

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN
UN POBLADO SENEGALÉS**

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:

ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

ÍNDICE GENERAL

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:
ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

0	HOJA DE IDENTIFICACIÓN	2
1	RESUMEN	3
2	ABSTRACT	3
3	OBJETO	4
4	ALCANCE.....	4
5	ANTECEDENTES.....	5
6	NORMATIVA Y MÉTODOS DE CÁLCULO.....	7
6.1	Normas y disposiciones legales.....	7
6.2	Programas de cálculo	8
7	METODOLOGÍA	8
8	PROBLEMÁTICA, CONTEXTO Y MOTIVACIÓN	9
8.1	Situación del poblado senegalés.....	9
8.2	Situación actual del suministro de agua.....	10
8.3	Motivación.....	11
9	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y REQUISITOS DE DISEÑO	11
9.1	Condiciones del lugar.....	11
9.2	Requisitos del carro	12
10	PROCESO DE DISEÑO	12
10.1	Desarrollo del chasis.....	12
10.2	Desarrollo de la estructura de empuje	15
10.3	Selección del equipo de propulsión.....	16
11	RESULTADO FINAL	18
11.1	Estructura del carro.....	18
11.1.1	Piezas de unión.....	20
11.2	Sistema de propulsión.....	21
11.2.1	Motor.....	21
11.2.2	Batería	22
11.2.3	Sistema de variación de velocidad.....	22
11.2.4	Ruedas.....	23
11.3	Montaje	24
11.4	Modelo Final.....	25
12	RESUMEN DEL PRESUPUESTO	27
13	CONCLUSIONES	27
14	CONCLUSIONS.....	28
15	REFERENCIAS	28

ÍNDICE GENERAL

ANEXO A – ESTUDIO Y DISEÑO DEL CHASIS

1	DIMENSIONADO Y DISEÑO DE LA SUPERFICIE.....	2
1.1	Determinación de las dimensiones de la base	2
1.2	Diseño inicial de la estructura.....	3
1.2.1	Configuración de barras secundarias rectas:	4
1.2.2	Configuración de barras secundarias en diagonal:	4
1.3	Análisis de los diseños	5
1.4	Selección configuración del chasis.....	6
2	ANÁLISIS ESTÁTICO DE CARGAS:	7
2.1	Consideraciones para el estudio	7
2.2	Determinación de la carga.....	8
2.3	Estudio estático en la barra mayor.	9
2.4	Selección de un perfil	10
2.5	Selección del material.....	11
3	COMPROBACIONES FINALES	14
3.1.1	Análisis estático I	14
3.1.2	Análisis estático II	15
3.2	Simulación en software.....	16
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	18
4.1	Resultado de la simulación.....	18
4.2	Diferencia con datos esperados	18
5	SIMULACIONES ADICIONALES	19
5.1	Comprobación de la base con placa	20
5.2	Carga máxima con peso de equipo de baterías	21
5.3	Transporte de mitad de la carga.....	23
5.4	Distribución irregular	24
6	PROPUESTA FINAL.....	25

ÍNDICE GENERAL

ANEXO B – ESTUDIO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE EMPUJE

1	SELECCIÓN DE LA ALTURA DE LA BARRA.	2
1.1	Consideraciones ergonómicas	2
1.2	Consideraciones de seguridad	3
1.3	Selección de altura de la barra	4
1.3.1	Altura de la barra para niños	6
2	DISEÑO DE LAS BARRAS DE EMPUJE	7
2.1	Modelo estructura base	7
2.2	Selección del perfil – Estructura de Empuje	8
2.3	Diseño de la segunda barra de empuje	9
2.4	Diseño total de la estructura de empuje	10
3	COMPROBACIONES	11
3.1	Análisis caso favorable	12
3.2	Análisis caso desfavorable - empuje	13
3.3	Análisis numérico – caso desfavorable	17
4	ESTUDIO DE VIBRACIONES	19
5	DISEÑO FINAL DE ESTRUCTURA DE EMPUJE	21

ÍNDICE GENERAL

ANEXO C – SELECCIÓN DEL EQUIPO DE PROPULSIÓN

1	INTRODUCCIÓN	2
2	DEFINICIÓN DE “EQUIPO DE PROPULSIÓN”	2
2.1	Qué es un equipo de propulsión.....	2
2.2	Tipos de carros motorizados según su equipo de propulsión	3
2.3	Justificación de la selección de propulsión de tipo eléctrico	3
3	REQUERIMIENTOS DE USO	4
4	TIPOS DE ELEMENTOS DE PROPULSIÓN:	5
4.1	Motores Eléctricos	5
4.1.1	Motorreductores.....	6
4.2	Baterías eléctricas	7
5	PROPUESTA DE EQUIPO DE PROPULSIÓN:	7
5.1	Cálculo de las prestaciones del equipo	7
5.2	Selección del tipo de equipo.....	12
5.3	Selección final del equipo.....	15
5.3.1	Motor seleccionado.....	15
6	ESTUDIO ESTÁTICO	19
6.1	Análisis CHASIS - MOTOR	19
6.2	Análisis CHASIS - BATERÍA	22
7	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE VARIACIÓN DE VELOCIDAD	24
7.1	Requisitos del equipo	24
7.2	Equipos disponibles en el mercado	25
7.3	Selección del equipo de variación de velocidad.....	25
7.3.1	Variador de frecuencia tipo caja	25
7.3.2	Variador tipo vehículo de movilidad personal.....	26
8	RUEDAS Y EQUIPO DE FRENADO	29
8.1	Selección de las ruedas.....	29
8.1.1	Ruedas delanteras.....	30
8.1.2	Ruedas traseras	30
9	TABLA DE CARACTERÍSTICAS	32

ÍNDICE GENERAL

ANEXO D – MONTAJE DEL CARRO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	UNIONES SOLDADAS	2
2.1	Soldadura TIG	2
2.2	Unión CHAPA - CHASIS	3
2.3	Unión EMPUJE - CHASIS	4
2.4	Unión ANCLAJES BARRERA-CHASIS.....	6
2.5	Conclusión - Uniones Soldadas	6
3	UNIONES ATORNILLADAS	6
3.1	Unión RUEDA TRASERA + CHASIS	7
3.2	Unión MOTOR – CHASIS.....	10
3.3	Unión BARRERAS – ANCLAJE	14
3.4	Unión SOPORTE BATERÍA - CHASIS.....	15
3.5	Unión PLACA DE IDENTIFICACIÓN	16
4	MONTAJE	17
4.1	Sistema de control de velocidad.....	17
4.2	Ruedas delanteras.....	18
5	RESULTADO FINAL.....	19

ÍNDICE GENERAL

PRESUPUESTO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	COSTES DE FABRICACIÓN DEL CARRO	2
2.1	Capítulo I - Equipo de propulsión	2
2.2	Capítulo II - Fabricación de piezas y estructura	3
2.3	Capítulo III - Uniones atornilladas	4
3	COSTE TOTAL	4
4	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	5

ÍNDICE GENERAL

CATÁLOGO

1	MOTOR	2
2	BATERÍA.....	8
3	EQUIPO CONTROLADOR DE VELOCIDAD	10
4	RUEDA DELANTERA.....	13
5	RUEDA TRASERA.....	14

ÍNDICE GENERAL

PLANOS

1	PLANO 1.00 – PLANO DE CONJUNTO	2
2	PLANO 1.00* - PLANO DE CONJUNTO*	3
3	PLANO 1.01 – CHASIS.....	4
4	PLANO 1.02 – ESTRUCTURA DE EMPUJE	5
5	PLANO 1.03 – BARRERA LATERAL	6
6	PLANO 1.04 – BARRERA FRONTAL.....	7
7	PLANO 1.05 – ANCLAJE DE BARRERA	8
8	PLANO 1.06 – UNIÓN HORIZONTAL – BATERÍA.....	9
9	PLANO 1.07 – UNIÓN VERTICAL – BATERÍA	10
10	PLANO 1.08 – UNIÓN MOTOR	11

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

MEMORIA

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:
ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE MEMORIA

0	HOJA DE IDENTIFICACIÓN	2
1	RESUMEN	3
2	ABSTRACT	3
3	OBJETO	4
4	ALCANCE.....	4
5	ANTECEDENTES.....	5
6	NORMATIVA Y MÉTODOS DE CÁLCULO.....	7
6.1	Normas y disposiciones legales	7
6.2	Programas de cálculo.....	8
7	METODOLOGÍA	8
8	PROBLEMÁTICA, CONTEXTO Y MOTIVACIÓN	9
8.1	Situación del poblado senegalés.....	9
8.2	Situación actual del suministro de agua	10
8.3	Motivación	11
9	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y REQUISITOS DE DISEÑO	11
9.1	Condiciones del lugar.....	11
9.2	Requisitos del carro.....	12
10	PROCESO DE DISEÑO.....	12
10.1	Desarrollo del chasis.....	12
10.2	Desarrollo de la estructura de empuje.....	15
10.3	Selección del equipo de propulsión.....	16
11	RESULTADO FINAL	18
11.1	Estructura del carro	18
11.1.1	Piezas de unión.....	20
11.2	Sistema de propulsión.....	21
11.2.1	Motor	21
11.2.2	Batería.....	22
11.2.3	Sistema de variación de velocidad.....	22
11.2.4	Ruedas.....	23
11.3	Montaje	24
11.4	Modelo Final.....	25
12	RESUMEN DEL PRESUPUESTO	27
13	CONCLUSIONES	27
14	CONCLUSIONS.....	28
15	REFERENCIAS.....	28

0 HOJA DE IDENTIFICACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO
“Diseño de un carro motorizado para el transporte de agua en un poblado senegalés”
FECHA DE REALIZACIÓN
Julio de 2023
PETICIONARIO
<i>Nombre:</i> Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología. Universidad de La Laguna. <i>Dirección:</i> Avenida Astrofísico Francisco Sánchez. <i>C.P.:</i> 38200 <i>Teléfono:</i> 922318309
DATOS DEL AUTOR DEL PROYECTO
<i>Nombre:</i> Alberto Cobiella García <i>Correo de contacto:</i> alu0101243313@ull.edu.es <i>DNI:</i> 54059041W <i>Titulación:</i> Grado en Ingeniería Mecánica
RESPONSABLE DE LA TUTORÍA DEL PROYECTO
<i>Nombre:</i> Dra. Isabel Teresa Martín Mateos <i>Correo de contacto:</i> itmartin@ull.edu.es <i>Departamento:</i> Ingeniería Industrial <i>Área:</i> Ingeniería Mecánica

1 RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado presenta el diseño y desarrollo de un carro motorizado especializado con el objetivo de mejorar el transporte de agua en un poblado en Senegal. Se busca facilitar el suministro de agua de manera eficiente mejorando así la calidad de vida de la comunidad local, especialmente de los niños que están a cargo de esta tarea.

El proyecto abarca diversas fases, comenzando con el estudio e investigación del contexto del poblado y la identificación de la necesidad e importancia del carro. En los dos primeros anexos se realiza el diseño completo de la estructura del vehículo, que incluye el chasis-base, la estructura de empuje y las barreras para garantizar su estabilidad y seguridad.

Otro aspecto fundamental es el documento de selección y dimensionamiento del equipo de propulsión, donde se eligen la batería, el motor eléctrico y el sistema modulador de velocidad que se ajustan a las condiciones específicas del transporte en el lugar.

Para respaldar las decisiones tomadas, se llevan a cabo cálculos y simulaciones que justifican y verifican las selecciones realizadas, además de optimizar el rendimiento de la estructura y los equipos.

Se elabora un cuarto anexo que corresponde al documento de montaje, detallando las características de cada unión entre los elementos del carro.

Finalmente, se desarrollan planos detallados del diseño y se estima el presupuesto necesario para su construcción.

2 ABSTRACT

This Bachelor's Thesis presents the design and development of a specialized motorized cart with the aim of improving water transport in a village in Senegal. It seeks to ease the supply of water efficiently, thus improving the quality of life of the local community, especially of the children who are in charge of this task.

The project addresses different phases, beginning with the study and investigation of the village's context and the identification of the need and importance of the cart. In the first two annexes the complete design of the vehicle structure is carried out, which includes the chassis-base, the thrust structure and the barriers to guarantee its stability and safety.

Another essential aspect is the document focused on the selection and sizing of the propulsion equipment, where the battery, the electric motor and the speed modulator system are chosen, ensuring they adjust to the specific conditions of the transport in this place.

To support the taken decisions, calculations and simulations are carried out to justify and verify the selections made, but also to optimizing the performance of the structure and equipment.

In addition, a fourth annex is developed and corresponds to the assembly document, where the characteristics of each joint between the elements of the car are specified. Finally, detailed design plans are developed and the necessary budget for its construction.

3 OBJETO

El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño y desarrollo de un carro motorizado especializado que busca solucionar el problema del transporte de agua en un poblado en Senegal. Se espera facilitar así el suministro, realizándolo de manera eficiente y mejorando la calidad de vida de la comunidad local, especialmente de los niños que realizan el transporte.

El acceso al agua potable es fundamental para garantizar la supervivencia y el bienestar de *Sare Bala*, y se ha identificado la necesidad de contar con un vehículo que se adapte a las características de la aldea. El carro diseñado deberá ser capaz de ser operado de manera segura por los habitantes del lugar. Además, deberá disponer de un equipo de propulsión resistente y duradero que facilite la operación del traslado del agua, teniendo en cuenta las condiciones del terreno y del lugar.

4 ALCANCE

El alcance del proyecto abarca las siguientes etapas:

1. **Contexto y requisitos:** estudio e investigación sobre las condiciones del poblado, así como de la necesidad e importancia del carro motorizado.
2. **Diseño de la estructura:** diseño completo de la estructura del carro, incluyendo el chasis-base, la estructura de empuje y las barreras de contención; desarrollo de todos los elementos necesarios para garantizar la estabilidad y seguridad del vehículo.
3. **Selección del equipo de propulsión:** estudio de posibilidades, selección y dimensionamiento de los componentes del equipo de propulsión del carro. Esto incluye la elección de la batería, el motor eléctrico y el sistema modulador de velocidad adecuados para el propósito del transporte en las condiciones específicas.

4. **Cálculos y simulaciones:** realización de cálculos y simulaciones con el fin de justificar y verificar las selecciones, así como de optimizar el rendimiento de la estructura y equipos.
5. **Montaje:** realización de un documento de montaje en el que especifiquen las características de cada unión entre elementos del carro.
6. **Elaboración de planos y presupuesto:** desarrollo de planos detallados del diseño del carro motorizado, incluyendo las especificaciones técnicas de los componentes; estimación del presupuesto necesario para la construcción del carro.

5 ANTECEDENTES

El carro de transporte o carretilla es un antiguo invento que ha evolucionado a lo largo de la historia y ha sido utilizado en diferentes culturas. No es posible determinar el lugar ni el momento concreto del desarrollo de este vehículo, no obstante, se datan las apariciones en distintas culturas a lo largo de la historia.

En el caso de China, se menciona por primera vez en el siglo III a.C. y atribuyen su invención al general *Zhuge Liang*. [1] Según datan, inicialmente la carretilla fue concebida como una solución estratégica para superar los obstáculos de las montañas chinas, ya que los caminos estrechos no permitían el paso de vehículos de gran tamaño. En su momento, este invento fue considerado un secreto militar y se mantuvo oculto a otros pueblos.

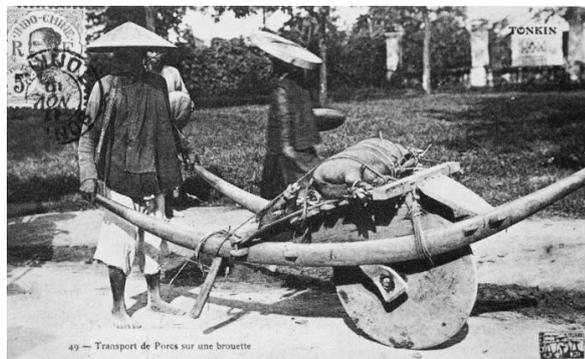


Figura 1 – Carretilla de transporte utilizada en Vietnam [Yelkrokoyade]

Por otro lado, estudios posteriores revelan indicios del uso de este tipo de vehículos en la antigua Grecia, alrededor de los años 408-406 a.C. Esto sugiere que el uso de la carretilla en tierras griegas podría ser anterior al uso en China.

Con el tiempo, la carretilla ha evolucionado y perfeccionado, siendo utilizado en diferentes contextos y culturas. Actualmente, existen diferentes modelos de carretillas que se adaptan a las necesidades específicas de la carga, así como al sector de operación como la construcción, la jardinería y la logística.



Figura 2 – Carro manual simple (izq.) y carro de transporte industrial (dcha.) [Thoman]

Los carros manuales suelen estar equipados con una plataforma de carga construida con materiales como madera, metal o plástico. Además, cuentan con una estructura móvil que incorpora ruedas neumáticas o de goma maciza. Algunos modelos pueden incluir sistemas de levantamiento hidráulico u otros sistemas adicionales.

Este tipo de instrumentos evoluciona con la incorporación de un elemento, el motor. Al incluir un órgano que reduce el esfuerzo a ejercer para llevar a cabo la tarea, se crea una amplia variedad de instrumentos motorizados destinados al transporte de cargas pesadas; desde carros, vagonetas o remolques industriales.



Figura 3 – Carro motorizado simple de 3 ruedas [Disset Odiseo]

Entre ellos, destaca el uso del *carro motorizado*, destinado al transporte de cargas pesadas de manera cómoda y eficiente. A diferencia de los carros manuales, dispone de un pequeño motor eléctrico o de combustión que impulsa el instrumento reduciendo el esfuerzo a realizar.

La construcción de estos aparatos suele ser llevada a cabo mediante materiales resistentes y pueden ser utilizadas para una amplia variedad de cargas desde cajas, pallets o bidones. Pueden tener características adicionales, como un controlador de velocidad, un volante de dirección, amortiguadores... También pueden tener diferentes tamaños y formas para adaptarse a diferentes entornos de trabajo y tipos de carga.

En el caso del poblado, cuando es posible, se realiza el transporte mediante un carro de tracción animal. Concretamente mediante un burro que empuja una carretilla de gran tamaño. A pesar de ser un método muy implementado a lo largo de la historia, el uso de este tipo de carros crea una dependencia directa al estado del animal. Por otro lado, el transporte es menos seguro y eficiente que con un carro especializado, requiriendo de un mayor tiempo y esfuerzo.



Figura 4 – Fotografía del carro de transporte en Sare Bala [ONG-MAMAN ÁFRICA]

6 NORMATIVA Y MÉTODOS DE CÁLCULO

6.1 Normas y disposiciones legales

En el desarrollo de este proyecto, se han aplicado diversas normativas españolas y europeas con el fin de seguir las indicaciones correspondientes para la elaboración de la documentación, los cálculos y el diseño. Dado que se desconocen las normativas específicas vigentes en la región senegalesa con respecto a carros de manutención, carros motorizados o equipos de propulsión; se considera adecuado adoptar los siguientes reglamentos como base de referencia:

- *Norma UNE 157001*, de junio de 2014, sobre los criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico
- *Norma UNE-EN 1757*, de enero de 2023, sobre Seguridad de las carretillas de manutención. Carretillas de manutención plataforma de propulsión manual con operador a pie.
- *REAL DECRETO 1215/1997*, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- *Directiva 2006/42/CE*, relativa a maquinaria industrial por la que se establecen los requisitos de salud y seguridad relevantes para garantizar un uso seguro.
- *Directiva del Consejo de 22 de diciembre de 1986*, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias en materia de crédito al consumo.

6.2 Programas de cálculo

En el desarrollo del proyecto se han empleado diversos programas y herramientas especializadas para llevar a cabo los cálculos, simulaciones y planos necesarios. Se enumeran a continuación cada uno de ellos y su utilidad:

- **SolidWorks:** modelización 3D de todos los elementos del carro; simulaciones y análisis estáticos de las piezas; ensamblaje del producto; realización de planos y presupuestos.
- **Microsoft Excel:** cálculo de valores en estudios estáticos, estudios de vibraciones o estudios de potencia, entre otros.
- **Microsoft Word:** redacción del proyecto; redacción de ecuaciones y cálculos.
- **Google Maps:** localización del lugar de operación del carro; estudio de distancias de operación.

7 METODOLOGÍA

En este apartado, se describe el enfoque metodológico utilizado para el desarrollo y diseño del carro. Cada componente del carro, como la estructura, las piezas o el motor, tiene características independientes que requirieron un abordaje especializado. Sin embargo, se ha seguido un proceso similar para cada uno de ellos constando de los siguientes pasos:

1. Estudio de las necesidades y requisitos de diseño.
2. Estudio y propuesta de posibles soluciones.
3. Cálculo y simulación de la solución adoptada.
4. Verificación final.

Se ha pretendido así garantizar que los elementos del carro cumplan con los requisitos establecidos y sean apropiados para su aplicación en el proyecto.

8 PROBLEMÁTICA, CONTEXTO Y MOTIVACIÓN

Se pretende mostrar en este bloque la realidad del lugar de operación del carro, el poblado *Sare Bala*. Se puede así comprender el nivel de gravedad de la situación de los habitantes senegaleses, así como comprender los beneficios que la implementación del carro acarrearía.

