discapacidad*. Revista Digital EFDeportes, 7(43), 1-2.
- Gamonales, J. M., Muñoz-Jiménez, J., & León, K. (2018a). *El portero de balonmano en silla de ruedas*. En M. Antúnez, *Innovaciones pedagógicas para el entrenamiento del portero en balonmano* (pp. X-Y).
- AENOR. (s. f.). *Norma UNE-EN 749:2004+A1:2008. Equipos de balonmano. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*. Recuperado de <https://www.en.aenor.com/>
- Barcelonaled.com. (s. f.). *¿Qué son los grados IP e IK?*. Recuperado de <https://www.barcelonaled.com/blog/informacion-led/que-son-los-grados-ip-e-ik/>
- CSD - Consejo Superior de Deportes. (s. f.). *Seguridad de las porterías de campos de juego*. Recuperado de <https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2020-02/Seguridad%20de%20las%20porterias%20en%20campos%20de%20juego.pdf>
- CSD - Consejo Superior de Deportes. (s. f.). *Normativa de instalaciones deportivas*. Recuperado de <https://samm.dsca.mil/acronym/dasa-dec>
- Federación Española de Deportes para Personas con Discapacidad Física (FEDDF). (s. f.). *Balonmano en silla de ruedas*. Recuperado de <https://www.feddf.es/>
- FMbalonmano.com. (s. f.). *Reglas Unificadas del Balonmano en Silla de Ruedas 2015*. Recuperado de <https://www.fmbalonmano.com/uploads/noticias/reglas-unificadas-del-balonmano-en-silla-de-ru.pdf>

- FMbalonmano.com. (s. f.). "Velocidad en porter@s". Recuperado de <https://www.fmbalonmano.com/uploads/noticias/publicacion-tecnica-09-la-veloci.pdf>
- Fundación Sanitas. (s. f.). *Balonmano - Juegos Inclusivos 2024*. Recuperado de <http://juegosinclusivos.es/balonmano.php>
- Grupo Argenia. (s. f.). *Diseño Estructural de Centros Deportivos*. Recuperado de <https://grupoargenia.com/diseno-estructural-de-centros-deportivos/>
- IHF - International Handball Federation. (s. f.). *Rules of the Game*. Recuperado de <https://www.ihf.info/ihf-rules>
- Leroymerlin.es. (s. f.). *Reducer de velocidad*. Recuperado de <https://www.leroymerlin.es/productos/reductor-de-velocidad-relacion-de-reduccion-28-1-motor-de-accionamiento-interno-accesorios-con-rueda-de-28-dientes-eje-de-engranaje-de-6-mm-de-diametr-94960275.html>
- SPS-Sport.com. (s. f.). *TODO sobre las Porterías de Balonmano*. Recuperado de <https://sps-sport.com/es/content/153-todo-sobre-las-porterias-de-balonmano>
- Toptentmodular.com. (s. f.). *Coberturas de espacios deportivos: soluciones funcionales y resistentes*. Recuperado de <https://www.toptentmodular.com/coberturas-de-espacios-deportivos-soluciones-funcionales-y-resistentes/>
- Scribd. (s. f.). *Balonmano en silla de ruedas*. | PPT. Recuperado de <https://es.slideshare.net/jmolayo/balonmano-en-silla-de-ruedas>
- Scribd. (s. f.). *Análisis Estructural Balonmano*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/830462211/Analisis-Estructural-Balonmano>
- Scribd. (s. f.). *Balonmano en Silla de Ruedas TRABAJO INFORMATIVO*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/733773777/Balonmano-en-silla-de-ruedas-TRABAJO-INFORMATIVO>
- Scribd. (s. f.). *Bibliografía de Balonmano. Rfebm*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/236881237/Bibliografia-de-Balonmano-Rfebpm>
- Clupik.com. (s. f.). *Los 26 mejores libros de balonmano*. Recuperado de <https://clupik.com/blog/libros-balonmano/>
- Dehesa.unex.es. (s. f.). *Propuesta de adaptación del reglamento de balonmano para personas con parálisis cerebral o daño cerebral adquirido*. Recuperado de https://dehesa.unex.es:8443/bitstream/10662/21626/1/1885-7019_20_1_37.pdf
- Dehesa.unex.es. (s. f.). *Propuesta de adaptación del reglamento de balonmano para jugadores con discapacidad intelectual*. Recuperado de https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/8298/1/1885-7019_14_2_109.pdf
- Aceituno, J. M. (s. f.). *Diseño de estructuras mecánicas*. Editorial UPV.
- Alcaraz, A. (2018). *Materiales compuestos en la industria deportiva*. Editorial Reverté.
- Altaba, J. C. (2020). *Análisis de fatiga en estructuras metálicas*. Marcombo.

- Asociación Española de Normalización (UNE). (s. f.). *Normativa para instalaciones deportivas*. Recuperado de <https://www.aenor.com/>.
- Balonmano.es. (s. f.). *Historia y evolución del balonmano*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Balonmano>.
- Carbonell, A. (2016). *Diseño para la inclusión*. Editorial Síntesis.
- Centro de Estudios y Documentación de las Instalaciones Deportivas (CEDID). (s. f.). *Guía de diseño de pabellones deportivos*. Recuperado de <https://samm.dsca.mil/acronym/das-dec>.
- Colección de libros de la RFEBM. (s. f.). *Reglamentos y normativas de balonmano*. Recuperado de <https://www.rfebm.com/>.
- Corredor, P. (2019). *Diseño paramétrico y CAD 3D*. Anaya Multimedia.
- De La Cruz, J. (2020). *Ingeniería del diseño y desarrollo de productos*. Ediciones Paraninfo.
- Díaz, S. (2021). *Sistemas de elevación y mecanismos de ajuste*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Domínguez, A. (2018). *Materiales poliméricos en ingeniería*. Ediciones UPC.
- Hueso, J. (2018). *Análisis por elementos finitos (FEM)*. Pearsonz
- Aidar, L., & De, E. (2016, marzo 21). *Significado de los Colores*. Enciclopedia Significados. <https://www.significados.com/color/>

Citaciones

- [1] Merriam-Webster. (n.d.). Inclusion. In Merriam-Webster.com dictionary. Retrieved July 31, 2025, from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/inclusion>
- [2] ¿Qué es el diseño inclusivo y cómo su aplicación beneficia a todas las personas? (s/f). Web del Grupo Social ONCE. Recuperado el 31 de julio de 2025, de <https://gruposocialonce.com/b/diseno-inclusivo>
- [3] Pentawards, E. (s/f). Pentawards the:Portal - internal page. Pentawards.com. Recuperado el 28 de julio de 2025, de <https://pentawards.com/directory/en/node/supperstudio-only-for-your-eyes>

- [4] La OMS estima que hay 285 millones de personas con discapacidad visual en el mundo
 - SID. (s/f). Usal.es. Recuperado el 31 de julio de 2025, de <https://sid-inico.usal.es/noticias/la-oms-estima-que-hay-285-millones-de-personas-con-discapacidad-visual-en-el-mundo/>
- [5] NaviLens EMPODERANDO a las personas con discapacidad visual. (s/f). Navilens.com. Recuperado el 31 de julio de 2025, de <https://www.navilens.com/es/>