8.1 Situación del poblado senegalés

La aldea *Sare Bala* se encuentra al sureste de Senegal, concretamente en el extremo este de la frontera con Gambia. La región donde se ubica, *Tambacounda*, es un cruce de caminos del África Occidental.



Figura 5 – Ubicación del poblado [Google Maps]

La Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID) [2] cataloga a Senegal dentro de los *países prioritarios* o *grupo A* desde 2001. Esto lo convierte, por tanto, en una prioridad en la política de cooperación española y se le asigna una mayor cantidad de recursos financieros, técnicos y humanos para la implementación de proyectos y programas de cooperación.

El informe del *Programa Mundial de Alimentos de 2014* [3] expone que el consumo de agua diario de una persona en las aldeas rurales de Senegal varía entre 3 y 20 litros; mientras que en España se sitúa entre 150-200 litros diarios/persona.

La infraestructura básica en *Sare Bala* es muy limitada. El acceso a la red eléctrica en el poblado era inexistente hasta hace unos años. Gracias a la colaboración de una ONG y diversas donaciones, se llevó a cabo la instalación de placas fotovoltaicas en la escuela, lo cual ha permitido disponer de electricidad principalmente para la iluminación y ventilación del lugar. Además, se implementó un sistema de paneles solares en el puesto de salud, garantizando también el suministro eléctrico. Como resultado de estas iniciativas, desde el año pasado algunas calles del poblado están iluminadas.

8.2 Situación actual del suministro de agua

El acceso al agua potable en *Sare Bala* está condicionado por la disponibilidad de un único pozo útil. Toda el agua que consumen los habitantes de la aldea proviene y se distribuye desde un único punto de abastecimiento. Desafortunadamente, para ello se debe recorrer una distancia de 2 km desde el límite del poblado. Se observa en la *Figura 6* la vista satélite del poblado. Se indica mediante un círculo azul la ubicación del pozo. En amarillo se encuentran los núcleos de viviendas donde se distribuye el agua.

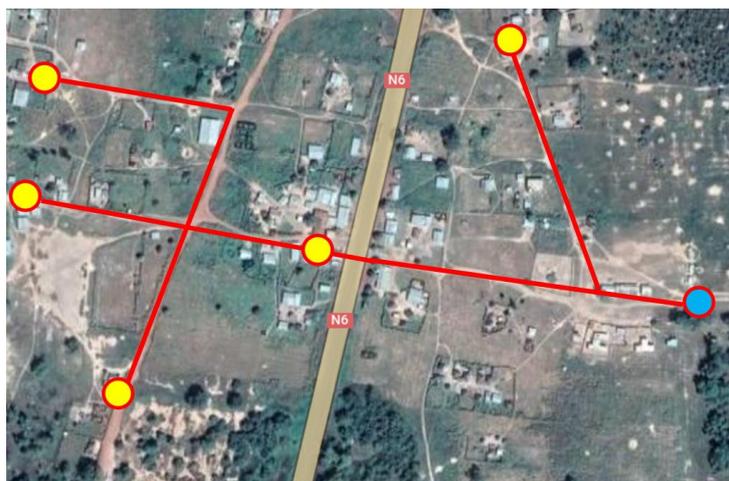


Figura 6 – Vista satélite de Sare Bala [Google Maps]

El transporte se realiza utilizando bidones, los cuales son cargados por los niños y niñas del poblado o colocados sobre un pequeño carro traccionado por un burro. Esta actividad se lleva a cabo en malas condiciones y supone un esfuerzo grave con consecuencias negativas para la salud de los habitantes de la aldea. Además, el tiempo dedicado al transporte impide que los niños y niñas puedan asistir regularmente a la escuela o participar en actividades que promuevan su desarrollo adecuado.

Este tipo de transporte proporciona un suministro de agua limitado e ineficiente. Se estima que el consumo diario de todo el poblado asciende a 800 litros de agua.



Figura 7 – Fotografía de niños del poblado realizando el llenado de bidones de agua [ONG-MAMAN ÁFRICA]

8.3 Motivación

En el año 2010, la ONU reconoció oficialmente el derecho humano al agua y al saneamiento a través de la Resolución 64/292 [4] En esta resolución se reafirma que el acceso a agua potable limpia y servicios de saneamiento adecuados son fundamentales para el ejercicio pleno de todos los derechos humanos.

Por otro lado, La *Organización de las Naciones Unidas* (ONU) [5] ha estado abordando desde hace mucho tiempo una crisis mundial caracterizada por la escasez de suministro de agua y la creciente demanda para satisfacer las necesidades humanas, comerciales y agrícolas. Esta problemática se aborda, entre otros, en el *Objetivo de Desarrollo Sostenible* [6] número 6, el cual busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

La *Organización Mundial de la Salud* (OMS) [7] reconoce formalmente el derecho humano al agua y afirma que esta debe ser suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible. Para que estas condiciones se cumplan, se estima que una persona necesita de 50 a 100 litros de agua diarios para beber, saneamiento personal, preparación de alimentos, etc. Para ser físicamente accesible, la fuente de agua debe encontrarse a menos de 1000 metros del hogar y no requerir más de 30 min. de desplazamiento.

La motivación de este proyecto surge con la intención de diseñar un vehículo de transporte especializado a los requerimientos de *Sare Bala*. De esta manera, se mejorarán las condiciones de suministro de agua, contribuyendo así al desarrollo social.

9 CONDICIONES DE OPERACIÓN Y REQUISITOS DE DISEÑO

El diseño del carro motorizado se encuentra determinado por las condiciones del lugar de operación, así como de los requisitos para satisfacer un transporte de agua óptimo y suficiente.

9.1 Condiciones del lugar

El poblado *Sare Bala* se encuentra al sureste de Senegal. Las condiciones ambientales se caracterizan por ser un clima tropical, cálido y húmedo durante la mayor parte del año.

Las temperaturas suelen ser altas, con máximas que pueden superar los 35°. La temporada de lluvias generalmente ocurre entre los meses de junio y octubre, mientras que la temporada seca abarca el resto del año. Durante la temporada de lluvias, pueden producirse fuertes precipitaciones. El terreno generalmente consiste en una combinación de áreas llanas y onduladas, con apenas elevaciones. Se presentan terrenos irregulares, secos y arenosos.

9.2 Requisitos del carro

Con el fin de garantizar que el diseño y la posterior operación del carro es óptima, se han establecido los siguientes requisitos:

- **Capacidad de carga:** el carro motorizado debe de ser capaz de sostener y transportar 320 litros de agua. Las garrafas que se encuentran en el poblado tienen un volumen de 20 litros por lo que se establece como carga nominal del carro (máxima a transportar) 16 de bidones (320 kg).
- **Autonomía del carro:** el equipo de motor y batería deberá ser capaz de realizar, al menos 3 trayectos de ida y vuelta al pozo con el fin de satisfacer el consumo diario de agua de la población de la aldea.
- **Resistencia y durabilidad:** el carro debe ser robusto y resistente para soportar el peso de la carga de agua, así como las condiciones adversas del terreno en Senegal. Debe ser capaz de enfrentar terrenos accidentados, caminos irregulares y condiciones climáticas variables, asegurando la integridad de la carga y la vida útil del carro.
- **Velocidad del carro:** el equipo motor deberá de operar con comodidad a la velocidad máxima de 6 km/h, velocidad media de un humano a pie.
- **Diseño sencillo:** El diseño del carro debe considerar la facilidad de uso y accesibilidad para todos los habitantes del poblado senegalés. Es esencial que sea intuitivo y adaptativo, teniendo en cuenta la limitada disponibilidad de recursos técnicos en la comunidad. De esta manera, se busca que cualquier persona pueda operarlo sin dificultad, permitiendo un manejo sencillo y accesible para todos.
- **Durabilidad del equipo:** debido a que el acceso a recursos y servicios técnicos en el poblado es altamente limitado, es crucial que el carro sea duradero y resistente. Se deberán seleccionar materiales de alta calidad y capaces de soportar un uso intensivo.

10 PROCESO DE DISEÑO

10.1 Desarrollo del chasis

La estructura del chasis conforma la parte principal del carro. Sobre esta se disponen los bidones a transportar. Se adhieren a él los otros elementos estructurales (barras de empuje, barreras, etc.) así como el equipo de propulsión.

El desarrollo de esta estructura (*ANEXO A*) se ha centrado en otorgar al carro de una base estable y rígida donde se disponga el elemento de carga (16 bidones de agua).

Se propone como “esqueleto” del elemento una estructura de barras huecas. Para seleccionar la mejor distribución se realizaron simulaciones mediante el software, estableciendo que un diseño rectangular con barras diagonales proporciona los mejores valores de deformación y tensión.

Una vez seleccionada la distribución, se realizaron distintos cálculos del comportamiento elásticos de las barras frente a la carga distribuida sobre la estructura. De esta manera se estableció para el diseño de la base del carro la disposición de perfiles rectangulares *RHS 60x40x3.2*. Para poder disponer el elemento de carga y disponer de una base firme, se dispone una placa de 3 mm de espesor a lo largo de toda la superficie superior de la base.

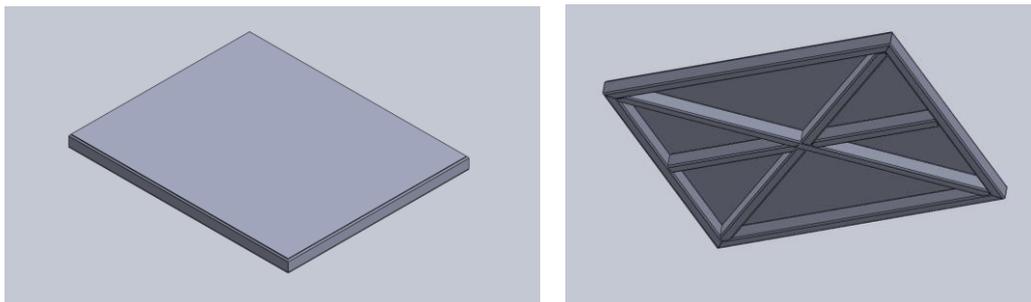


Figura 8 – Modelo de la base con placa (vista superior e inferior) [fuente propia]

Se consideró para la fabricación de toda la estructura del carro la aleación del carro el *Aluminio 6063-T4* debido a sus características de resistencia y conformado. Esta aleación cumple con el límite elástico mínimo obtenido, presentando un valor de resistencia de $6.90E+04$ N/mm²

Con el objetivo de verificar la selección de la estructura, se llevaron a cabo cálculos y simulaciones de análisis estáticos. Entre ellos, se realizó el estudio específico de la barra mayor de la estructura, obteniendo resultados muy similares que se encontraban por debajo del límite elástico del material. Además, en el diseño del carro se estableció un criterio de deformación máxima admisible de 2 mm, y ambos resultados se encontraban por debajo de dicho límite.

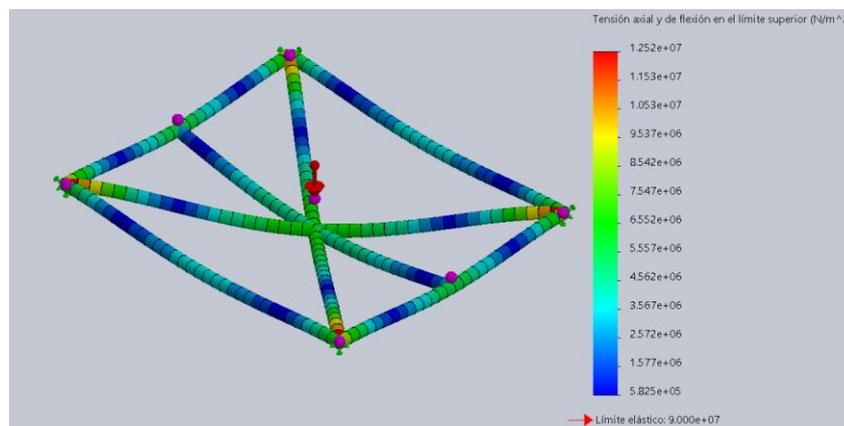


Figura 9 – Resultados de tensión de la simulación A.1 en SolidWorks [fuente propia]

RESULTADOS ESTUDIOS ESTÁTICOS	
Estudio:	Deformación [mm]
Análisis estático I	1.63
Simulación A.1	0.412

Tabla de Resultados 1 – Comparación deformaciones [fuente propia]

En cuanto a las diferencias en los valores obtenidos, es común que los cálculos cuantitativos aproximados difieran de los valores "reales" o de simulación. Por un lado, las simplificaciones realizadas en el análisis pueden llevar a estimaciones inexactas. Por ejemplo, en el *Análisis I*, se consideró la barra de mayor longitud como una viga aislada, pero la simulación demostró que las barras secundarias influyen en la rigidez y la distribución de la carga en toda la estructura. Todo esto se desglosa en profundidad en el ANEXO A.

Se realizaron también sendas simulaciones considerando distintas situaciones, centrándose en el comportamiento global de la estructura. Es el caso del *Análisis A.4*, donde se realizó una simulación del chasis del carro con una placa de 3 mm de espesor colocada sobre él. Se aplicó una carga distribuida uniforme a lo largo de la superficie, equivalente a la carga máxima esperada con un coeficiente de seguridad de 1.5.

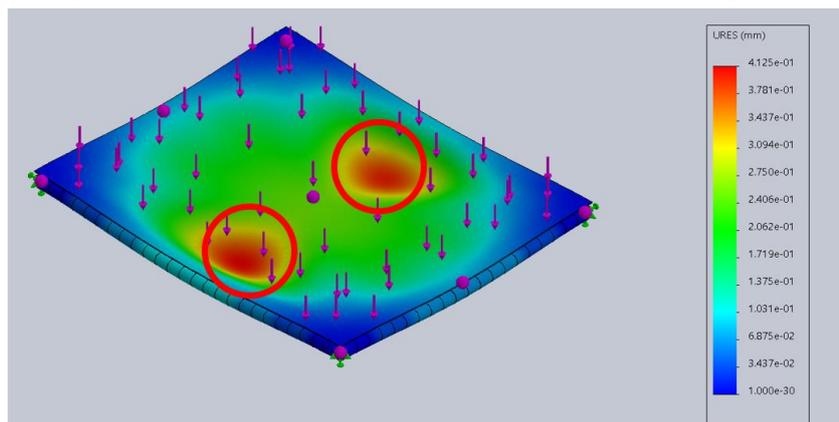


Figura 10 – Deflexión en el punto central en simulación A.4 [fuente propia]

Los resultados mostraron deformaciones menores y una mayor estabilidad debido a la rigidez de la unión entre la placa y la estructura del chasis. La implementación de esta placa generó una distribución de esfuerzos uniforme a lo largo de la base, y se observó que el punto máximo de deflexión se encontraba en los lados en lugar del punto central como en los casos anteriores. La *Figura 10* muestra claramente este fenómeno y mediante este análisis se comprobó que el desplazamiento máximo no excedía los 2 mm aceptables.

Simulación	Desp. [mm]	Tensión [N/m2]	CUMPLE
A.4	0.4125	9.321 E+06	CUMPLE

Tabla de Resultados 2 – Chasis con placa con carga nominal [fuente propia]

10.2 Desarrollo de la estructura de empuje

Se ha denominado estructura de empuje al sistema de barras dispuesto en la parte de trasera del carro que tienen la finalidad proveer al carro de un elemento para maniobrar, así como de sostener el equipo de variación de velocidad.

Durante el proceso de diseño de esta estructura (*ANEXO B*) se ha operado de manera análoga al chasis del carro. Comenzando con el dimensionado, para determinar la altura óptima de la barra de empuje se tuvieron en consideración aspectos de comodidad y ergonomía, así como de seguridad. De esta manera, se estableció que la barra de “empuje” (donde se instalarán los elementos de control de velocidad) se debe disponer a 1 m del nivel del suelo.

Una vez atendidos los requerimientos de confort y prevención de riesgos, se comenzó el diseño de la estructura, desarrollando un modelo inicial considerando requisitos de resistencia y rigidez. Se estudiaron distintas propuestas y distribuciones hasta establecer que perfil y diseño proveen de una mejor estructura teniendo en cuenta las especificaciones técnicas y los criterios de maniobrabilidad.

Una vez se obtuvo una propuesta final se realizaron distintos análisis y simulaciones como el estudio frente al caso desfavorable en el que el sistema de propulsión (batería + motor) falla y el carro requiere de ser operado mediante el empuje del operario.

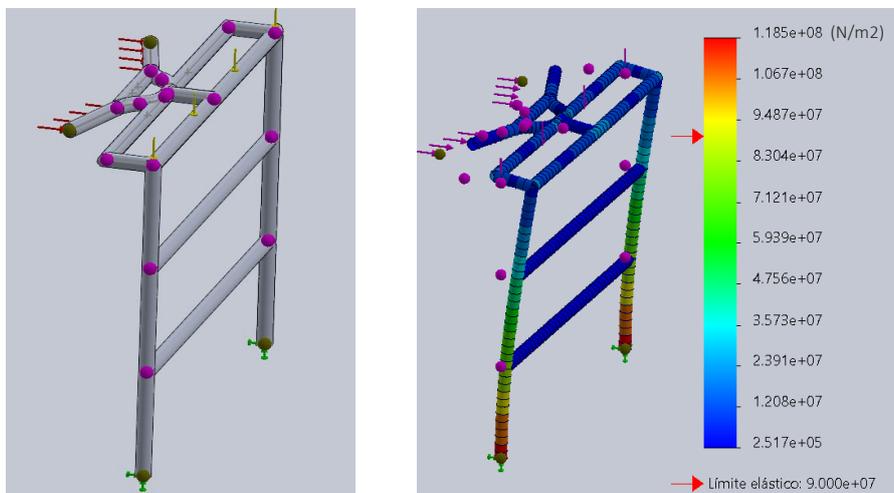


Figura 11 – Fuerzas consideradas (izq.) y resultado de las tensiones (dcha.) en la simulación B.2 [fuente propia]

La simulación presentó un fallo en la estabilidad, resultando en este caso valores de desplazamiento mayores a los establecidos como admisibles para el diseño del carro (2 mm) y tensiones superiores al límite elástico del material.

Se realizó el cambio de perfiles de la estructura, optando por unos de mayor dimensión que satisfagan este posible caso. Mediante la *simulación B.3* se comprobó que el aumento de los perfiles solucionaba los problemas presentados, obteniendo un valor de desplazamiento de 1.83 mm y una tensión menor que el límite del *Aluminio 6063*.

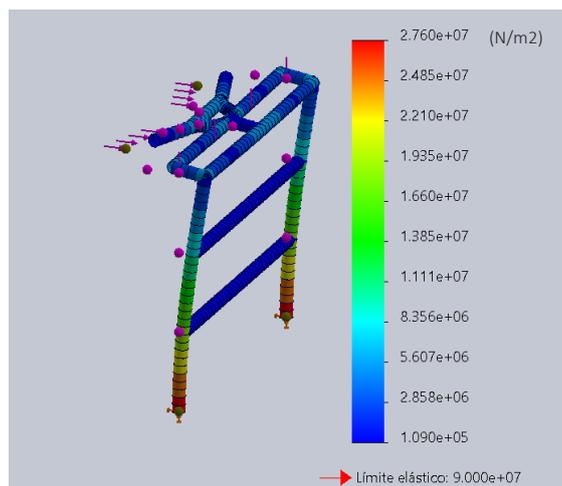


Figura 12 – Resultados tensión simulación B.3 con nuevos perfiles [fuente propia]

También, se llevó a cabo un estudio de vibraciones mecánicas en la estructura de empuje dado que es la parte más expuesta. El objetivo fue evaluar si las vibraciones generadas durante el funcionamiento podrían representar un riesgo para la integridad del equipo. Debido a que la frecuencia del motor es mucho menor que la de la estructura, se elimina la posibilidad de resonancia y, por lo tanto, no se plantea un problema de estabilidad.

Frecuencia natural estructura de empuje ω_n [rad/s]	Frecuencia del motor ω_{motor} [rad/s]	CUMPLE
185.05	12.85	

Tabla de Resultados 3 – Comparativa valores de frecuencia – Estudio de vibraciones [fuente propia]

10.3 Selección del equipo de propulsión

Se ha denominado equipo de propulsión al conjunto de elementos que forman parte del sistema encargado del movimiento del carro. Este sistema realizará la fuerza de empuje necesaria para transportar la carga sobre el carro.

Para la selección de estos componentes (ANEXO C), se comenzó definiendo el concepto de equipo de propulsión y realizando una investigación y descripción de los diferentes tipos de carros motorizados según su elemento de transmisión.

Se consideró que la opción más adecuada para este proyecto es la propulsión mediante energía eléctrica. Por lo tanto, se exploran los diferentes tipos de elementos de transmisión disponibles, centrándose en los motores y baterías eléctricas. Además, se realizó un estudio de las características y especificaciones de estos componentes.

Se realizaron cálculos para justificar la selección del motor y la batería de la carretilla motorizada. Se analizaron las prestaciones de los equipos, incluyendo la potencia necesaria y la autonomía requerida. Se consideró el caso más solicitado, donde la carga transportada era igual a la carga nominal de 320 kg (16 bidones de agua).

Se calculó la fuerza resistente máxima ejercida entre el suelo y el carro, y, en consecuencia, el momento torsor necesario que el motor debía suministrar para superarla (37.24 Nm). Estos cálculos tuvieron en cuenta la distribución del peso a lo largo de las cuatro ruedas, y la colocación del motor en el eje delantero.

Utilizando estos valores, se determinaron las características mínimas restantes que cumplieran con los requisitos de velocidad y carga establecidos. Se obtuvo que la potencia del motor debe ser de mayor a 432 W y la velocidad de 122.71 rpm.

De esta manera, se seleccionó un equipo motor de 800W junto con una batería de 48V y 25Ah, los cuales son adecuados para cumplir con los requisitos de potencia y autonomía. Se llevaron a cabo análisis estáticos adicionales para verificar que la disposición de estos elementos no afectara la estabilidad del carro. En la simulación mostrada en la *Figura 13*, se comprobó que la barra especializada utilizada para acoplar el motor al chasis es capaz de soportar el peso del motor seleccionado sin causar problemas en la estructura.

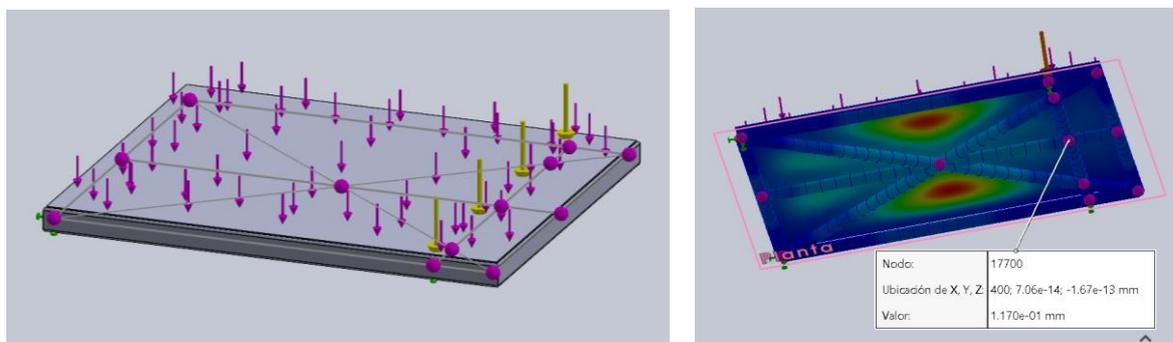


Figura 13– Fuerzas actuantes (izq.) y resultado de deformación en la barra-motor (dcha.) en análisis C.5.4.a [fuente propia]

En el *ANEXO C* del proyecto se proporciona una visión detallada del proceso comentado, incluyendo las posibilidades, simulaciones y cálculos. Se destaca el estudio de autonomía del carro, en el que cual se esbozó el tiempo de duración de la pila de energía en función del nivel de carga del carro.

Carga transportada	Peso [kg]	Par [Nm]	Potencia [W]	Potencia_elec [W]	Autonomía [horas]
Vacía	45	4.59	59.00	69.41	18.44
Media	182.5	18.62	239.26	281.48	4.55
Completa	365	37.24	478.52	562.96	2.27

Tabla de Resultados 4 – Estimaciones autonomía del carro en función de la carga [fuente propia]

Se demostró que conforme aumenta la carga transportada disminuye el ciclo de la batería. Al conocer estos datos, es posible estimar que la batería proporcionaría energía suficiente para operar de manera normal, al menos, 4 horas

Finalmente, en la segunda parte de este tercer anexo, se describen los requisitos para el equipo de variación de velocidad y se exploran las opciones disponibles en el mercado. De esta manera se realiza la selección sistema de control del carro. Además, se aborda la selección de las ruedas, tanto delanteras como traseras, teniendo en cuenta la carga que sostendrán, dimensiones y operación en el terreno.

11 RESULTADO FINAL

En este apartado se presenta el resultado definitivo del proyecto. A lo largo del trabajo, se han llevado a cabo propuestas, análisis y diseños para desarrollar el carro motorizado adaptado a las necesidades de transporte de agua de *Sare Bala*.

Este producto es el resultado de un proceso riguroso y multidisciplinario que abarca desde la identificación de requisitos y especificaciones, hasta la selección y el diseño de componentes y sistemas. Finalmente, tras la realización de pruebas y validaciones, se presenta el diseño final detallando sus características.

11.1 Estructura del carro

La estructura del carro está diseñada en su totalidad con una aleación de *Aluminio 6063-T4* y está conformada principalmente por dos grandes sistemas, el chasis y la estructura de empuje. Se han utilizado perfiles rectangulares *RHS 60x40x3.2* para la estructura del chasis debido a sus características de resistencia a flexión y peso ligero, así como por aspectos de diseño. Sobre esta, se dispone una placa de 3 mm de espesor.

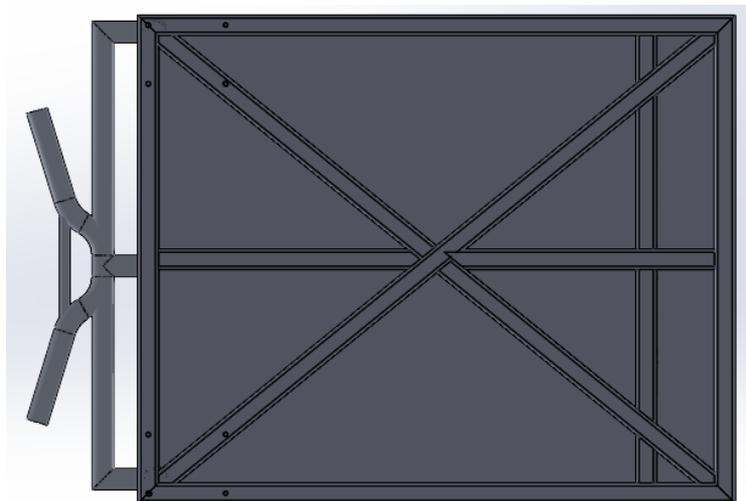


Figura 14 – Modelo CAD de la estructura principal (vista inferior) [fuente propia]

Los agujeros que se observan en los modelos corresponden a los orificios realizados para disponer las distintas uniones atornilladas.

En cuanto a la estructura de empuje, se dispone perpendicularmente sobre el chasis en la parte trasera de este. Se trata de un sistema de barra circulares tipo *Tubería S40-1.5 SCH* y *1.25 SCH*. Se ha tratado de proveer al carro de una estructura de barras que provea al operario de un elemento de sujeción y control cómodo y segura. La unión de estos elementos se realiza mediante soldadura (*ANEXO D – MONTAJE*).

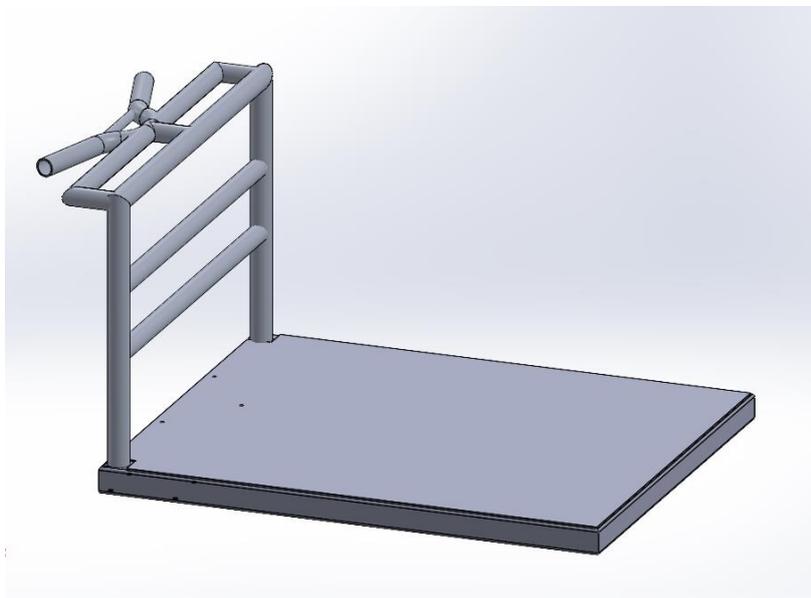


Figura 15 – Modelo CAD de la estructura principal [fuente propia]

Por otro lado, se diseñan tres barreras desmontables (dos laterales y una frontal) que se incorporan al carro de transporte y tienen la finalidad de asegurar la estabilidad y sujeción de los bidones de agua. Estas han sido diseñadas mediante perfiles tubulares cuadrados de 20x20X2.

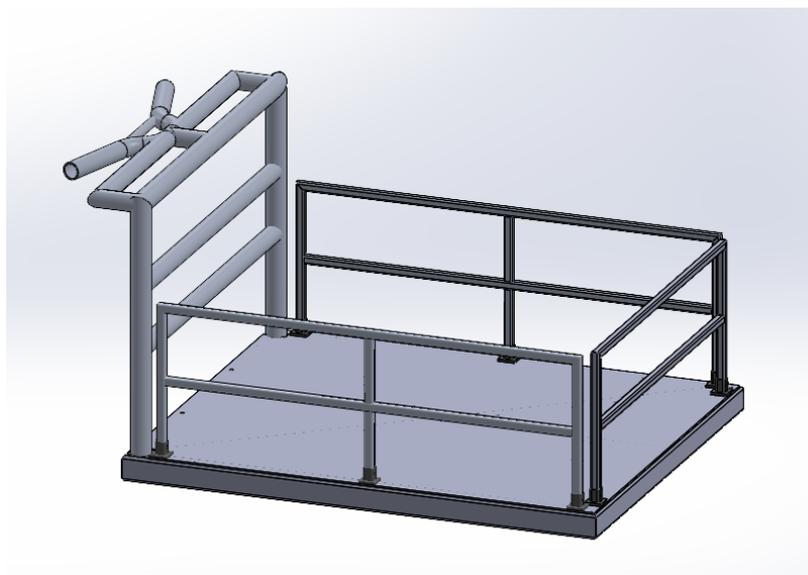


Figura 16 – Modelo CAD de la estructura total [fuente propia]

Para realizar la unión entre las barreras y la estructura, se dispone de 8 anclajes a lo largo del perímetro de la base. En ellos se insertan las barreras y mediante un tornillo pasador se asegura la posición de estas.

Se presenta a continuación una tabla que recoge las características generales de los elementos de la estructura del carro.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA – CARRO MOTORIZADO						
ESTUCTURA		Largo [mm]	Ancho [mm]	Ancho [mm]	Tipo de Barra	Material
CHASIS		1100	900	-	RHS 60x40x3.2	Aluminio 6063 – T4
EMPUJE	1º	-	600	900	Tubería S40-1.5 SCH	Aluminio 6063 – T4
	2	-	-	600	Tubería S40-1.25 SCH	Aluminio 6063 – T4
BARRERA FRONTAL		800	-	350	Tubo cuadrado 20x20X2	Aluminio 6063 – T4
BARRERA LATERAL		1000	-	350	Tubo cuadrado 20x20X3	Aluminio 6063 – T4

Tabla 1 – Características de la estructura [fuente propia]

11.1.1 Piezas de unión

Fuera de los elementos estructurales, se han diseñados cuatro piezas especializadas encargadas de asegurar distintos elementos del carro motorizado. Constituyen el conjunto la pieza de unión del motor al chasis, las dos “abrazaderas” que fijan la batería a la base del carro y los anclajes de las barreras.

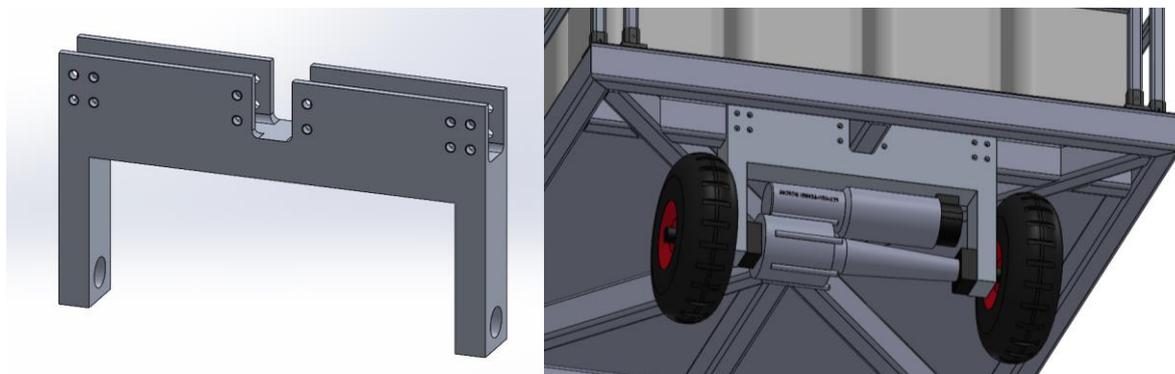


Figura 17 – Modelo CAD de la pieza de unión MOTOR-CHASIS y su disposición en el carro [fuente propia]

Estos elementos han sido diseñados con el mismo material, Aluminio 6063-T4, y cumplen la función de establecer un nexo mediante uniones atornilladas entre otros elementos y la estructura del carro.

11.2 Sistema de propulsión

11.2.1 Motor

Atendiendo a los requisitos de carga, velocidad máxima de 6 km/h, tiempo de transporte y condiciones de operación; y tras descartar otras opciones por razones de sencillez de diseño, se ha seleccionado un motorreductor transeje de 800W. Concretamente el motor LDM25-364-800 del proveedor *RotonTek* [8]. Operando en corriente continua bajo una tensión de 48 V, el equipo cumple con las necesidades en el caso más solicitado, es decir, en el arranque y transporte de la carga nominal. El par nominal que es capaz de transmitir este modelo es de 50 Nm, superando los 37.2 Nm necesarios calculados (ANEXO C).

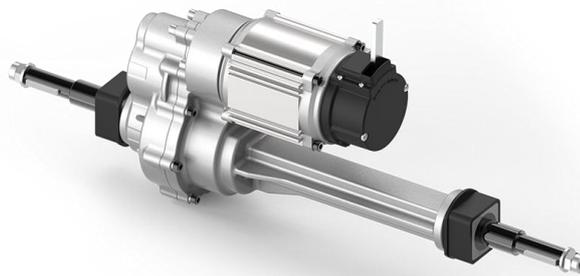


Figura 18 – Motor LDM25-364-800 [RotonTek]

La razón principal de disponer un motorreductor transeje es su capacidad de reducir la velocidad de rotación de uno de los ejes de salida mientras incrementan la del contrario para compensarlo. Esto permite no solo adaptar la velocidad y el par transmitido al motor según los requerimientos de la carga, si no también adaptarse de manera autónoma al comportamiento independiente de las ruedas en el momento de giro. Se evita así la instalación de un sistema complejo de engranajes como una caja de cambios o un engranaje planetario.

Parámetros Motorreductor LDM22-355-800	
Tensión nominal	DC 48V
Potencia nominal	800W
Relación de transmisión	1:19.75
Velocidad sin carga	150±10% RPM
Par nominal	50 Nm
Eficiencia Motora	85%
Diámetro del motor	Ø90
Ruido [db]	≤60

Tabla 2 – Prestaciones del motor transeje LDM22-355-800 [fuente: Rotonek]

11.2.2 Batería

Para la alimentación del equipo se ha decidido seleccionar una batería de tipo LiFePO₄, es decir, una pila recargable de ion-litio con un cátodo de fosfato de hierro-litio. Estos equipos no requieren de mantenimiento y son menos dañinas con el ecosistema en comparación con la de plomo o litio convencionales.



Figura 19 – Batería eléctrica seleccionada tipo LiFePO [Fuente: CAPA Energy]

Se selecciona un equipo de 48 V y 25 Ah, los cuales proporcionan una autonomía al carro de más de dos horas en plena operación (carga máxima), estimando que el tiempo real de autonomía se encuentra en 4 horas.

Considerando que el trayecto de ida y vuelta al pozo establece un recorrido de 4 km y que la velocidad de trayecto es 6 km/h, el carro será capaz de realizar 6 suministros de agua sin requerir un cambio de batería. Además, gracias a la energía que proviene de las placas fotovoltaicas en el poblado, se estima un tiempo de carga de las baterías de dos horas y media.

11.2.3 Sistema de variación de velocidad

Para realizar la tarea de modular la velocidad, se ha dispuesto un variador de potencia tipo “vehículo de movilidad personal” (tales como patinetes o bicicletas eléctricas). Este equipo consta de un acelerador de pulgar, una pantalla LCD y un sistema de control. Se muestra en la *Figura 20* la disposición de parte del equipo sobre la estructura.



Figura 20 – Pantalla y acelerador seleccionado (izq.) y modelo CAD sobre el carro (dcha.) [fuente propia]

11.2.4 Ruedas

Debido a las condiciones del terreno desértico e irregular, se ha determinado que las ruedas neumáticas son la opción más adecuada. Estas ruedas ofrecen una mayor superficie de contacto con el suelo gracias al revestimiento de caucho y la cámara de aire interna. Esto proporciona una mejor tracción, estabilidad y absorción de impactos.

Se han seleccionado ruedas pivotantes neumáticas para las ruedas traseras, las encargadas de pivotar y permitir el giro del carro. Por otro lado, se han escogido ruedas de acople en los ejes para las delanteras.

Concretamente, se ha seleccionado la *Rueda Neumática 688* de *NOVODINÁMICA* [9], adecuada para superficies irregulares y con una resistencia suficiente frente a la carga presentada. Para las ruedas traseras, se han seleccionado las ruedas pivotantes neumáticas de la *Serie WL* de *RUEDAS ALEX* [10], específicamente el modelo *WL-RIP 4-0904*, que cuenta con un freno pedal incorporado que proporciona así el elemento que mantiene el carro estático cuando se encuentra fuera operación.



Figura 21 – Rueda trasera WL-RIP 4-0904 (izq.) y rueda delantera Neumática 688 (dcha.) [RUEDASALEX-NOVODINÁMICA]

Una expuestas todas las selecciones, se muestra en la siguiente tabla el conjunto de los elementos que conforman el equipo de propulsión:

EQUIPO DE PROPULSIÓN – CARRO MOTORIZADO			
ELEMENTO	PROVEEDOR	MODELO	CARACTERÍSTICAS
MOTOR ELÉCTRICO	<i>RotonTek</i>	LDM22-355-800	<ul style="list-style-type: none"> • DC • 48 V • 800W • 50 Nm
BATERÍA	<i>CAPAEnergy</i>	Batería LiFePO 10217	<ul style="list-style-type: none"> • 48 V • 25 Ah • 1200 Wh
PANTALLA LCD	<i>NIMOMO</i>	PANTALLA LCD S900	-
ACELERADOR DE PULGAR	<i>BEWINNER</i>	Acelerador 300X	-
SISTEMA DE CONTROL	<i>NIKOU</i>	B08FTBSHKX	<ul style="list-style-type: none"> • 48 V • 350W
RUEDAS DELANTERAS	<i>NOVODINÁMICA</i>	RUEDA NEUMÁTICA 688	• Carga máx.: 110 kg
RUEDAS TRASERAS	<i>RUEDASALEX</i>	<i>WL-RIP 4-0904</i>	• Carga máx.: 175 kg

Tabla 3 – Componentes del Equipo de Propulsión del carro motorizado (fuente propia)

11.3 Montaje

Se ha realizado un estudio detallado (*ANEXO D*) de las especificaciones técnicas y consideraciones relevantes para el montaje del carro motorizado. El enfoque principal se centra en las uniones de las diferentes estructuras y elementos del vehículo, destacando la importancia de la calidad y durabilidad de estas uniones para el correcto funcionamiento del carro.

En primer lugar, se abordan las uniones soldadas, las cuales desempeñan un papel crucial en la integridad estructural del vehículo. Se utiliza la soldadura tipo TIG (*tungsten inert gas*) para unir las diferentes piezas de la estructura del carro fabricadas con *Aluminio 6063-T4*. Se explican los detalles del proceso de soldadura TIG y se destacan sus ventajas, como la alta calidad de las uniones y la posibilidad de realizar la conexión sin material de aporte adicional. También se mencionan las desventajas, como la necesidad de habilidades especializadas y el mayor costo de mano de obra.

En este último anexo se describen las especificaciones de cada unión soldada, por ejemplo, la conexión entre la chapa de aluminio y el chasis del carro. Se expone que esta unión proporciona mayor integridad y resistencia en comparación con otros tipos de unión y se detalla el proceso de soldadura a solape utilizado. Se realiza una propuesta de las características del proceso como el ancho del cordón de soldadura y el uso de argón como gas protector.