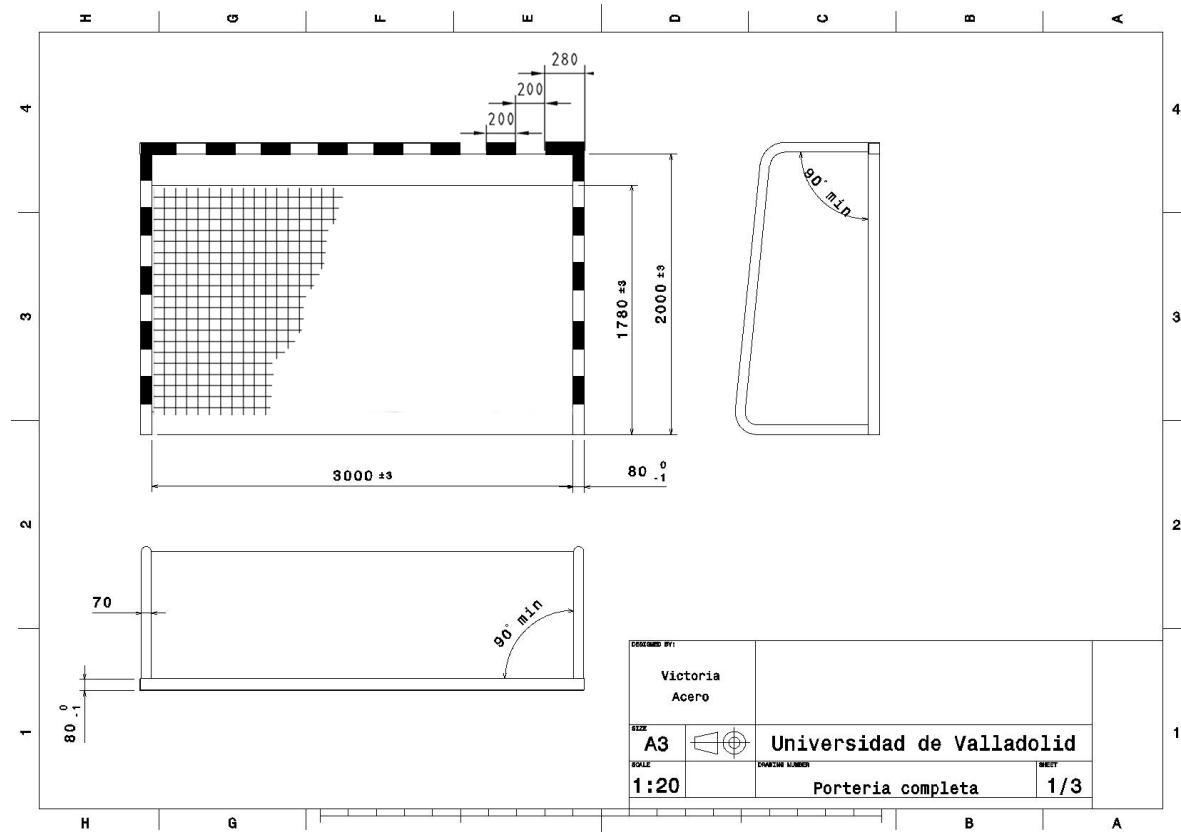


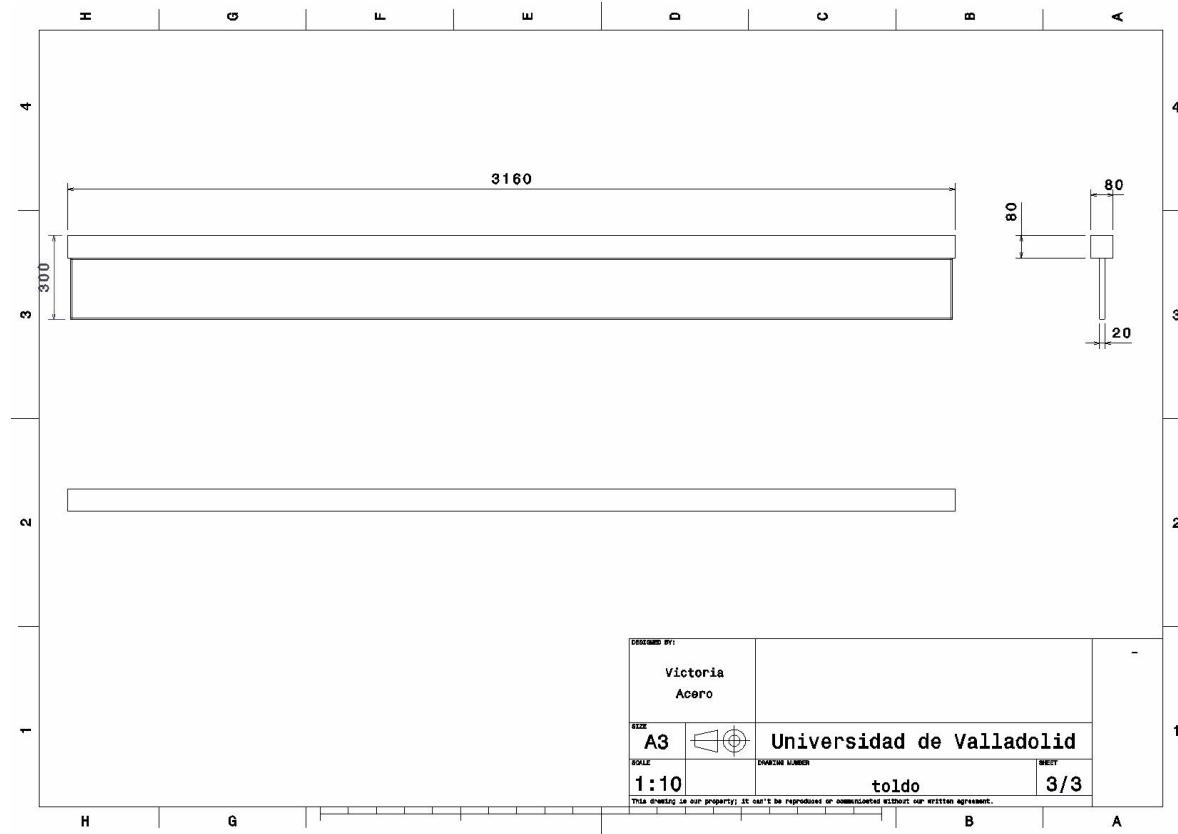
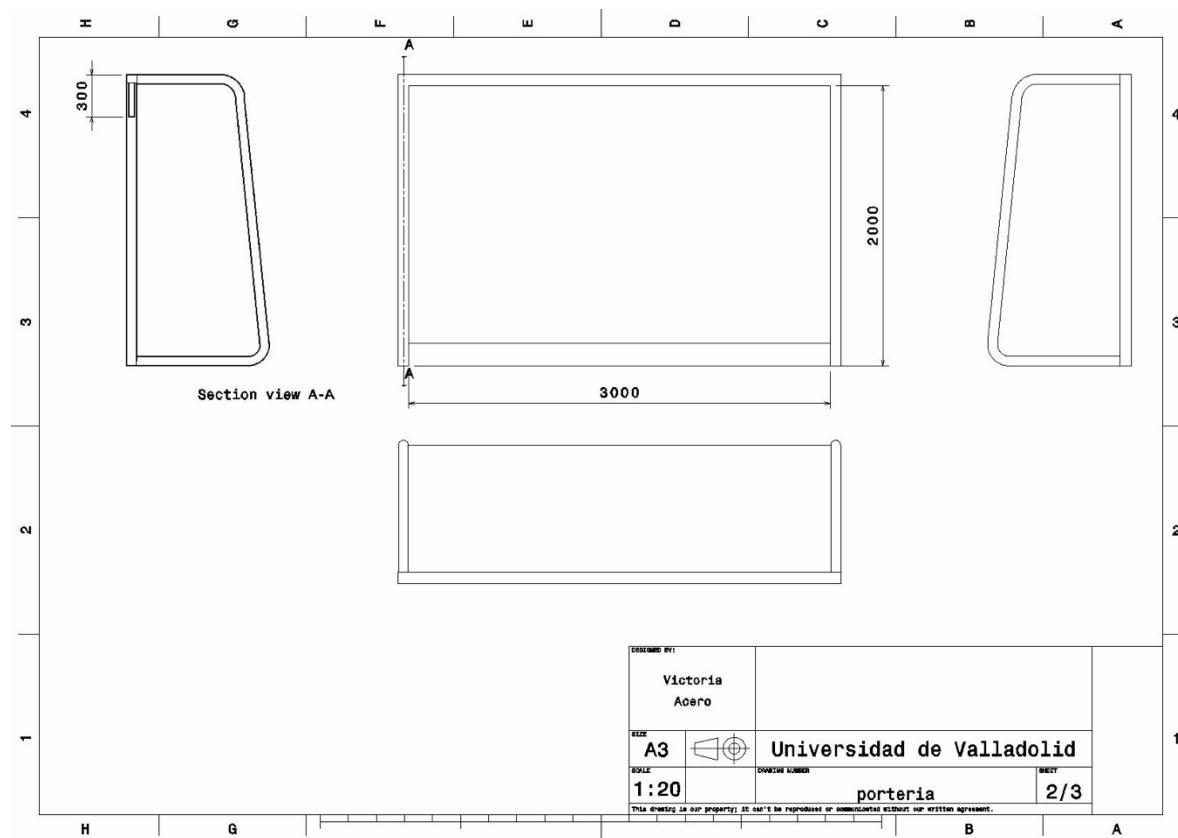
Anexo