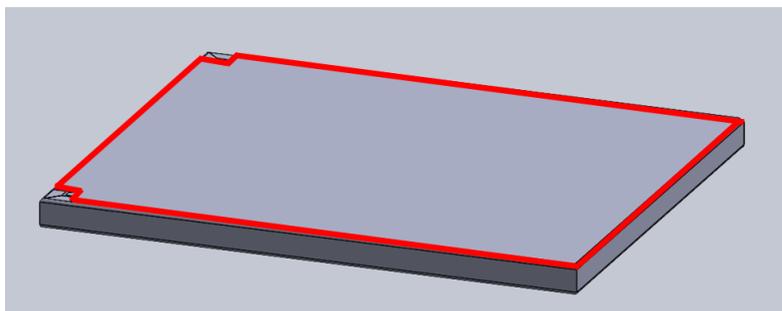


Figura 22 – Superficie del cordón de soldadura TIG para la unión CHAPA-CHASIS [fuente propia]

Se presentan también las uniones atornilladas utilizadas en el desarrollo del carro. Todas ellas han sido estudiadas y diseñadas específicamente para su conexión, como es el caso entre el motor y el chasis. Se detallan los tipos de tornillos utilizados, su diámetro y calidad, así como las consideraciones de diseño y montaje para cada unión.

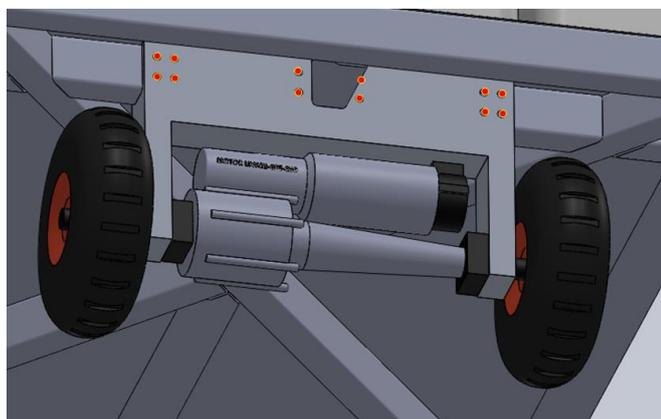


Figura 23 – Modelo CAD de la distribución de las uniones atornilladas MOTOR-CHASIS [fuente propia]

De esta manera, se seleccionaron los elementos de unión de manera específica para cada sección del carro. Se muestran las selecciones en la siguiente tabla:

UNIONES ATORNILLADAS SELECCIONADAS			
UNIÓN	nº de tornillos	Tipo de tornillo	Proveedor
RUEDA TRASERA - CHASIS	4x2 (8)	Tornillo M10, calidad 8.8, L=20 mm	Rodavigo
MOTOR - CHASIS	12	Tornillo M10, calidad 8.8, L=75 mm	RS
	12	Tuerca autoblocante, M10, DIN 985	WÜRTH
BARRERA - ANCLAJE	6	Tornillo pasador M5, calidad 4.6, L=30 mm	RS
BATERÍA - CHASIS	12	Tornillo M10, calidad 4.6, L=20	RS
PLACA DE IDENTIFICACIÓN	4	Tornillo autorroscante M3, L=15 mm	RS

Tabla 4 – Selección de los elementos en las uniones atornilladas [fuente propia]

El montaje de otros elementos, como el sistema de control de velocidad y las ruedas delanteras, no requiere de mecanizado y se explica el proceso de instalación de estos elementos y del conjunto total en el ANEXO D.

11.4 Modelo Final

Se presenta a continuación el producto final del carro, una vez realizadas todas las selecciones y comprobaciones. El carro dispone de unas dimensiones totales de 1 metro de alto, 0.940 m de ancho y 1.35 m de largo, constituyendo un equipo de aproximadamente 47.5 kg. La base proporciona una superficie útil de 9900 cm² capaz de transportar 320 kg carga máxima. Para asegurar la carga de transporte y facilitar su cómoda distribución, el equipo cuenta con tres barreras desmontables en función de las necesidades.

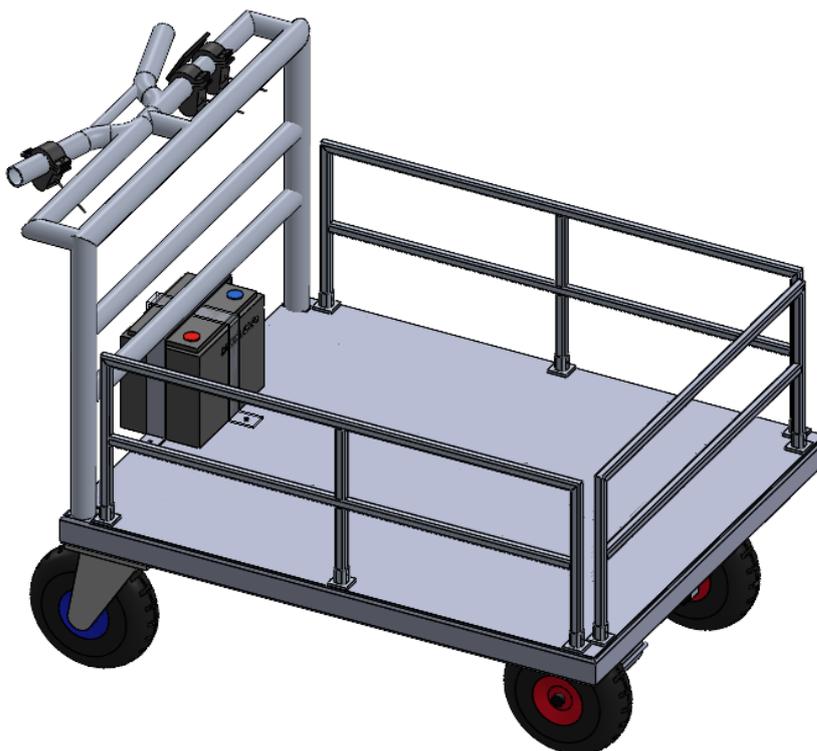


Figura 24 – Modelo CAD del carro motorizado [fuente propia]

El carro contiene un equipo de propulsión que facilita el trabajo del operario a través de un motor eléctrico de 800 W que tracciona las ruedas delanteras. Se dispone de una autonomía de hasta 4 horas gracias a una batería de 48 V y 25 Ah. Mediante este equipo y las ruedas neumáticas seleccionadas es posible alcanzar una velocidad máxima de 6 km/h sobre terrenos arenosos e irregulares. Son las ruedas traseras pivotantes las encargadas de realizar el giro de manera sencilla y gracias a la instalación de un motorreductor el sistema no requiere de un complejo sistema de engranajes.



Figura 25 – Modelo CAD del carro motorizado - vista 2 [fuente propia]

El control del carro se realiza a través de las múltiples barras de “empuje” dispuestas en la parte trasera del vehículo. Sobre estas se disponen unos mandos adaptables al gusto del operario que permiten un manejo sencillo e intuitivo del carro.



Figura 26 – Detalle del modelo CAD de la placa de identificación [fuente propia]

En la parte trasera del carro (en el borde derecho) se dispone una placa identificativa de 60x80 mm con las características generales de la máquina, según establece la normativa [35]. Toda la información acerca de los datos relevantes al equipo se inscribe tanto en español como en el idioma oficial de Senegal (francés).

12 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Se ha realizado un estudio del presupuesto de fabricación del carro con la intención de estimar la inversión financiera necesaria para materializar el vehículo. Para ello, se han dividido los costes en tres capítulos: *Equipo de Propulsión*, *Estructura y piezas* y *Uniones Atornilladas*.

PRESUPUESTO TOTAL - CARRO MOTORIZADO	
SUB-TOTAL EQUIPO PROPULSIÓN [€]	2877.95
SUB-TOTAL ESTRUCTURA [€]	1394.99
SUB-TOTAL UNIONES ATORNILLADAS [€]	108.24
PRECIO TOTAL CARRO [€]	4381.18

Tabla 5 – Presupuesto general del carro [fuente propia]

Como se observa en la tabla, el coste de fabricación del carro asciende a 4381.18 €. En el documento *PRESUPUESTO* se desglosa detalladamente cada bloque. El coste de los equipos, así como de las uniones, se ha estimado considerando los precios de producción y envío que los fabricantes muestran en sus catálogos y sitios web. Para estimar la fabricación (materiales, mecanizado y mano de obra) de las piezas y estructura del vehículo se ha utilizado el software de CAD *SolidWorks*. El programa dispone de una herramienta especializada para la realización de partidas.

El valor obtenido representa únicamente el coste de producción del carro, estableciendo España como lugar de fabricación. La puesta en marcha en *Sare Bala* requiere de una inversión financiera y logística mayor, considerando la complejidad en el acceso al lugar.

13 CONCLUSIONES

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado se ha abordado el proceso de desarrollo de un carro motorizado adaptado a las condiciones y necesidades de la aldea senegalesa *Sare Bala*. El enfoque principal del proyecto ha sido el diseño del vehículo, centrándose en la utilidad y practicidad de su estructura y equipos. Además, se ha realizado también el diseño de planos con el fin de facilitar información útil para su producción.

No obstante, en el documento básico de *PRESUPUESTO* se expone la complejidad de la puesta en marcha y fabricación en el poblado en Senegal. Es destacable la necesidad de realizar un estudio de viabilidad y logística en el futuro que sienten las bases para un desarrollo real del proyecto. Por otro lado, sería interesante tener la posibilidad económica y material de realizar un prototipo previo a la implementación en su lugar de operación.

El éxito del vehículo diseñado depende directamente de la financiación por parte de una entidad u organismo interesado en materializar y hacer realidad este proyecto en beneficio de la comunidad de *Sare Bala*.

En resumen, este proyecto ha realizado la parte técnica de diseño y selección de un vehículo con fines de ayuda humanitaria. Su implementación requiere de un estudio más detallado validación, viabilidad, logística y financiación.

14 CONCLUSIONS

Throughout this Bachelor's Thesis, the development process of a motorized cart adapted to the conditions and needs of the Senegalese village of *Sare Bala* has been addressed. The main focus of the project has been the design of the vehicle, focusing on the utility and practicality of its structure and equipment. In addition, the design of plans has also been carried out in order to provide useful information for its production.

However, the basic document “*PRESUPUESTO*” exposes the complexity of commissioning and manufacturing in the village in Senegal. The need to carry out a feasibility and logistics study in the future that lays the foundations for a real development of the project is remarkable. On the other hand, it would be interesting to have the economic and material possibility of making a prototype prior to implementation in its place of operation. The success of the designed vehicle depends directly on the financing from an entity interested in materializing and making this project a reality for the benefit of the *Sare Bala* community.

In short, this project has carried out the technical part of designing and selecting a vehicle for humanitarian aid purposes. Its implementation requires a more detailed validation, feasibility, logistics and financing study.

15 REFERENCIAS

- [1] “The noble ancestry of the wheelbarrow,” The Telegraph, <https://www.telegraph.co.uk/gardening/3295271/The-noble-ancestry-of-the-wheelbarrow.html> (accessed May 19, 2023).
- [2] “Marco de Asociación País España – Senegal” (2019-2023). Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo, 2018
- [3] “Programa Mundial de Alimentos de 2014”. PMA, 2014.
- [4] Asamblea General. “Resolución 64/292: El derecho humano al agua y el saneamiento”. Organización de las Naciones Unidas, 2010

-
- [5] Organización Mundial de la Salud. "Agua para consumo humano". OMS, 2022
- [6] Asamblea General. "La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible". Organización de las Naciones Unidas, 2015
- [7] Organización Mundial de la Salud. "Agua para consumo humano". OMS, 2022
- [8] "Electric transaxles," Rotontek, <https://rotontek.com/electric-transaxles/> (accessed jun. 26, 2023).
- [9] "Novodin - Ruedas neumáticas," Novodinámica S.L.U. - Equipos para
manutención y almacenaje,
<http://www.novodinamica.com/es/catalog/prod.asp?cat=27&sec=90&prod=899>
(accessed May 22, 2023).
- [10] "Ruedas Neumáticas Serie WL-Rip," ALEX, <https://www.alex.es/productos/0-ruedas-neumaticas/0-serie-wl-rip> (accessed jun. 9, 2023).
- [11] Norma UNE-EN 1757, de enero de 2023, sobre Seguridad de las carretillas de manutención. Carretillas de manutención plataforma de propulsión manual con operador a pie.
- [12] Prontuario básico de estructuras simples. - UA – Caminos, 4o: Obras de Hormigón (no date).
- [13] "Perfiles NBE EA-95" - University of A Coruña, http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/perfiles_ea_95.pdf (accessed Apr. 12, 2023).
- [14] Alu-stock, S.A. - ALUMINIO PARA LA INDUSTRIA. Available at: <https://www.alu-stock.es/multimedia/descargas/13/Cap10-el-aluminio.pdf> (Accessed: 6 May 2023).
- [15] S. S. Rao *et al.*, *Vibraciones Mecánicas*. México: Pearson educación México, 2012.
- [16] Ruiz, C.M. and Díaz, B.E. (2002) *Mecánica de Estructuras*. Barcelona: Edicions UPC.
- [17] Carga Física: Factores de Riesgo Ergonómico y sus medidas ... - CROEM, <https://portal.croem.es/prevergo/formativo/3.pdf> (accessed Apr. 11, 2023).
- [18] TCH (2022) *Carros para entornos de trabajo industrial y Técnico*, TCH. Available at: <https://www.tch.es/carros-para-entornos-de-trabajo-industrial-y-tecnico/> (Accessed: 10 April 2023).
- [19] Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

- [20] Rankings - mean height > height > data Visualisations > NCD (no date) *RISC*. Available at: <https://ncdrisc.org/height-mean-ranking.html> (Accessed: 17 May 2023).
- [21] Y.M.G. (2023) *Conceptos clave - manillar de bicicleta, El blog de Tuvalum*. Available at: <https://tuvalum.com/blog/elegir-manillar-bicicleta-carretera> (Accessed: 11 April 2023).
- [22] “Altivar machine ATV320,” Schneider Electric España, <https://www.se.com/es/es/product-range/63440-altivar-machine-atv320/?parent-subcategory-id=2905&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial> (accessed jun. 15, 2023).
- [23] C. Julián, “Fricción” Fisimat, https://www.fisimat.com.mx/friccion-ejercicios-resueltos/#%C2%BFQu%C3%A9_es_la_Fricci%C3%B3n (accessed jun. 10, 2023).
- [24] “Tabla de factores de fricción de diferentes materiales,” Tabla de factores de fricción de diferentes materiales | Ayuda en línea, <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/tabla-de-factores-de-friccion-de-diferentes-materiales-01/> (accessed jun. 10, 2023).
- [25] S. S. Rao *et al.*, *Vibraciones Mecánicas*. México: Pearson educación México, 2012.
- [26] Directiva del Consejo de 22 de diciembre de 1986, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros en materia de crédito al consumo
- [27] “Motores Eléctricos,” Roydisa, <https://www.roydisa.es/motores-electricos> (accessed jun. 10, 2023).
- [28] P. F. Pereira, *Manual de Acústica, Ruido y Vibraciones: Fundamentos Básicos y Sistemas de Control*. Barcelona: L'autor, 1990.
- [29] “BATERÍA DE LITIO POWERBRICK,” CAPA ENERGY, <https://www.capaenergy.com/es/de-litio-baterias-solares/228-bateria-de-litio-powerbrick-48v-25ah.html> (accessed jun. 26, 2023).
- [30] “Nimomo controlador de Motor Sin Escobillas, controlador de DE 36V/48v, conjunto de panel de Pantalla LCD S900,” Amazon.es: Deportes y aire libre, <https://acortar.link/5IUrc9> (accessed jun. 16, 2023).
- [31] Giachino, J.W. and Weeks, W. (2009) *Técnica y Práctica de la Soldadura*. Barcelona: Reverté.

-
- [32] DIN Standards - DIN. Available at: <https://www.din.de/en/about-standards/din-standards> (Accessed: 07 May 2023).
- [33] “Artículos Normalizados DIN” WÜRTH at: <https://www.wurth.es/catalogo/normalizado-din> (Accessed: 12 May 2023).
- [34] “*Tornillos y Pernos*” *Piezas y accesorios RS* Available at: <https://es.rs-online.com/web/c/tornilleria-y-fijaciones/tornillos-y-pernos/> (Accessed: 08 May 2023).
- [35] DIRECTIVA 2006/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de mayo de 2006 relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE
- [36] “Consejerías de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social” Salario mínimo. Ministerio de Trabajo y Economía Social, <https://www.mites.gob.es/es/mundo/consejerias/senegal/index.htm> (accessed jul. 12, 2023).

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

ANEXO A – ESTUDIO Y DISEÑO DEL CHASIS

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:

ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE ANEXO A – ESTUDIO Y DISEÑO DEL CHASIS

1	DIMENSIONADO Y DISEÑO DE LA SUPERFICIE.....	2
1.1	Determinación de las dimensiones de la base	2
1.2	Diseño inicial de la estructura	3
1.2.1	Configuración de barras secundarias rectas:	4
1.2.2	Configuración de barras secundarias en diagonal:	4
1.3	Análisis de los diseños.....	5
1.4	Selección configuración del chasis	6
2	ANÁLISIS ESTÁTICO DE CARGAS:	7
2.1	Consideraciones para el estudio.....	7
2.2	Determinación de la carga	8
2.3	Estudio estático en la barra mayor.	9
2.4	Selección de un perfil.....	10
2.5	Selección del material.....	11
3	COMPROBACIONES FINALES	14
3.1.1	Análisis estático I	14
3.1.2	Análisis estático II	15
3.2	Simulación en software	16
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	18
4.1	Resultado de la simulación	18
4.2	Diferencia con datos esperados	18
5	SIMULACIONES ADICIONALES.....	19
5.1	Comprobación de la base con placa.....	20
5.2	Carga máxima con peso de equipo de baterías	21
5.3	Transporte de mitad de la carga	23
5.4	Distribución irregular	24
6	PROPUESTA FINAL	25

1 DIMENSIONADO Y DISEÑO DE LA SUPERFICIE.

Este primer Anexo de este documento tiene como objetivo diseñar al completo la estructura base o “chasis” del carro motorizado. A lo largo del documento se detallarán los aspectos involucrados en la selección de las dimensiones, configuración, material y otros elementos relevantes.

Se proporcionarán especificaciones técnicas, así como cálculos y simulaciones para analizar y seleccionar la configuración que mejor cumpla con los criterios de resistencia.

1.1 Determinación de las dimensiones de la base

Para dimensionar adecuadamente la estructura del chasis del carro motorizado, es necesario tener en cuenta el caso de carga más exigente en el que el vehículo operará, es decir, la carga nominal. Según lo establecido en la *Norma UNE-EN 1757:2023* [11], la carga nominal se define como la capacidad máxima de carga que la carretilla puede soportar de manera segura.

En este contexto, se considerará que la carga nominal consiste en transportar 16 bidones de agua. Estos bidones son utilizados en el poblado senegalés y han sido proporcionados por la ONG de *Sare Bala*. Se muestran en la siguiente figura las dimensiones correspondientes al recipiente.

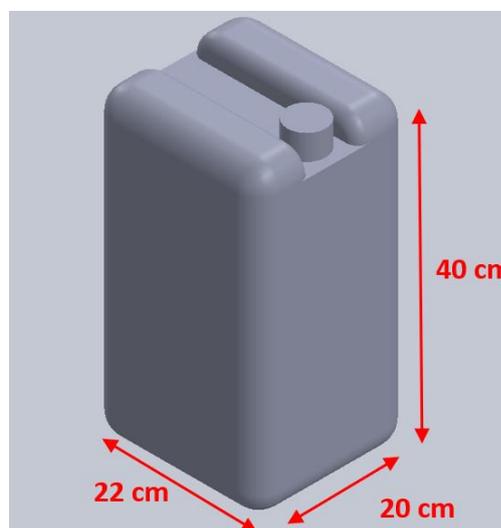


Figura A.1 – Dimensiones bidón de agua [fuente propia]

De esta manera, estableciendo un espacio mínimo de 20 milímetros entre cada bidón, se determina que las dimensiones mínimas de la base del chasis del carro motorizado serán de 98 centímetros de largo y 90 centímetros de ancho. Estas dimensiones garantizan que los 16 bidones de agua puedan ser acomodados de manera segura y estable, evitando cualquier riesgo de desplazamiento o daño durante el transporte.

Para disponer de mayor holgura para transportar la carga en la cesta del carro y dar la posibilidad de transportar cargas mayores, se propone una superficie de base de la cesta de 90x110cm (*Figura A.2*). Este tamaño definirá también el diseño de la estructura inferior del carro que trabajará a modo de “chasis” del vehículo.