7. ANEXO

1. Planos





2. Normativa

norma española

UNE-EN 749

Noviembre 2004

TÍTULO	Equipos de campos de juego Porterías de balonmano Requisitos de seguridad y funcionales, métodos de ensayo
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 749 de septiembre de 2004.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 749 de julio de 1999.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 147 <i>Deportes, Campos de Juego y Otros Equipos de Recreo</i> cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 47771:2004

© AENOR 2004
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:
AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

15 Páginas
Grupo 12

REFERENCIA DE FIGURAS

- Ilustración 1: Definición palabra “inclusivo” Real Academia Española. (n.d.). Inclusivo. En Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/inclusivo>
- Ilustración 2: Ceremonia de apertura de los Juegos paralímpicos Rome 1960. (s/f). International Paralympic Committee. Recuperado el 4 de octubre de 2024, de <https://www.paralympic.org/es/rome-1960>
- Ilustración 3: Tiro con arco paralímpico Ros. (2020, septiembre 18). Celebrando 60 años desde Roma 1960: ¡Primeros Juegos Paralímpicos! International Paralympic Committee. <https://www.paralympic.org/es/feature/celebrando-60-anos-desde-roma-1960-primeros-juegos-paralimpicos>
- Ilustración 4: Logotipo de la Federación Internacional de Deportes para Personas con Discapacidad Intelectual. (S/f). Fotw.info. Recuperado el 4 de octubre de 2024, de <https://www.fotw.info/flags/int@fid.html>
- Ilustración 5: Baloncesto para veteranos de Guerra. Guttman, L. (s/f). La Historia de los Juegos Paralímpicos - París 2024. Olympics.com. Recuperado el 4 de octubre de 2024, de <https://olympics.com/es/paris-2024/los-juegos/juegos-olimpicos-y-paralimpicos/historia-juegos-paralimpicos>
- Ilustración 6: Botella Only for your Eyes (S. f.). Cloudfront.net. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://d2oto3d7z6t29c.cloudfront.net/entries/transformed/4e/c9/649194_8ee90c4b2f36441c9dd59b710a342759.jpeg
- Ilustración 7: Detalle etiqueta en Braille (S. f.-b). Cloudfront.net. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://d2oto3d7z6t29c.cloudfront.net/entries/transformed/b8/0f/649204_571c822424144171a72b226c66b5739f.jpeg
- Ilustración 8: Etiqueta para botella (S. f.-c). Cloudfront.net. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://d2oto3d7z6t29c.cloudfront.net/entries/transformed/28/26/649209_db1267f8f76f4c21b86f835d235abaa7.jpeg
- Ilustración 9: Logotipo NaviLens (S. f.-d). Conticgo.net. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://conticgo.net/wp-content/uploads/2025/01/th.jpg>
- Ilustración 10: Logotipo Coca-Cola (S. f.-e). Digitaloceanspaces.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://ams3.digitaloceanspaces.com/graffica/2023/02/cocacola-logo-1024x696.jpeg>
- Ilustración 11: Código QR NaviLens (S. f.-c). Navilens.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.navilens.com/images/navilens/etiqueta.png>
- Ilustración 12: Vista explicativa App NaviLens (S. f.-d). Navilens.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.navilens.com/images/interface/es.png>
- Ilustración 13: Packaging Coca-Cola con código NaviLends (S. f.-e). Navilens.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.navilens.com/images/coca-cola/box.png>