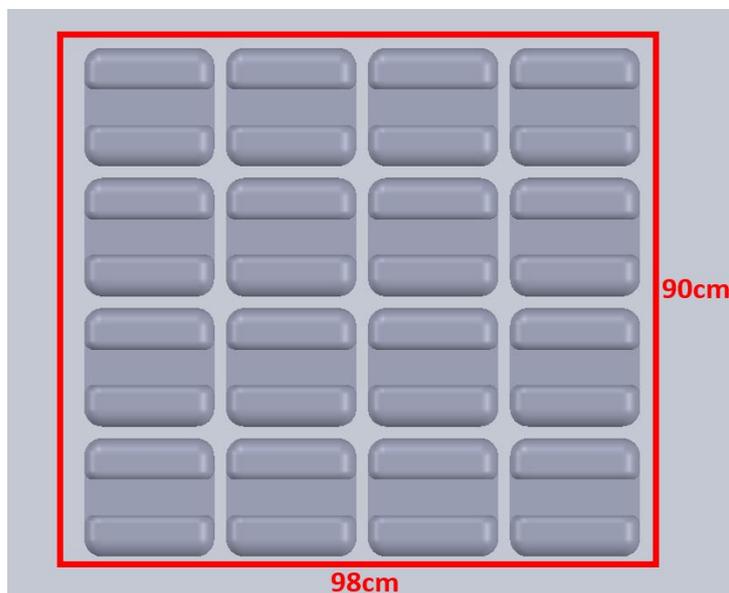


Figura A.2 – Dimensión mínima de la base del soporte [fuente propia]

Las garrafas para transportar el agua tienen una base prácticamente cuadrada (20x22 cm), esto ha ocasionado que el diseño del chasis del carro tenga una disposición no tan común en este tipo de instrumentos. La mayoría de estas “carretillas” disponen de una base rectangular. No obstante, esta disposición otorgará una mayor estabilidad al disponer de un diseño más compacto y maniobrable.

1.2 Diseño inicial de la estructura

El chasis estará compuesto por una estructura de barras que seguirán las siguientes consideraciones:

- Las barras longitudinales se dispondrán espaciadas de manera uniforme para distribuir el peso de manera equitativa.
- Las barras transversales-secundarias se dispondrán de manera que repartan la carga a lo largo de todo el chasis.
- Las barras transversales-secundarias se consideran sujetas de manera firme al marco del chasis.

De esta manera, la configuración que cumple para con el requerimiento de la instalación es un perímetro rectangular de la superficie complementado con barras secundarias para aportar estabilidad y resistencia. Se presentan a continuación dos propuestas consideradas a modo de pre-diseño de la estructura y el correspondiente estudio para determinar cuál es la más adecuada.

1.2.1 Configuración de barras secundarias rectas:

Se propone la configuración de las barras secundarias de manera transversal al ancho de la base junto con una barra central, tal y como se muestra en la siguiente figura.

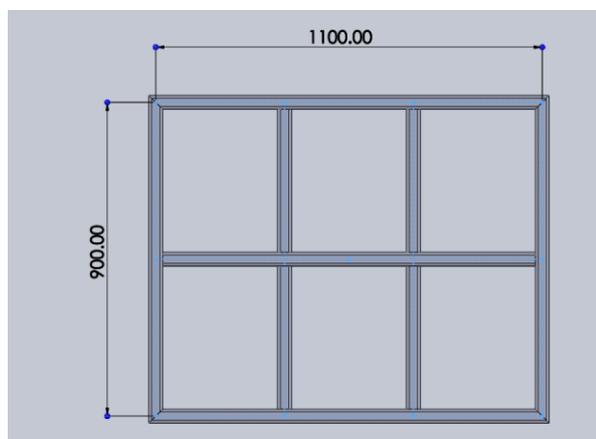


Figura A.3 – Propuesta de diseño – barras rectas [fuente propia]

Si se decidiera utilizar una disposición de este tipo con barras rectas, se considerará relevante evaluar que las barras transversales estén bien espaciadas y colocadas de manera uniforme para distribuir el peso de manera equitativa. Además, si fuera necesario, se podrían agregar refuerzos adicionales, como soportes de esquina o refuerzos en las uniones de las barras para mejorar la resistencia y estabilidad del carro.

1.2.2 Configuración de barras secundarias en diagonal:

Por otro lado, en este caso las barras secundarias se han dispuesto de extremo a extremo diagonalmente. Se complementa con una barra central que ayuda a distribuir el peso de manera homogénea en toda la estructura, aumentando así la estabilidad.

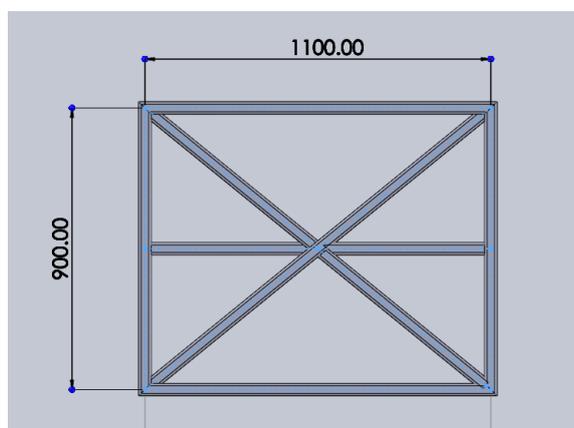


Figura A.4 – Propuesta de diseño – barras diagonales [fuente propia]

1.3 Análisis de los diseños

Se realiza en el software CAD de modelado mecánico *SolidWorks* una comprobación simple a modo de comparativa de comportamientos. Se supone sobre ambas estructuras una carga uniformemente distribuida de 320 kg y se consideran apoyos fijos cada extremo de la estructura. En este ensayo, se pretende estudiar el comportamiento del chasis en función de la disposición de sus barras. Es por ello que se considerarán para ambos diseños el mismo material y perfil.

Para corroborar que el ensayo se realiza de manera correcta, y que el comportamiento depende únicamente de la disposición de las barras, se realizará el ensayo 4 veces variando materiales y perfiles.

Material	Perfil	Barras Rectas		Barras Diagonales	
		Desplaz. máx. [mm]	Tensión máx. [N/m ²]	Desplaz. máx. [mm]	Tensión máx. [N/m ²]
Acero AISI 4130	Tubería 21.3x2.3	4.829	1.653*10 ⁸	3.56	1.216*10 ⁸
Aluminio 1060 - H14		14.22	1.630*10 ⁸	10.52	1.197*10 ⁸
Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 40x40x4	0.314	1.879*10 ⁷	0.232	1.405*10 ⁷
Aleación Aluminio 1345		0.826	1.77*10 ⁷	0.6316	1.319*10 ⁷

Tabla de Resultados A.1 – Estudio estático según disposición de barras [fuente propia]

Tras la realización de los estudios estáticos, se aprecia en la tabla de resultados que en todos los estudios realizados la disposición de barras diagonales proporciona una estructura más estable. Los resultados de tensión máxima se reducen aproximadamente un 26 % al disponer el segundo diseño. Se observa en las siguientes figuras uno de los análisis realizados.

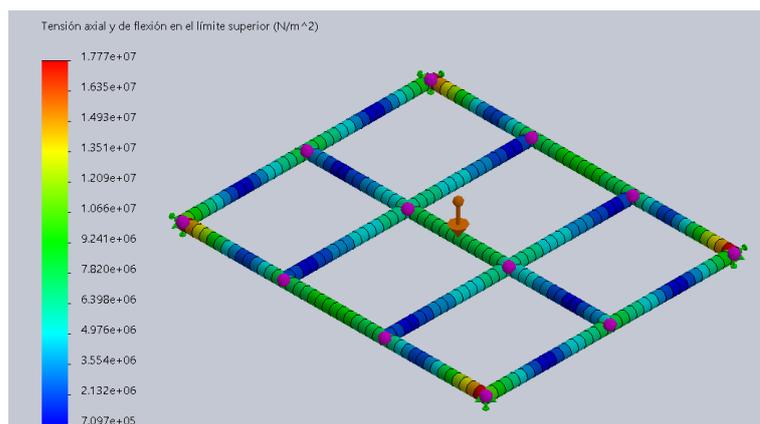


Figura A.5 – Resultado de las tensiones - Disposición barras rectas [fuente propia]

Otro resultado remarcable es la distribución de los esfuerzos. Aunque ambas configuraciones alcanzan su máximo en los apoyos, en la disposición diagonal las variaciones de tensiones son menores. Un reparto de esfuerzos más uniforme evitará puntos de tensión o sobrecarga.

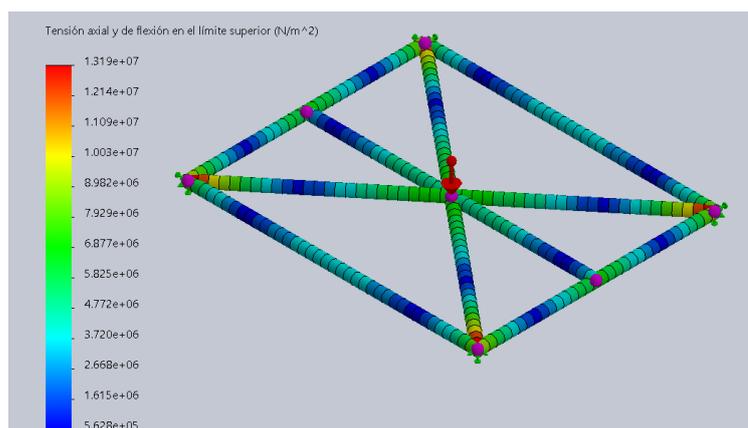


Figura A.6 – Resultado de las tensiones - Disposición barras diagonales [fuente propia]

Por otro lado, en los resultados de deformación se observa que, a pesar de darse comportamientos similares y del mismo orden de magnitud, al usar barras diagonales se obtienen valores inferiores. Los dos presentan el punto de máxima deflexión (curvatura o máxima deformación) en el centro de la estructura debido a la simetría en el diseño

1.4 Selección configuración del chasis

Mediante el estudio realizado, se confirma que la disposición en diagonal proporcionará una base más estable y rígida para soportar la carga a transportar. Reducir la deflexión de la estructura ayudará a prevenir problemas en la operación del carro, así como fallos en la estructura. Además, una distribución uniforme de los esfuerzos puede ayudar a prolongar la vida útil de la estructura del chasis. Esto se debe a que reduce la probabilidad de fatiga del material empleado. Por otro lado, se reducen así los costes de mantenimiento al minimizar los daños y las reparaciones.

A modo de corroborar los resultados, se ha incluido el estudio del comportamiento de la estructura al soportar una carga uniformemente distribuida, únicamente en la mitad de la superficie. Habiendo demostrado que al considerar el mismo material y perfil el resultado depende únicamente de la distribución de las barras, se ha realizado una única vez este ensayo.

Esta simulación corresponde a la situación en la que la mitad de los bidones ya han sido transportados a su lugar correspondiente y la carga, a pesar de ser inferior, se encuentra concentrada en un sector.

Deformación Máx. [mm]		
Barras Rectas	Barras Diagonales	Diferencia %
2.865	1.876	34.5 %

Tabla de Resultados A.2 – Comparación resultados de las deformaciones [fuente propia]

Como se observa en la *Figura A.7*, en este supuesto la diferencia en los valores de desplazamiento máximo es incluso más notable. Se obtiene con el diseño en diagonal un valor inferior en un casi 35 %. Esto confirma cual es la distribución de barras más adecuada.

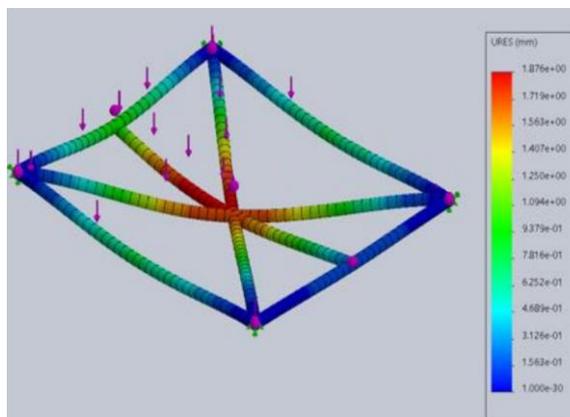


Figura A.7 – Resultado de las deformaciones – Estudio a mitad de carga [fuente propia]

2 ANÁLISIS ESTÁTICO DE CARGAS:

Habiendo decidido la configuración de las barras de la estructura del chasis del carro, se procede a comenzar un nuevo estudio que determinará las otras características de la estructura (perfil y material).

Se comienza con un análisis estático cuantitativo. Para ello, se considera el caso más solicitado (16 bidones de 20 litros) sobre la base del soporte. De esta manera, se podrán calcular las características que definirán qué tipo de barras es más adecuado para los requerimientos de la instalación. Posteriormente, se seleccionará el material que mejor operará.

Finalmente, habiendo definido los parámetros de diseño, se procederá a realizar diversas simulaciones a modo de comprobación en distintas situaciones de operación.

2.1 Consideraciones para el estudio

Para el estudio y diseño de la estructura principal (chasis del carro) se tomarán distintas consideraciones:

1. Se considera la fuerza ejercida por los bidones como una carga uniformemente distribuida a lo largo de toda la superficie de apoyo.
2. La unión – apoyo entre la estructura del chasis y las ruedas del carro se toman como apoyos fijos.
3. La unión entre la placa y los perfiles se considera una unión rígida (unión soldada)

2.2 Determinación de la carga

Se comenzará realizando un cálculo simple para conocer la carga actuante sobre la estructura de barras. Tal y como se ha indicado previamente, el número máximo de bidones de 20 litros a transportar es de 16 unidades. De esta manera podemos considerar como carga máxima sobre la estructura:

$$F_{m\acute{a}x} = n^{\circ} \text{ de bidones} \cdot \text{capacidad}_{m^3} \cdot \rho_{a,gua} \quad (\text{ec.1})$$

Siendo:

- $\rho_{a,gua}$ la densidad del agua que se tomará $997 \frac{kg}{m^3}$
- capacidad_{m^3} la capacidad de los bidones en m^3

$$F_{m\acute{a}x} = 16 \cdot 0.02 \cdot 997 = 319.04 \text{ kgf}$$

$$F_{m\acute{a}x} = 319.04 \cdot 9.81 = \mathbf{3129.78 \text{ N}}$$

La longitud total de barras en esta estructura es de 7.94 metros. Como se muestra a continuación, este valor se obtiene de la suma de la longitud de cada barra. Para obtener la longitud de las barras diagonales se realiza un simple cálculo trigonométrico conocidos sus lados.

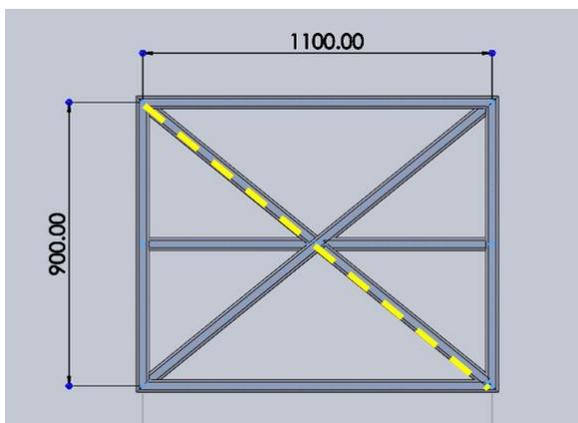


Figura A.8 – Dimensión barra diagonal [fuente propia]

$$L_{bar} \quad L_{barra} = \sqrt{0.9^2 + 1.1^2} = \mathbf{1.42 \text{ m}}$$

Realizando el sumatorio de las longitudes de cada barra:

$$L_{total} = 3 \cdot 1.1 \text{ m} + 2 \cdot 0.9 \text{ m} + 2 \cdot 1.42 \text{ m} = \mathbf{7.94 \text{ m}}$$

Por lo tanto, podemos considerar una carga distribuida sobre las barras igual a:

$$q_{m\acute{a}x} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{L_{total}} = \frac{\mathbf{3129.78}}{\mathbf{7.94}} = \mathbf{394.18 \text{ N/m}}$$

Para garantizar la integridad y confiabilidad en el diseño, se implementa un coeficiente de seguridad de 1.5. Por lo tanto, la carga máxima que se utilizará en el cálculo será:

$$q_{calc} = 394.18 \cdot 1.5 = 591.26 \text{ N/m}$$

2.3 Estudio estático en la barra mayor.

Para realizar un primer estudio simple y general de las solicitaciones de la estructura, y poder tener una base sobre la que sustentar las decisiones de diseño, se realiza el estudio estático de la barra de mayor longitud.

En dicha barra se darán los esfuerzos de mayor envergadura y el punto de máxima deflexión de la estructura. Si se consideran los extremos de la estructura como apoyos rígidos, y eludiendo el efecto de la intersección de la barra central, el tramo de mayor longitud es el de la barra diagonal.

De esta manera, se establece que la barra funciona como una “viga” simple apoyada con una carga uniforme en todo el vano. La carga corresponde con la determinada previamente, la cual es la máxima que tendrá que soportar la barra.

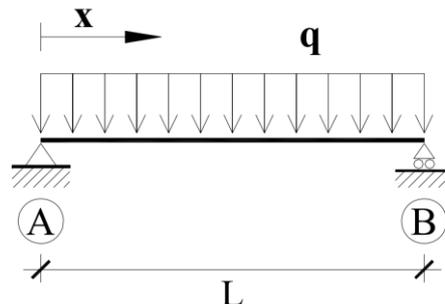


Figura A.9– VIGA SIMPLE APOYADA-EMPOTRADA: carga uniforme en todo el vano [Prontuario B. de Estructuras]

$$q_{calc} = 591.26 \text{ N/m}$$

$$L_{barra} = 1.42 \text{ m}$$

Se ha utilizado un *Prontuario Básico de Estructuras Simples* [12] para el estudio del comportamiento de la barra. Según el documento, las ecuaciones que determinan las solicitaciones de la estructura estudiada son las siguientes:

$$\text{- Momento máximo} \quad M_{m\acute{a}x} = \frac{qL^2}{8} \quad (\text{ec.2})$$

$$\text{- Deflexión máxima} \quad y_{m\acute{a}x} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (\text{ec.3})$$

2.4 Selección de un perfil

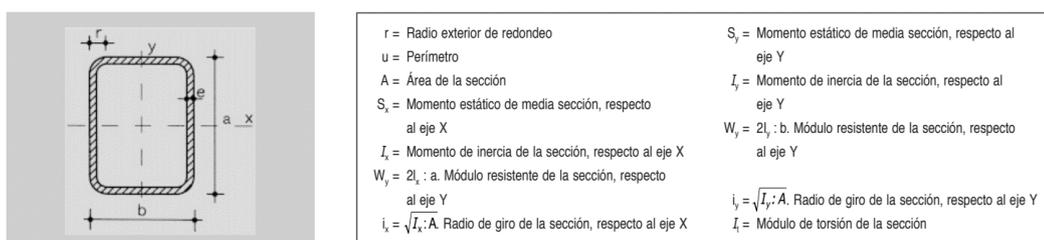
Ya que los esfuerzos que soportará la estructura serán prácticamente en su totalidad esfuerzos de flexión, se propone el uso de perfiles huecos. Estos disminuirán el peso de la estructura frente a perfiles macizos. Además, dichos perfiles normalizados son más flexibles y se pueden moldear para adaptarse a diferentes formas y tamaños. Esto facilita el proceso de diseño y fabricación del chasis del carro.

Entre los principales perfiles huecos podemos distinguir circulares, cuadrados y rectangulares. Por un lado, algo de lo que carecen los circulares, es de caras planas. Sobre ellas se puede realizar la conexión con otros componentes estructurales. Esto es de gran utilidad ya que reduce la necesidad de piezas adicionales.

Por otro lado, una de las características del perfil que determinan la resistencia de la estructura cuando trabajan a flexión, es el valor de su inercia máxima. Dicha resistencia depende directamente de la inercia del eje en el que las fuerzas son aplicadas, es decir, su sección transversal. Conforme aumente esta sección, resistirá de mejor manera las tensiones y deformaciones generadas por los momentos flectores.

Tanto los perfiles cuadrados como los circulares, al ser simétricos, están distribuidos uniformemente alrededor del eje de flexión, lo que resulta en una menor inercia en comparación con un perfil rectangular. El rectangular tiene una mayor inercia ya que gran parte del material se encuentra alejado del eje de flexión, proporcionando así una mayor resistencia.

De esta manera, la propuesta más interesante es el perfil de tipo rectangular. Disponiendo el lado mayor en posición vertical, este soportará los esfuerzos generados por la carga. Mientras, el menor, se utilizará para soportar la placa de la cesta de transporte y la unión de otros accesorios. Se muestra a continuación un prontuario de perfiles de tipo rectangular [13] con sus correspondientes características.



Perfil	Dimensiones					Términos de sección										
	a mm	b mm	e mm	r mm	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	S _y cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	
× 60. 40.2	60	40	2	5	191	3,70	3,70	18,1	6,03	2,21	2,80	9,69	4,85	1,62	20,7	
× 60. 40.3	60	40	3	8	187	5,33	5,18	24,7	8,23	2,15	3,91	13,10	6,56	1,57	29,2	
× 60. 40.4	60	40	4	10	183	6,81	6,42	29,7	9,91	2,09	4,84	15,70	7,86	1,52	36,1	
× 70. 40.2	70	40	2	5	211	4,10	4,67	26,4	7,55	2,54	3,18	11,10	5,57	1,65	25,8	
× 70. 40.3	70	40	3	8	207	5,93	6,59	36,4	10,40	2,48	4,47	15,20	7,59	1,60	36,4	
× 70. 40.4	70	40	4	10	203	7,61	8,23	44,3	12,60	2,41	5,56	18,30	9,16	1,55	45,3	
× 70. 50.2	70	50	2	5	231	4,50	5,35	31,1	8,87	2,63	4,26	18,50	7,42	2,03	37,5	

Figura A.10 – Tabla de perfiles huecos cuadrados [NBE EA-95]

Se selecciona el perfil 60x40x3.2 ya que proporciona unos valores grandes de inercia que disminuyen los esfuerzos que se generen debido a los momentos flectores. Además, posee unas dimensiones adecuadas en relación con las de la instalación. Según lo establecido en la mayoría de los proveedores, es un perfil común en fabricación. En la siguiente figura se presentan las características del perfil de manera clara:

RHS 60x40x3.2

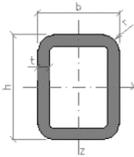
Dimensiones		Propiedades del perfil	
		Eje y	Eje z
h = 60 mm		$I_y = 2.78E+5 \text{ mm}^4$	$I_z = 1.46E+5 \text{ mm}^4$
b = 40 mm		$W_{y,el} = 9270 \text{ mm}^3$	$W_{z,el} = 7290 \text{ mm}^3$
t = 3.2 mm		$W_{y,pl} = 1.15E+4 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 8640 \text{ mm}^3$
r = 4.8 mm		$i_y = 21.8 \text{ mm}$	$i_z = 15.7 \text{ mm}$
A = 588 mm ²		$S_y = 5750 \text{ mm}^3$	$S_z = 4320 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.19 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		Torsión y pandeo local	
G = 4.62 kg.m ⁻¹		$I_t = 3.08E+5 \text{ mm}^4$	$C_t = 1.17E+4 \text{ mm}^3$

Figura A.11 – Características geométricas perfil seleccionado RHS 60x40x3.2 [Statics Tools]

2.5 Selección del material.

Habiendo determinado el tipo de perfil que se utilizará para la construcción de la estructura, se procede a seleccionar el material a emplear mediante el uso de las expresiones mostradas previamente.

Datos perfil \boxplus 60x40x3

– Módulo resistente $W = 9.27 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

– Inercia máxima $I_{m\acute{a}x} = 27.8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$$\sigma_m = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W} = \frac{149.03 \cdot 10^3}{9.27 \cdot 10^3} = 16.08 \text{ MPa} \quad (\text{ec.3})$$

Mediante la ecuación (ec.4) se determina el esfuerzo de flexión de la estructura, expresado en unidades de presión. $M_{m\acute{a}x}$ corresponde con el momento flector máximo aplicado sobre el tramo de estudio, obtenido previamente (ec.2) y W el módulo resistente del perfil en el eje donde se aplican las fuerzas. La fórmula del esfuerzo de flexión proporciona una estimación del esfuerzo máximo experimentado en la sección transversal del material debido a la carga de flexión.

Para este estudio, se aplicará un valor de deflexión máxima admisible de la barra. Este valor debe ser lo suficientemente pequeño como para garantizar la estabilidad y seguridad del carro. Según normativas [11] y recomendaciones de diseño, se considera buena práctica que la deformación que experimente el punto máximo de deflexión sea inferior al 1% de la distancia entre puntos de apoyo.

Siendo la longitud de estudio 1.42 metros (correspondiente con la distancia entre apoyos) y siguiendo dicha recomendación, la deflexión debería ser inferior a 14.2 milímetros. No obstante, se considera que dicho valor es excesivamente grande y que un carro de dichas características no debería sufrir deformaciones tan grandes.

Por lo tanto, se impone una deformación mucho menor, de 2 milímetros, con la intención de garantizar la seguridad de la estructura. De esta manera, habiendo establecido y_{adm} , es posible despejar el Módulo de Elasticidad (E) de la expresión de deformación (ec.3) para determinar un material de fabricación:

$$y_{adm} = 2 \text{ mm} = \frac{5qL^4}{384EI} \longrightarrow E = \frac{5qL^4}{384 \cdot 2 \cdot I}$$

Con los datos de nuestro diseño se obtiene un Módulo de:

$$E = \frac{5 \cdot 0.5913 \cdot 1420^4}{384 \cdot 2 \cdot 27.8 \cdot 10^4} = 5.630 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

Conociendo este valor (el cual es el valor mínimo para que el material cumpla con la restricción de deflexión), es posible seleccionar uno. En el diseño de carros y carros motorizados, es común el uso de aceros o aluminios en la estructura. En otros casos menos frecuentes, se utilizan aleaciones de magnesio o plásticos. Se ha contemplado el uso de los dos mencionados primero ya que ambos son resistentes, duraderos y fáciles de trabajar. Realizando diferentes comparaciones, se ha optado por utilizar una aleación de aluminio debido a las siguientes razones:

1. **Peso ligero:** El aluminio es un material más liviano que el acero, por lo que cumplirá los requerimientos otorgando un peso reducido. Esto afectará mejorando la eficiencia del sistema de transmisión de movimiento y aumentará la maniobrabilidad.
2. **Resistencia:** Dicha aleación cumplirá los requerimientos de la estructura además de ser un material duradero y resistente.
3. **Características mecánicas:** a dichas aleaciones se les aplica un tratamiento térmico que proporciona buena soldabilidad y conformabilidad. Ambas son características necesarias para el montaje del carro.
4. **Resistencia a la corrosión:** El aluminio es menos propenso a la corrosión que el acero. Esto hace ideal dicho material para su uso en exteriores (como será el caso).

El tratamiento térmico que se les practica a estas aleaciones es un temple, es decir, un enfriamiento rápido del metal. Este normalmente se realiza sumergiendo las piezas en agua fría a la salida del horno de laminación o de la prensa de extrusión. La velocidad de dicho templado determinará las características del material y su comportamiento frente a agentes externos como la corrosión, la tracción o la tenacidad.

Se tratará de encontrar un material que disponga de dichas características que otorguen durabilidad a la estructura. Además, en el *Anexo D* se realizará la selección de los acabados pertinentes. En él, se muestran las posibilidades y selección de los distintos tipos de soldaduras o pinturas y acabados.

Entre la amplia variedad de opciones, se encuentran muchas que cumplen con los requerimientos de la instalación. Tal es el caso del **Aluminio 1060**, la **Aleación 3003** o el **Aluminio 6063**. Las tres propuestas cumplen con el módulo elástico necesario para satisfacer la estabilidad de la estructura y poseen características idóneas para la operación del carro.

Mediante la investigación y estudio de los proveedores de dichos materiales [14], se aprecia que el material que cumple de manera óptima con los requisitos de la instalación es el **Aluminio 6063**. Esto se debe a que este se emplea en la fabricación de perfiles de extrusión y, precisamente, es muy frecuente su aplicación en la industria del transporte y construcción.

Por otro lado, el **1060** se utiliza principalmente en láminas, para la fabricación de carcasas o paneles (aires acondicionados, por ejemplo) y el **3003** en aplicaciones con una exigencia media como chapas, tanques de combustible o equipos químicos.

Otra opción interesante serían los **aluminios de la serie 7000** (los cuales se caracterizan por su elevada resistencia). Surge la duda de cual se adapta mejor a las necesidades presentadas. Según fabricantes, los de la serie 7000 son más flexibles que los de la 6000. Esto lo hace más adecuado para la instalación, pero influye negativamente al aumentar la probabilidad de un fallo por fatiga. Mediante el tratamiento adecuado de la aleación, se podrán conseguir los mismos resultados con la serie inferior.

Atendiendo a las anteriores consideraciones, se selecciona como material de fabricación la aleación 6063, concretamente el **Aluminio 6063 – T4**. Este material utiliza el silicio y el magnesio como elementos de aleación y el indicador “T4” corresponde al tratamiento térmico aplicado. Este tratamiento consiste en enfriar el perfil a la salida de la extrusora, pero sin introducirlo en un horno de envejecimiento.

Se muestran en la siguiente tabla las propiedades mecánicas del material:

Propiedades ALUMINIO 6063 - T4	Valor	Unidad
Módulo elástico	6.90E+04	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.58E+04	N/mm ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	170	N/mm ²
Límite elástico	90	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	0.0000234	1/K
Conductividad térmica	200	W/(m·K)
Calor específico	900	J/(kg·K)

Tabla A.1 – Propiedades del Aluminio 6063 – T4 [SolidWorks]

Como se puede observar en la *Tabla A.1* remarcado en amarillo, el material cumple el Módulo Elástico mínimo, aportando incluso un margen casi 23% superior. Vemos como el valor “densidad de masa” es considerablemente menor al de otros materiales contemplados como el **Acero AISI 1020** o el **Acero Aleado**; los cuales cumplirían de manera aún más significativa, pero aportando un peso hasta 3 veces mayor, tal y como muestra la siguiente tabla:

Material	Módulo elástico [N/mm ²]	Densidad de masa [kg/m ³]
Acero AISI 1020	2.00E+05	7900
Acero Aleado	2.10E+05	7700
ALUMINIO 6063 - T4	6.90E+04	2700

Tabla A.2 – Tabla comparativa de aceros de fabricación con Aluminio seleccionado [fuente propia]

3 COMPROBACIONES FINALES

3.1.1 Análisis estático I

Habiendo realizado la selección de las características de la estructura se pueden rehacer los cálculos para obtener unos valores estimados del comportamiento de esta. Conociendo las características del perfil y del material a emplear se invierten los cálculos para estimar qué valores se esperan en operación haciendo uso de la (ec.3):

$$y_{adm} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 0.5913 \cdot 1420^4}{384 \cdot 6.9 \cdot 10^4 \cdot 27.8 \cdot 10^4} = 1.63 \text{ mm}$$

Se espera que los valores obtenidos en una simulación sean inferiores. Esto se debe a que el estudio de estabilidad de la estructura se ha definido sobre una única barra secundaria cuando realmente son tres, la barra central y las dos diagonales. Este diseño distribuiría los esfuerzos entre las tres.

3.1.2 Análisis estático II

A modo de comprobación adicional y para exponer en el documento un método complementario para estudiar el comportamiento de la base, se realiza un segundo análisis estático cuantitativo.

Para ello se hará uso de la expresión mostrada en el libro *Vibraciones Mecánicas* [15] en su *Apéndice B*, se muestra un caso similar al dado en la base del carro. Se trata del estudio de una placa apoyada en sus cuatros extremos, soportando una carga en su centro tal y como se muestra en la figura.

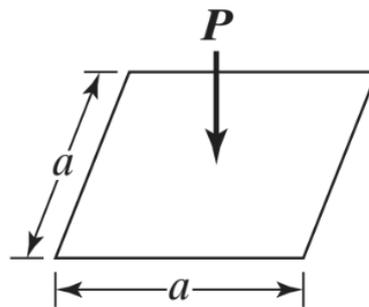


Figura A.12 – Placa cuadrada con todos sus lados apoyados [Vibraciones Mecánicas - Rao]

Para obtener la deflexión máxima, el libro proporciona la siguiente expresión:

$$y_{central} = \frac{\alpha P a^2}{E t^3} \quad \text{con } \alpha = 0.1267 \quad (\text{ec.4})$$

Siendo

P – Fuerza en el centro de la placa
 a – ancho de la placa
 t – espesor de la placa
 E – Módulo elástico del material

Debido a que la expresión se refiere a una placa cuadrada, se considerará un ancho de 900 mm. Se considera una placa maciza la estructura de barras junto a la chapa soldada. El espesor de esta será igual a la relación de su volumen si tratara de una placa maciza de dimensiones 900x900.

Para obtener el volumen de la estructura de barras, se realiza el producto de la longitud de estas por el área del perfil RHS 60x40x3.2. La longitud de las barras fue calculada previamente en el *Apartado 2.2* y asciende a 7940 mm.

$$V_{barras} = L_{barras} \cdot A_{perfil} \quad (\text{ec.5})$$

$$V_{barras} = 7940 \cdot 588 = 4.668 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Para saber que espesor tendría ese volumen si fuera una placa maciza, se divide por el área de esta:

$$t_{barras} = \frac{V_{barras}}{A_{placa}} = \frac{4.668 \cdot 10^6}{900 \cdot 900} = 5.76 \text{ mm}$$

Al sumar el espesor de la chapa que va soldada a la estructura de barra se obtiene el espesor total:

$$t = t_{barras} + t_{chapa} = 5.76 + 3 = 8.76 \text{ mm}$$

Resolviendo la expresión para obtener la deflexión:

$$y_{central} = \frac{0.1267 \cdot (320 \cdot 9.81 \cdot 1.5) \cdot 900^2}{6.9 \cdot 10^4 \cdot 8.76^3} = 10.4 \text{ mm}$$

Al obtener un valor considerablemente distinto en el segundo análisis estático en comparación con el primero, surge la necesidad de determinar cuál de los dos estudios es el correcto y más confiable. Mediante las simulaciones en el software CAD se verifican y validan los resultados obtenidos.

3.2 Simulación en software

Una vez seleccionado el material y el perfil para el diseño del chasis del carro motorizado, se realiza en el programa de modelado y simulación *SolidWorks* el estudio estático de la estructura. Para ello, se han tomado las siguientes consideraciones:

1. Se consideran los extremos de la base como apoyos rígidos, estos representan la unión entre las ruedas.
2. Se considera la carga de los 16 bidones como una carga uniformemente distribuida sobre las barras de 478.56 kg. Este valor corresponde al peso del agua de los bidones aplicando un coeficiente de seguridad de 1.5.
3. Se utiliza como perfil de barras el estándar *ISO-TUBO RECTANGULAR-60x40x3.2*
4. Se utiliza el material *Aluminio 6063-T4*

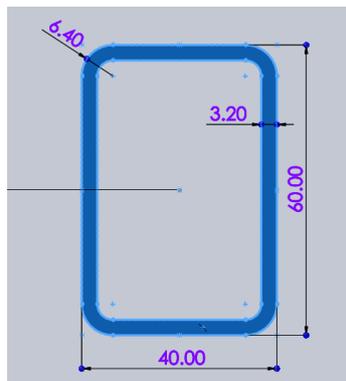


Figura A.13– Dimensiones del perfil modelado [fuente propia]

Tras realizar la simulación, el programa devuelve los datos mostrados en la siguiente figura.

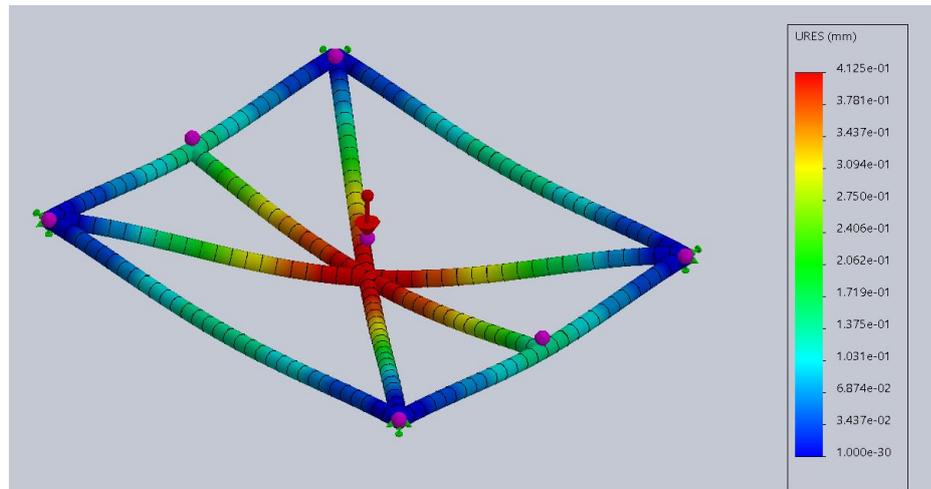


Figura A.14– Resultados de deflexión de la simulación en SolidWorks [fuente propia]

Tal y como se había supuesto, el punto de máxima deflexión se presenta en el centro del chasis. En ese “nudo” central intervienen fuerzas en seis direcciones distintas.

Se observa en la figura que el valor de deflexión máxima es de lo más aceptable, encontrándose en los 0.412 mm. Cumple sobradamente los requerimientos impuestos de no superar los 2 mm de deflexión. La diferencia con el valor calculado en el apartado previo se debe principalmente a la suposición considerada de tomar una de las barras diagonales sin considerar el efecto de la distribución con las otras dos. Tal y como se esperaba, el valor de la deflexión es, en concreto, un 25% menor de la esperada.

También, es remarcable destacar que se ha realizado un análisis estático estimado basado en suposiciones simplificadas sobre la geometría y las cargas (prontuarios) de la estructura. El software de simulación CAD proporciona valores mucho más fiables que estudian de manera más detallada las especificaciones del diseño.

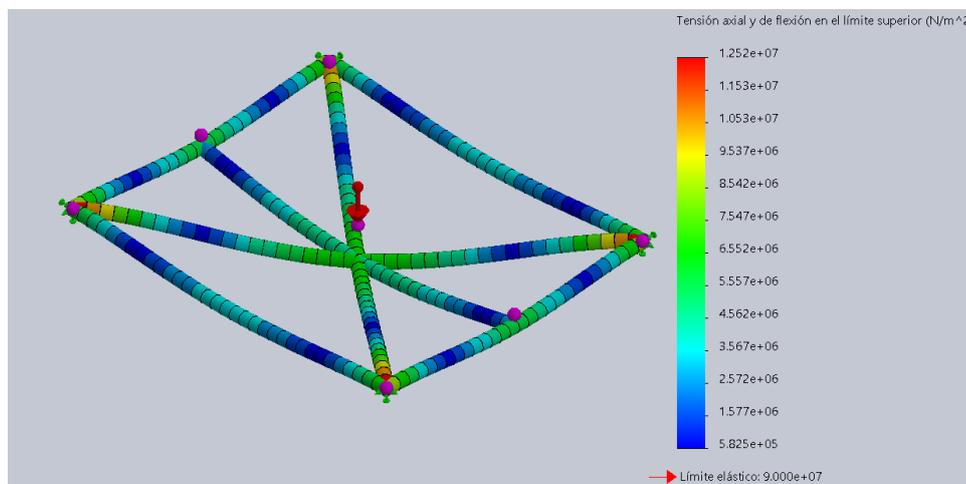


Figura A.15– Resultados de tensión de la simulación en SolidWorks [fuente propia]

Se observa también cómo la estructura opera con un amplio margen lejos del límite elástico del material. Operando a un 13.91% de las posibilidades de la aleación de Aluminio. Los puntos de máxima tensión se encuentran en los apoyos, en ellos se da una tensión axial y de flexión de $1.252 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

Esto se debe a que en dichos apoyos se generan las reacciones a la carga que actúa sobre las barras. En dichos puntos se dan fuerzas iguales y opuestas a la carga soportada. Concretamente, a la carga entre cuatro (el número de apoyos).

Simulación	Despla. [mm]	Tensión [N/m2]	CUMPLE
A.3	0.412	1.252 E+07	

Tabla de Resultados A.3 – Simulación chasis con carga nominal [fuente propia]

Considerando que la estructura “no cumple” o “cumple” en caso de que esta supere o no los 2 mm máximos de deflexión o supere el límite elástico del material, se realiza la *Tabla de Resultados A.3*.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultado de la simulación

Tras haber realizado la simulación en el programa *SolidWorks*, se confirma que las especificaciones seleccionadas para el diseño del chasis del carro han sido correctas.

Los resultados de la simulación del análisis estático indicaron que el chasis del carro cumple con todos los requisitos de diseño. La tensión máxima en el chasis fue mucho menor que la resistencia límite del material utilizado. No obstante, no se contempla la selección de un material con un límite elástico menor ya que no se pretende acercarse al extremo. Además, más adelante se incorporarán otras cargas a la estructura que reclamarán aún más resistencia al material.

La deformación máxima en el chasis fue aceptable ya que no excedió ni se acercó al límite permisible establecido de 2 mm. Cabe remarcar que ha sido utilizado un factor de seguridad de 1.5, lo que indica que el diseño es adecuado para su propósito e incluso es capaz de soportar cargas ligeramente superiores sin llegar a sufrir percances.

4.2 Diferencia con datos esperados

Es común que los valores obtenidos mediante un cálculo cuantitativo aproximado se alejen de los “reales” o de simulación. Se observan dichas diferencias en la *Tabla A.3*. Esto se debe a la realización de ciertas suposiciones para simplificar el análisis. Dichos supuestos pueden llegar a estimaciones un tanto inexactas.

COMPARATIVA DE ESTUDIOS ESTÁTICOS	
Estudio:	Deformación [mm]
Análisis estático I	1.63
Análisis estático II	10.4
Simulación	0.412

Tabla A.3 – Comparación deformaciones [fuente propia]

En el caso del *Análisis I*, se ha considerado la barra de mayor longitud como una viga aislada, sin embargo, se demuestra en la simulación como la influencia de las barras secundarias cumplen el objetivo de aumentar la rigidez y la distribución de la carga a través de la estructura.