- Ilustración 14: Jugador de tenis inclusivo. Redirect notice. (s. f.). Google.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdariosanitario.com%2Ftenis-en-silla-de-ruedas-por-prescripcion-medica%2F&psig=AOvVaw1Q41f5pXM7hnn3fB60QfVV&ust=1747476611831000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhxqFwoTCNjokerfp40DFQAAAAAdAAAAABA_L
- Ilustración 15: Silla de ruedas All Court para baloncesto (S. f.-f). Lohmedical.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://www.lohmedical.com/sites/default/files/styles/main_product/public/2024-06/All%20Court%20RGK.png?itok=R72_jxxL
- Ilustración 16: Partido de baloncesto inclusivo (S. f.-b). Paralympic.org. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://www.paralympic.org/sites/default/files/styles/large_original/public/2019-09/Lima-2019-USA-Canada-day-9.JPG?itok=Yjp2a0Nw
- Ilustración 17: Bicicleta tandem (S. f.-c). Elnoroestedigital.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://elnoroestedigital.com/wp-content/uploads/2023/08/fran-g-rus-joan-sanso-ciclismo.jpg>
- Ilustración 18: Bicicleta de mano (S. f.-e). Dismovil.net. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.dismovil.net/uploads/content/shark-rt.jpg>
- Ilustración 19: ganador del oro olímpico de paramano (S. f.-d). Cloudfront.net. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://dvy7d3tldpkf.cloudfront.net/sportinnovator/_850xAUTO_resize_center-center_90_none/202305-Sportvoucher-Handbike-3.jpg?v=1685965929
- Ilustración 20: Deportista con triciclo adaptado (S. f.-f). Diariodepontevedra.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.diariodepontevedra.es/asset/thumbnail,1280,720,center,center/media/diariodepontevedra/images/2024/08/14/2024081418252377966.jpg>
- Ilustración 21 Harpastum, el balonmano practicado por los romanos. Mosaico en la Villa Romana del Casale. <https://reglamentos-deportes.com/historia-del-balonmano/>
- Ilustración 22 Juegos en la Edad Media. <https://www.joseguadalajara.com/lm-32-los-juegos-en-la-edad-media/>
- Ilustración 23 Retrato Holger Nielsen (S. f.-g). Teamhandballnews.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://teamhandballnews.com/wp-content/uploads/2019/01/Holger-Nielsen.jpg>
- Ilustración 24 Evolución logotipo IAAF (S. f.-h). Com.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://news.mondoiberica.com.es/wp-content/uploads/2020/02/logos-1024x311.jpg>
- Ilustración 25 Folleto informativo de Handball de los JJOO de Berlín (1936), foto de uno de los partidos celebrados y ticket de entrada al Olympia Stadion. Aproximación Histórica, I. (s. f.). *EVOLUCIÓN DEL DEPORTE DE BALONMANO*. Upm.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://oa.upm.es/48048/1/MONOGRAFICO_JUAN_DE_DIOS_ROMAN_SECO.pdf
- Ilustración 26 Fotografías antiguas de lanzamientos de balonmano Aproximación Histórica, I. (s. f.). *EVOLUCIÓN DEL DEPORTE DE BALONMANO*. Upm.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de

https://oa.upm.es/48048/1/MONOGRAFICO_JUAN_DE_DIOS_ROMAN_SECO.pdf

- Ilustración 27 Primera participación femenina en los Juegos Olímpicos Montreal, Canadá 1976 Aproximación Histórica, I. (s. f.). *EVOLUCIÓN DEL DEPORTE DE BALONMANO*. Upm.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://oa.upm.es/48048/1/MONOGRAFICO_JUAN_DE_DIOS_ROMAN_SECO.pdf
- Ilustración 28 Logotipo IHF (S. f.-i). Cope.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www cope.es/blogs/derosca/wp-content/uploads/sites/22/2020/07/IHF-Nuevo-Logo-727x294.jpg>
- Ilustración 29 Equipo de la academia de infantería (S. f.-j). Abcstatics.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://s1.abcstatics.com/Media/201506/08/equipoacademia--644x362.JPG>
- Ilustración 30 equipo de Valladolid Campeón de España *Redirect notice*. (s. f.). Google.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.elnortedecastilla.es%2Fdeportes%2Fbalonmano%2Fcampeon-espana-valladolid-20171125121328-nt.html&psig=AOvVaw2PkOBCI8x3Jsd0a69zCJ36&ust=1751146872687000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCKDB5Mvlko4DFQAAAAAdAAAAABAE>
- Ilustración 31 Jugador del Bm Granollers (S. f.-k). Bmgranollers.cat. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.bmgranollers.cat/images/historia/002.jpg>
- Ilustración 32 Partido de Balonmano en silla de ruedas (S. f.-l). Com.ar. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://www.solanoexpreso.com.ar/sites/default/files/imagenes/handball_en_silla_de_ruedas_2.jpg
- Ilustración 33 Porterías de Balonmano de 1971 (S. f.). Fmbalonmano.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.fmbalonmano.com/uploads/noticias/bmchinchon.jpg>
- Ilustración 34 (S. f.-b). Dondeporte.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://www.dondeporte.com/3476530-home_default/juego-redes-porterias-futbol-sala-balonmano-expert.webp
- Ilustración 35 Portería moderna de balonmano (S. f.-c). Sps-sport.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://sps-sport.com/img/cms/Blog/todo%20sobre%20las%20porterias%20de%20balonmano.jpg>
- Ilustración 36 Modos de rebaje de portería para balonmano inclusivo (S. f.-d). Uecdnd.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://e00-xlk-ue-marca.uecdn.es/files/article_1320_widen_webp/uploads/2024/06/28/16355264313654.webp
- Ilustración 37 Plano portería tradicional UNE-EN 749 *UNE-EN 749:2004*. (s. f.). Une.org. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0032383>
- Ilustración 38 Equipo practicando fútbol 7 adaptado 3x3 *Fútbol en silla de ruedas. Evento A-Ball - Fundación Deportiva Municipal Valencia*. (s. f.). Fundación Deportiva Municipal Valencia. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.fdmvalencia.es/es/eventos/3x3-futbol-en-silla-de-ruedas-evento-a-ball/>