Si se hubiera querido obtener un resultado más exacto a través de un cálculo numérico, se podría haber considerado la base como un emparrillado plano. Según se indica en el libro *Mecánica de Estructuras* [16] se considera que “*un emparrillado plano es una estructura plana de nudos rígidos que soporta cargas exteriores normales a su plano [...] En la práctica suelen ser estructuras de alto grado de hiperestatismo, muy difíciles de calcular por procedimientos manuales*”

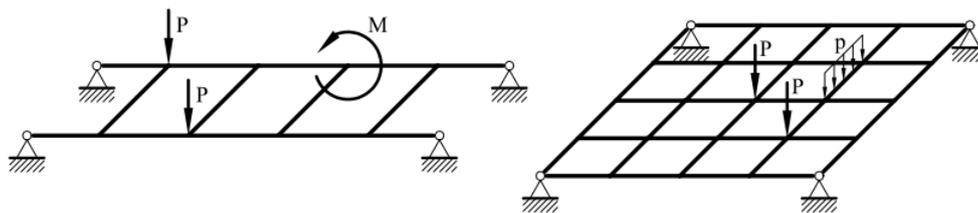


Figura A.16 – Diseño de emparrillado plano del libro “*Mecánica de Estructuras*” [Mecánica de Estructuras – Ruiz. C.M.]

Si se hubieran seguido las expresiones del libro se hubiera llegado a un complejo sistema matricial para un simple dato estimado. Tal y como comentan los autores, raramente se realizan estos costosos cálculos de manera manual.

Por otro lado, en el *Análisis II* el cálculo se basó en considerar una estructura de barras con una placa soldada como una chapa maciza de espesor pequeño. Sin embargo, esta suposición es incorrecta y puede llevar a resultados inexactos.

En una estructura de barras, las cargas se transmiten a lo largo de estas, mientras que, en una placa, se distribuyen de manera más uniforme en toda su superficie. Se obtiene así un resultado sumamente más grande que el real ya que la resistencia a flexión de una placa es mucho menor que la de un perfil (en este caso tipo rectangular).

5 SIMULACIONES ADICIONALES

Con el fin de confirmar que la estructura operará correctamente se han realizado distintos análisis estáticos para estudiar el comportamiento de esta.

Para ello, se ha incluido la placa de aluminio que se utilizará como base para apoyar los bidones. Se ha propuesto una lámina de 3mm de espesor que cubra toda la superficie de apoyo resultando una base como la que se muestra en la siguiente figura:

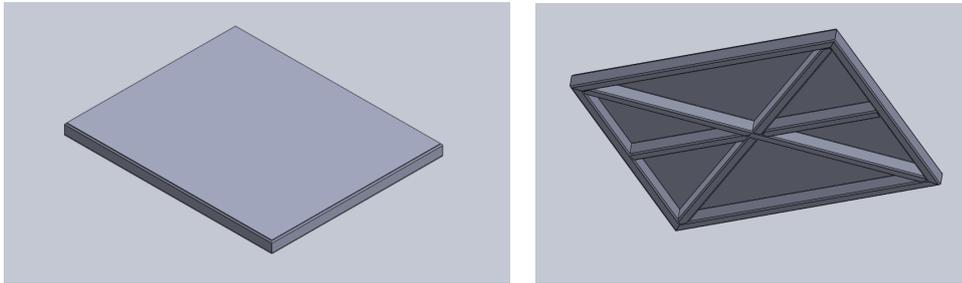


Figura A.17 – Modelo de la base con placa (izq. Vista superior – dcha. Inferior) [fuente propia]

5.1 Comprobación de la base con placa

En este estudio se ha realizado la simulación del chasis del carro, una vez dispuesta una placa de 3 mm de espesor sobre ella. Al igual que en el caso inicial, se considera una carga distribuida uniformemente a lo largo de la superficie igual a la carga máxima esperada (aplicando un coeficiente de seguridad de 1.5).

Dicha placa se dispone en la estructura para poder soportar las garrafas de agua sobre el chasis. Este elemento distribuirá las cargas a lo largo de su superficie y no solo a lo largo de las barras. Por otro lado, aportará un peso mayor a la estructura, de aproximadamente 8 kg. Esto se debe a disponer la placa del mismo material (Aluminio 6063-T4) que el resto de la estructura, de densidad 2700 kg/m³, y siendo el volumen de la placa el mostrado a continuación:

$$\text{- Volumen} \quad V_{placa} = 0.9 \cdot 1.1 \cdot 0.003 = 0.00297 \text{ m}^3 \quad (\text{ec.6})$$

$$\text{- Peso} \quad P_{placa} = 0.00297 \cdot 2700 = \mathbf{8.05 \text{ kg}} \quad (\text{ec.7})$$

De esta manera se obtienen unos resultados más favorables ya que se obtienen deformaciones menores. La placa al encontrarse como una unión rígida a la estructura del chasis aumenta la estabilidad de esta.

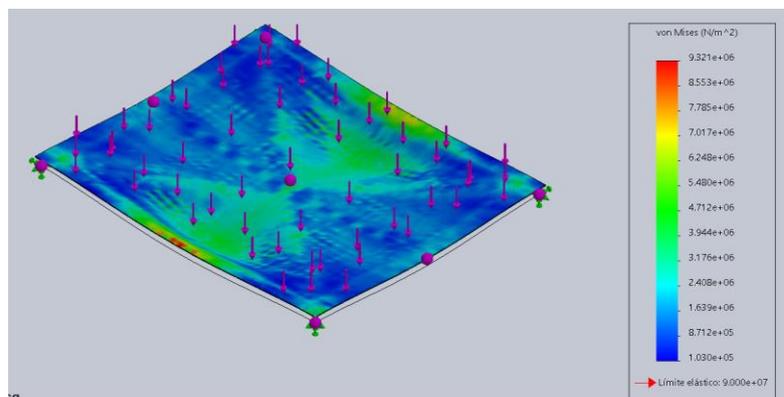


Figura A.18 – Resultados de tensión en simulación 4.1 [fuente propia]

Se observa cómo la implementación de este nuevo elemento provoca una distribución de esfuerzos muy uniforme a lo largo de la base. Al disponer la placa y considerar que la unión con las barras es rígida, se generan distintas regiones a lo largo de la base. Las mayores son las presentadas en la siguiente figura.

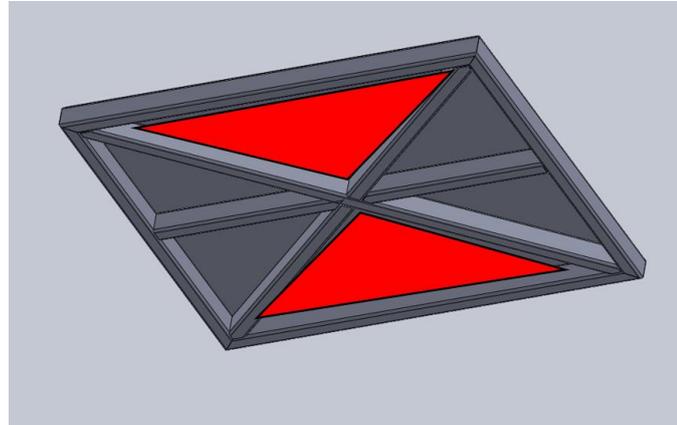


Figura A.19 – Superficie mayor de la placa [fuente propia]

Es por ello por lo que el punto máximo de deflexión no se encuentra en el punto central como en los casos anteriores, sino a los lados de este. Esto se observa en la Figura A.20 de manera más clara. Se comprueba que el valor del desplazamiento máximo queda lejos de los 2 mm aceptables.

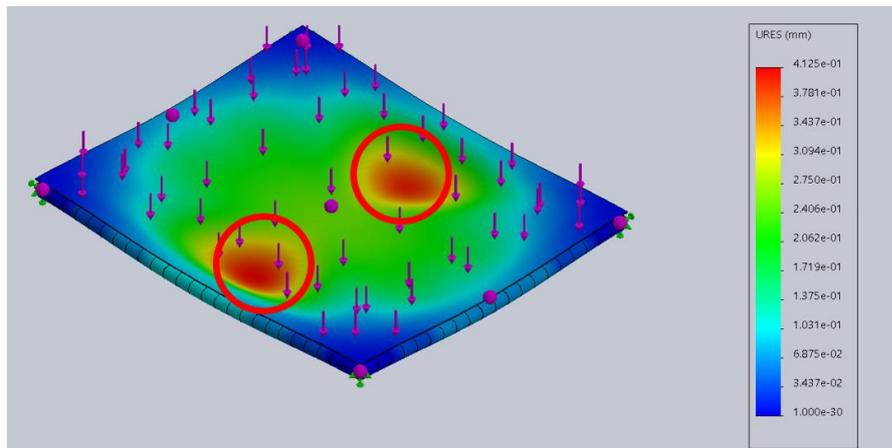


Figura A.20 – Deflexión en el punto central en simulación A.4 [fuente propia]

Simulación	Desp. [mm]	Tensión [N/m2]	CUMPLE
A.4	0.4125	9.321 E+06	

Tabla de Resultados A.4 – Chasis con placa con carga nominal [fuente propia]

5.2 Carga máxima con peso de equipo de baterías

Un análisis indispensable en el estudio estático del chasis de este carro es considerar el peso del equipo de baterías. El cual, según el modelo inicial, se dispondrá en la parte superior-trasera del carro. Se ha considerado un peso un poco mayor de lo esperado considerando la horquilla de pesos que estos equipos pueden acarrear.

De esta manera, se realiza el estudio del caso más desfavorable (16 bidones de 20 litros dispuestos a lo largo de toda la superficie) y se complementa con una carga de 25 kg (245.25 N) dispuesta a lo largo la barra exterior lateral, tal y como se muestra en la figura:

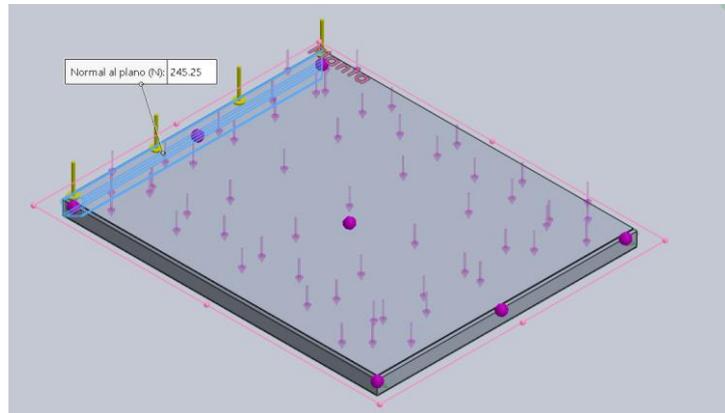


Figura A.21 – Disposición de las cargas en simulación A.4 [fuente propia]

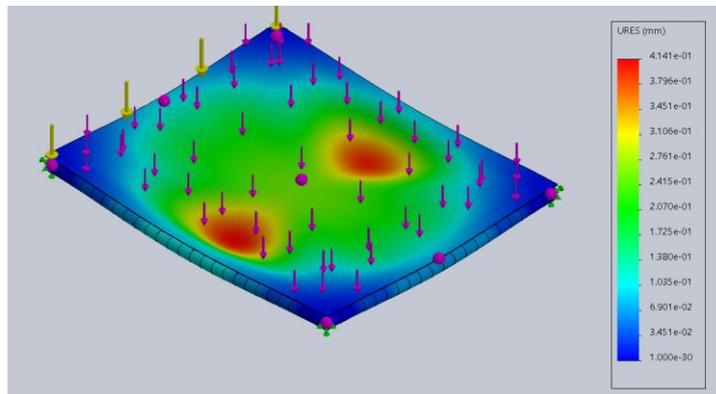


Figura A.22 – Resultados de tensión en simulación A.4 [fuente propia]

En la siguiente imagen se muestra el punto de máximo desplazamiento de la barra que soporta las baterías. Se observa que este apenas llega al milímetro lo que afirma que soportaría un equipo de 25 kg sin ningún riesgo.

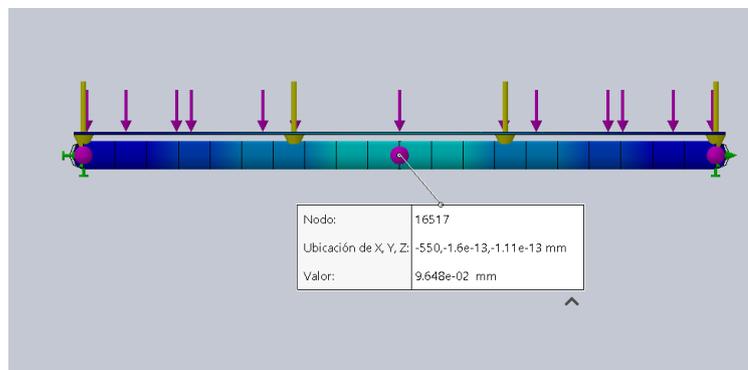


Figura A.23 – Deformación en la barra más solicitada en simulación A.5 [fuente propia]

Simulación	Desp. [mm]	Tensión [N/m2]	CUMPLE
A.5	0.4141	9.325 E+06	CUMPLE

Tabla de Resultados A.5 – Chasis con placa con carga nominal y fuerza en barra [fuente propia]

5.3 Transporte de mitad de la carga

Como cabe esperar, el carro no operará con una carga uniforme igual a la carga máxima todo el tiempo. Conforme realice sus tareas de reparto, el número de los bidones será inferior y dispuesto de manera distinta. En este estudio se comprueba que la base soporta correctamente el peso de la mitad de los bidones si estos han sido repartidos de manera ordenada. Se consideran, por lo tanto, los bidones mostrados en azul en la siguiente figura.

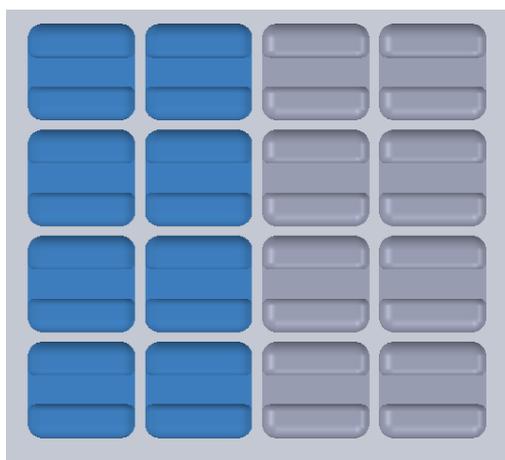


Figura A.24 – Bidones a considerar en el estudio estático A.6 [fuente propia]

Se establece una carga uniformemente distribuida en la mitad del carro. El valor de la fuerza será por lo tanto la mitad del considerado en los ensayos previos (2347.33 N).

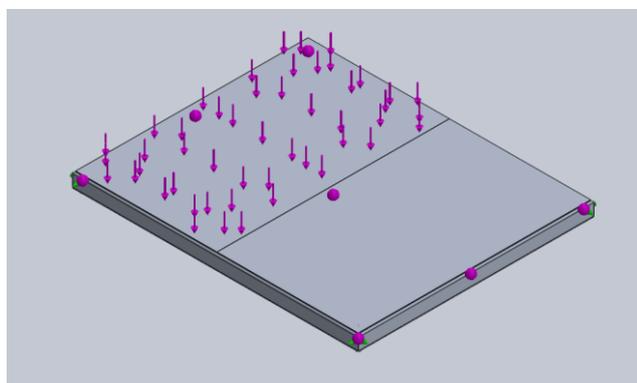


Figura A.25 – Disposición de la carga en simulación A.6 [fuente propia]

Se observa en las siguientes figuras cómo la base soporta sobradamente generándose unas deformaciones máximas de tan solo 0.2542 mm y unos esfuerzos en menos del 10% del máximo. Se puede confirmar que la estructura resiste con total seguridad dicha hipótesis.

Simulación	Desp. [mm]	Tensión [N/m2]	CUMPLE
A.6	0.2452	5.670 E+06	

Tabla de Resultados A.6 – Chasis con placa con mitad de carga nominal [fuente propia]

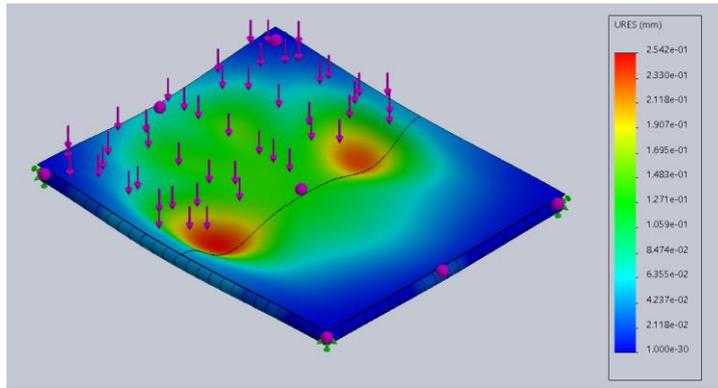


Figura A.26 – Resultados de deformación en simulación A.6 [fuente propia]

5.4 Distribución irregular

Al caso contemplado en la simulación previa (*Simulación A.4*) se le añaden distintas cargas dispuestas aleatoriamente de 50 kg (490.5 N) en los puntos mostrados en la *Figura A.27*. Este caso corresponde con un supuesto en el que el carro no es utilizado con el fin principal del transporte de bidones de agua, sino para el transporte de algún material o elemento pesado por necesidad en el poblado

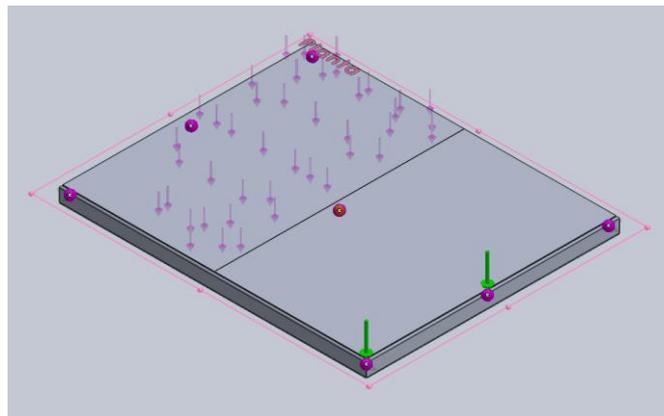


Figura A.27 – Disposición de la carga en simulación A.7 [fuente propia]

Se realiza dicho estudio únicamente con el fin de garantizar un amplio margen de estabilidad, aunque los parámetros de operación definidos sean inferiores.

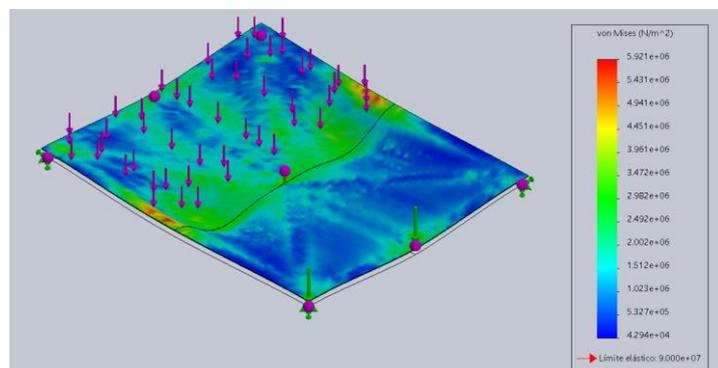


Figura A.28 – Resultados de tensión en simulación A.7 [fuente propia]

Simulación	Desp. [mm]	Tensión [N/m2]	CUMPLE
A.7	0.3	5.921 E+06	CUMPLE

Tabla de Resultados A.7 – Chasis con placa con carga irregular [fuente propia]

6 PROPUESTA FINAL

Se han realizado diferentes comprobaciones con el fin de asegurar que la estructura del chasis será capaz de resistir la carga máxima a soportar. Además, se han estudiado los distintos supuestos que se darán en el momento de operación del carro. No obstante, tras la selección del equipo de transmisión que se dispondrá en el vehículo se realizará una última comprobación de dicho chasis.