- Ilustración 39 Partido hockey adaptado (S. f.-e). 20Minutos.es. Recuperado 27 de junio de 2025,
https://imagenes.20minutos.es/files/image_990_556/uploads/imagenes/2024/08/30/hockey-en-silla-de-ruedas-electrica.jpeg
- Ilustración 40 Partido baloncesto en silla de ruedas Wikipedia contributors. (s. f.). Wikipedia, The Free Encyclopedia.
https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fes.wikipedia.org%2Fwiki%2FBaloncesto_en_silla_de_ruedas&psig=AOvVaw0t-PXfLdXF0zWdSeqKo8I2&ust=1738259210707000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCKio76e-m4sDFQAAAAAdAAAAABAE
- Ilustración 41 Boceto sistema manivela. Elaboración propia.
- Ilustración 42 Boceto sistema muleta. Elaboración propia.
- Ilustración 43 Cajón de persiana y sus elementos. (S. f.-f). Onventanas.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.onventanas.com/wp-content/uploads/2023/06/detalles-cajon-varinova.jpg>
- Ilustración 44 Toldo vertical. (S. f.-g). Hiscodelto.com. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://hiscodelto.com/wp-content/uploads/2019/02/Toldo-vertical-guias-fotos-Slide.png>
- Ilustración 45 Boceto portería adaptable. Elaboración propia.
- Ilustración 46 Boceto portería adaptable con el toldo integrado y detalle de la guía. Elaboración propia.
- Ilustración 47 Perfil de aluminio. https://perfil-aluminio.com/21-large_default/perfil-tipo-u-aluminio-6063-t5.jpg
- Ilustración 48 Cortina PVC <https://beljemi.com/es/lonas-pvc/lonacortina-pvc-de-colores-a-medida>
- Ilustración 49 Render toldo vista frontal. Elaboración propia.
- Ilustración 50 Render toldo vista trasera. Elaboración propia.
- Ilustración 51 Detalle guías para toldo. Elaboración propia.
- Ilustración 52 Portería con el toldo bajado en pabellón. Elaboración propia.
- Ilustración 53 Portería con el toldo bajado en pabellón. Elaboración propia.
- Ilustración 54 Portería con el toldo bajado en pabellón. Elaboración propia.
- Ilustración 55 Detalle del mecanismo de la cortina totalmente bajada.
- Ilustración 56 Vista frontal de la portería. Elaboración propia.
- Ilustración 57 Antropometría de una persona en silla de ruedas. De la Vega Bustillos Francisco Octavio Lopez Millan Selene Soto, E. J. (s. f.). *ANTROPOMETRÍA PARA DISCAPACITADOS*. Org.mx. Recuperado 27 de junio de 2025, de https://semac.org.mx/_src/pdf/congresos-

<semac/806b2619be2dab7a20b3fc01d66b5b3047a8abc8.pdf>

- Ilustración 58 Detalle del botón accionador. Elaboración propia.
- Ilustración 59 Canasta adaptable mediante electricidad (S. f.-i). B2sport.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.b2sport.es/material-deportivo/juego-de-canastas-bitubo-elevables-a-techo-motorizadas-homologadas-certificadas-1270-n94/>
- Ilustración 60 Grado de protección IP. Diez, B. (2024, julio 10). ¿Qué son los grados de protección IP e IK? B·LED - Blog; Barcelona LED Iluminacion S.L. <https://www.barcelonaled.com/blog/informacion-led/que-son-los-grados-ip-e-ik/>
- Ilustración 61 Motor reductor DC 6V 10/15/20RPM 1:1000 Motorreductor DC,Motoreductor Electrico Motor de Reducción Caja Reductora Motor con Eje de Salida para Reducir Velocidad de Engranajes para Aplicaciones(6V 10RPM). (s. f.).
- Ilustración 62 Reductor de velocidad (S. f.-j). Leroymerlin.es. Recuperado 27 de junio de 2025, de <https://www.leroymerlin.es/productos/reductor-de-velocidad-relacion-de-reduccion-28-1-motor-de-accionamiento-interno-accesorios-con-rueda-de-28-dientes-eje-de-engranaje-de-6-mm-de-diametr-94960275.html>
- Ilustración 63 Imagen generada por la IA. Elaboración propia.
- Ilustración 64 Render poste superior. Elaboración propia.
- Ilustración 65 Render vista frontal portería final. Elaboración propia.
- Ilustración 66 Render portería final. Elaboración propia.
- Ilustración 67 Captura de pantalla de condiciones de contorno y fuerzas ejercidas sobre la portería. Elaboración propia.
- Ilustración 68 Barra horizontal superior de la portería, bajo la fuerza de un jugador que se cuelga de él. Elaboración propia.
- Ilustración 69 Captura de pantalla resultados del análisis. Elaboración propia.
- Ilustración 70 Detalle de la zona más crítica de la portería. Elaboración propia.
- Ilustración 71 Captura de pantalla de los resultados del toldo soportando un balonazo. Elaboración propia.
- Ilustración 72 Captura de pantalla de los resultados del toldo soportando un balonazo. Elaboración propia.