Por lo tanto, se determinan como características del chasis las mostradas en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS FINALES DEL CHASIS					
Largo [mm]	Ancho [mm]	Barras Secundarias	Tipo de Barra	Espesor de placa [mm]	Material
1100	900	Diagonales	RHS 60x40x3.2	3	Aluminio 6063 – T4

Tabla A.4 – Características del chasis [fuente propia]

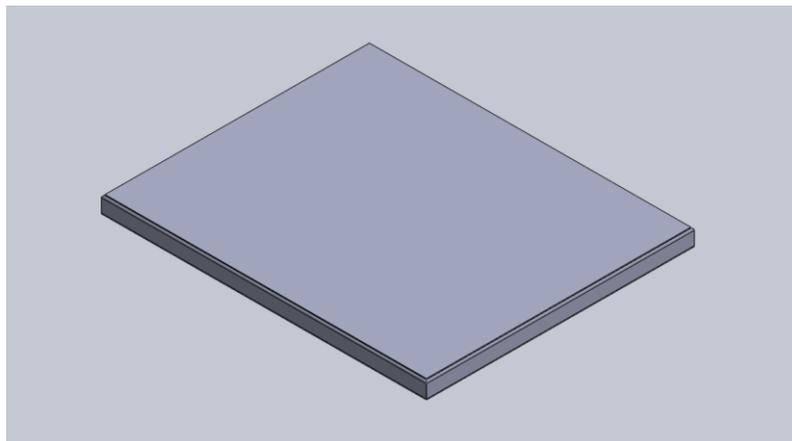


Figura A.29 – Modelo de la base con placa (Vista superior) [fuente propia]

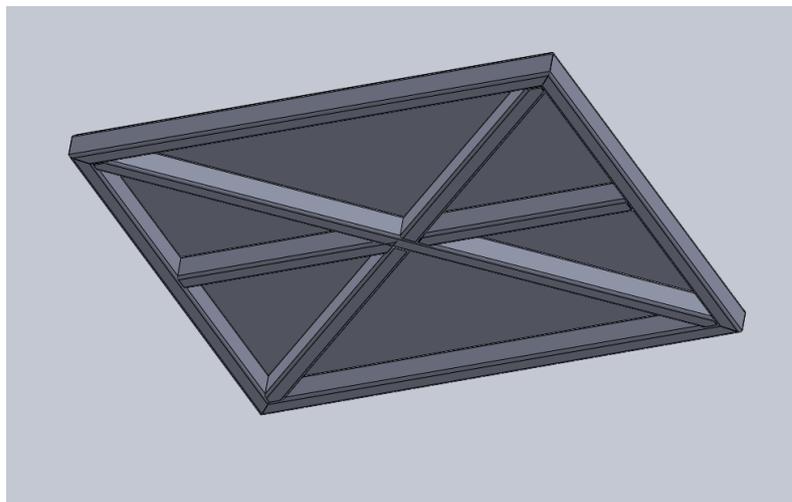


Figura A.30 – Modelo de la base con placa (Vista inferior) [fuente propia]

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

**ANEXO B – ESTUDIO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA
DE EMPUJE**

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:
ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE ANEXO B – ESTUDIO Y DISEÑO ESTRUCTURA DE EMPUJE

1	SELECCIÓN DE LA ALTURA DE LA BARRA.....	2
1.1	Consideraciones ergonómicas.....	2
1.2	Consideraciones de seguridad	3
1.3	Selección de altura de la barra.	4
1.3.1	Altura de la barra para niños.....	6
2	DISEÑO DE LAS BARRAS DE EMPUJE.....	7
2.1	Modelo estructura base	7
2.2	Selección del perfil – Estructura de Empuje	8
2.3	Diseño de la segunda barra de empuje.....	9
2.4	Diseño total de la estructura de empuje	10
3	COMPROBACIONES.....	11
3.1	Análisis caso favorable	12
3.2	Análisis caso desfavorable - empuje	13
3.3	Análisis numérico – caso desfavorable.....	17
4	ESTUDIO DE VIBRACIONES.....	19
5	DISEÑO FINAL DE ESTRUCTURA DE EMPUJE.....	21

1 SELECCIÓN DE LA ALTURA DE LA BARRA.

A lo largo de este *Anexo B* se configurarán y seleccionarán las características de la sección posterior del carro, es decir, la estructura de empuje. Las barras de este diseño serán las encargadas de sostener el equipo de variación de velocidad, así como de proveer al carro de una estructura para maniobrar.

Se definen en este documento las dimensiones, geometrías y características considerando aspectos como la ubicación de componentes, la rigidez estructural o la seguridad y confort del usuario.

1.1 Consideraciones ergonómicas

Se comienza realizando el estudio de diferentes características de la población y de uso de la carretilla para determinar las dimensiones de la estructura. Se toma como punto de partida determinar la altura a la que se dispondrá la barra de empuje.

A pesar de que el carro está diseñado para funcionar mediante la fuerza de un motor, la persona que opere la máquina deberá de disponer sus manos sobre la barra donde se encontrarán los frenos y los actuadores para que el carro opere según se desee. El nivel de dicha barra afectará a la comodidad en el momento del uso del carro.

Según recomendaciones sobre la altura de trabajo para usuarios y diversas instituciones como el CROEM [17] en materia de prevención de riesgos ergonómicos, si se realiza un esfuerzo en una posición de pie, el punto donde se realiza el trabajo debe encontrarse debajo de los codos. Dicha posición, sobre todo en trabajos de movimiento y cargas repetitivas, puede causar dolores en la zona lumbar del usuario.

En el caso habitual de operación de la carretilla, no será necesario ejercer ninguna fuerza para mover el carro, tan solo pequeños esfuerzos para controlar la dirección de este. No obstante, es importante considerar el caso en el que equipo de transmisión se encuentre fuera de servicio y el carro motorizado se comporte como un carro de propulsión manual.

Siguiendo las indicaciones de fabricantes, como la empresa TCH [18] (que dispone de una amplia gama de carros para entorno técnico e industrial) una manera de evitar dolencias en brazos, hombros o cuello es aplicar la "*Regla del codo*". Considerando que la altura del codo del usuario es la posición origen, para trabajos que consistan en el "Manejo de materiales pesados" la altura de operación idónea se encontrará a 10-30 cm por debajo de este.

Por lo tanto, se toma como primer requerimiento que la barra se encuentre a aproximadamente -10 cm del codo del usuario. Esta disposición cumplirá con una posición idónea en el supuesto de ser necesario el empuje para accionar el carro.

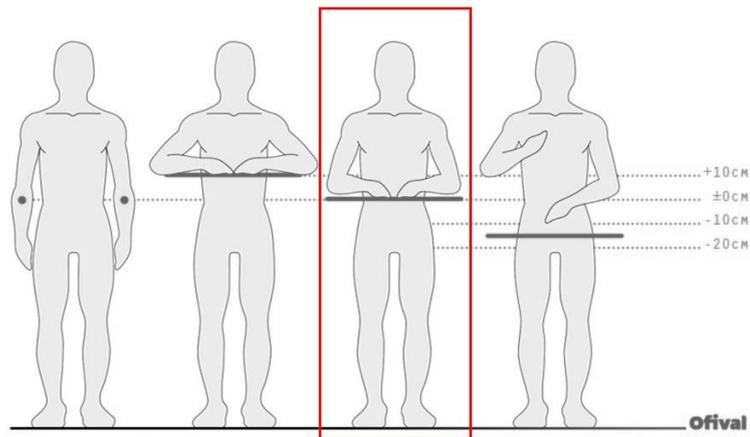


Figura B.1 – Distintas posiciones según la “Regla del Codo” [Ofival]

Al disponer una barra más baja, se facilita que la fuerza ejercida para empujar el carro se transmita de manera más directa al eje de las ruedas. Al realizarse un empuje en dirección al suelo, la fuerza se aplica en la dirección del movimiento.

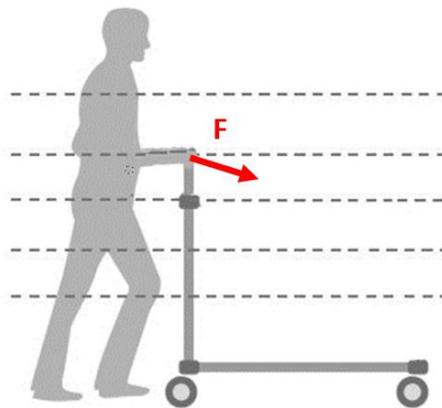


Figura B.2 – Diagrama de la fuerza de empuje con una barra baja [Ofival]

1.2 Consideraciones de seguridad

De acuerdo con lo establecido en el BOE por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores [19], se destaca en su Anexo 2, apartado nº10, que los equipos de trabajo llevados o guiados manualmente (cuyo movimiento pueda suponer un peligro para los trabajadores situados en sus proximidades), deben ser utilizados con las debidas precauciones. En cualquier caso, se debe respetar una distancia de seguridad suficiente que garantice la seguridad del entorno.

En línea con esto, se hace hincapié en que los trabajadores encargados de manejar dichos equipos deben contar con condiciones adecuadas de control y visibilidad. Estas son fundamentales para garantizar la seguridad y prevenir posibles riesgos asociados al uso de los equipos mencionados.

De dicha normativa es remarcable la insistencia en el control y la visibilidad del usuario en el momento de operación. En el caso particular del carro motorizado, se trata de una máquina destinada al transporte de una carga superior a 300 kg, accionada mediante la potencia suministrada de un motor.

Por lo tanto, se establece que la altura del carro no debe superar en ninguno de los casos el ángulo de visión de la persona que lo utiliza (operario). Además, la longitud del vehículo no puede exceder más de 5 metros según las recomendaciones. Todo ello para que sea posible avistar los obstáculos y el camino con facilidad.

En cuanto a la distancia de seguridad que se debe guardar entre la máquina y otros operarios, al tratarse del diseño de un carro para uso “privado” y no para uso industrial, no concuerda con lo expuesto en la normativa. No obstante, será importante remarcar en los métodos de uso del carro la implementación de una distancia de seguridad de al menos 1 metro entre el carro y personas externas con el fin de prevenir cualquier tipo de accidente o interferencias en el campo de visión.

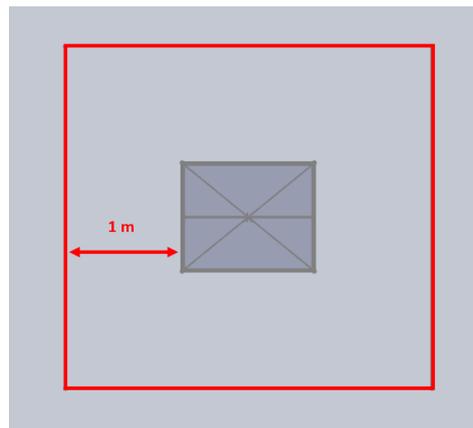


Figura B.3 – Perímetro de distancia de seguridad entre carro y externos [fuente propia]

1.3 Selección de altura de la barra.

Tras las consideraciones expuestas se llega a la conclusión de que no es posible proporcionar la disposición de confort y seguridad ideal para todos los usuarios ya que se diseñará un único carro para todos los habitantes.

A pesar de ello, es posible establecer un valor que se acerque valor promedio de la población que utilizará el vehículo. Para ello, se hará uso de los valores estadísticos que proporciona *NCD Risk Factor Collaboration* [20] la cual es una red de científicos de la salud que dispone de datos rigurosos sobre distintos factores en más de 200 países.

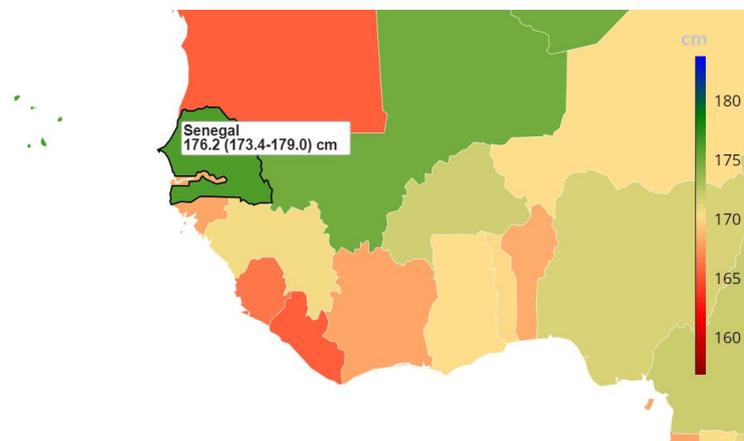


Figura B.4 – Datos de altura media de hombres adultos en Senegal [NCD-Risk Factor]

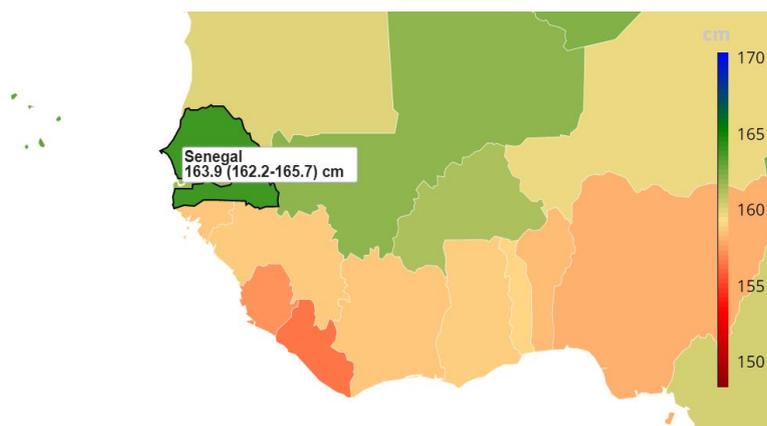


Figura B.5 – Datos de altura media de mujeres adultas en Senegal [NCD-Risk Factor]

Dicha red indica que los hombres adultos (mayores de 19 años) tienen una altura media de 176.2 cm (173 cm - 178 cm). Por otro lado, las mujeres proporcionan unos datos similares de 163.9 cm (162.2 cm -165.7cm).

Estos datos dan un valor estimado de la altura media de la población de 170 cm. Considerando que la altura de los codos se encuentra a un 65% de la altura total de un ser humano, se estima que la posición de los codos en la población senegalesa se encuentra a 110 cm.

Teniendo en cuenta la “Regla del codo” comentada en el *Apartado 1.1*, se fija como valor de la barra del carro motorizado 100 cm (1 metro) con respecto al suelo. Este valor podrá oscilar ± 5 cm debido a los ajustes en el sistema de transmisión y las distintas ruedas seleccionadas.

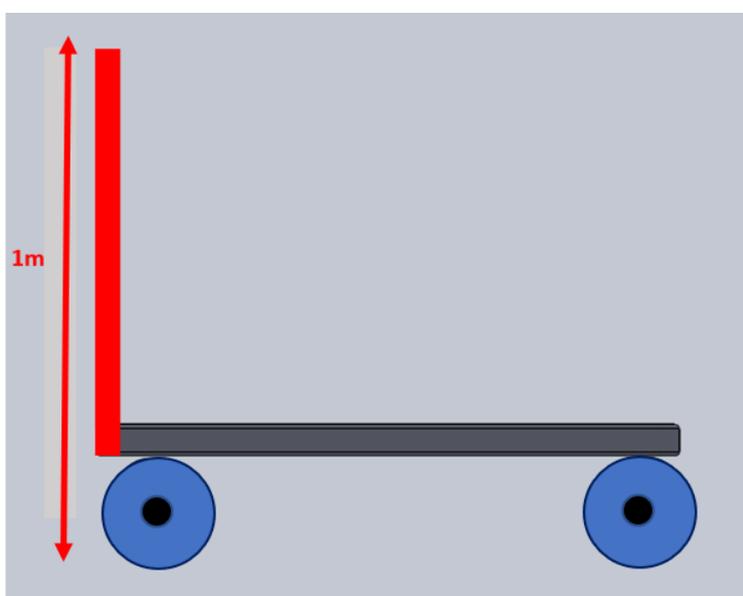


Figura B.6 – Ilustración representativa altura del carro [fuente propia]

Esta altura cumpliría con las recomendaciones de la *Normativa UNE-EN 1757* [11], documento que describe las consideraciones de diseño de carros de manutención. El escrito expone que los carros que dispongan de un asa horizontal para empujar o tirar, deben cumplir que la altura de empuje se encuentre entre los 1000 mm y 1300 mm.

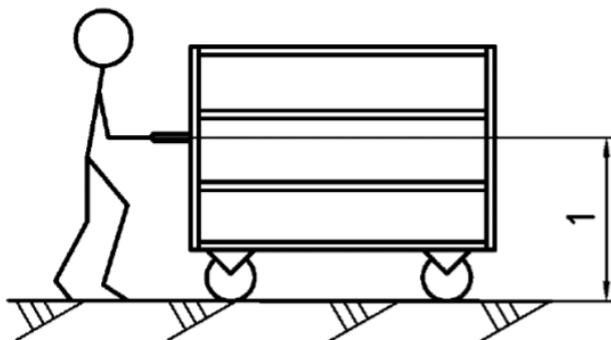


Figura B.7 – Ilustración de la Normativa sobre la altura para el asa horizontal [UNE-EN 1757]

Durante el proceso de diseño se estudió la posibilidad de implementar otro tipo de configuración de barras. Es el caso de la instalación de la estructura de empuje con una determinada inclinación. No obstante, se consideró que dicha disposición empeoraría la estabilidad y la resistencia del carro. Una estructura recta simplifica la fabricación y el montaje ya que no impone la necesidad de angulaciones o uniones complejas. Además, permite incorporar accesorios o realizar ajustes de manera más sencilla.

1.3.1 Altura de la barra para niños

Con el fin de tener en cuenta la dura realidad en este tipo de poblados en los que los niños son los encargados de realizar la tarea de búsqueda y transporte del agua, se ha considerado oportuno disponer una barra adicional de menor altura para que el carro pueda ser operado por ellos.

La altura de esta barra adicional se ha determinado utilizando los mismos datos estadísticos de la región, en concreto en la estatura promedio de niños entre 5 y 9 años.

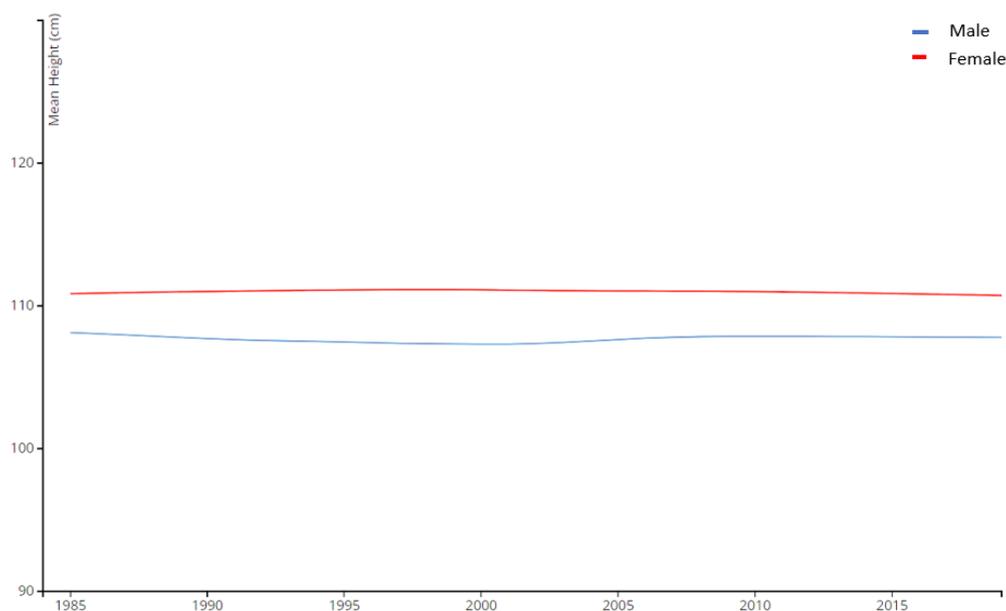


Figura B.8 – Altura media de las niñas y niños senegaleses [NCD-Risk Factor]

Este enfoque se ha adoptado para asegurar que la barra se encuentre a una altura adecuada sin dificultades y con comodidad. Como se observa en la figura, la altura media entre los niños senegaleses se encuentra entre los 108 y 111 cm. Utilizando las mismas consideraciones ergonómicas para un correcto uso de la carretilla, la altura de la barra se deberá encontrar a un 65% de esta altura media, a unos 72 cm del suelo.

2 DISEÑO DE LAS BARRAS DE EMPUJE

2.1 Modelo estructura base

Tras haber determinado los requerimientos de la estructura, se comienza el diseño de la barra de empuje del carro motorizado. Sobre dicho elemento se deberán poder disponer los distintos dispositivos de accionamiento y conducción de la máquina (acelerador, frenos, etc.).

El diseño básico que se propone es el de una barra con una anchura igual a la base del carro y con una altura que cumpla con la seleccionada en el apartado anterior. Se estima que las ruedas seleccionadas con sus uniones al chasis tendrán una altura total de 340 mm, que sumado al alto de la propia estructura resulta en 400 mm.

Por lo tanto, para que la barra de empuje se encuentre a una distancia de un metro con el suelo, la estructura deberá tener una dimensión vertical de 600 mm, tal y como se muestra en la siguiente figura:

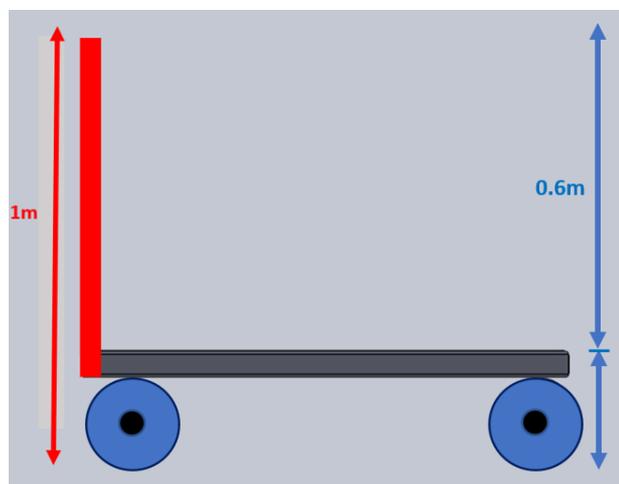


Figura B.9 – Ilustración de las dimensiones de la estructura de empuje [fuente propia]

Conocidas las dimensiones de la estructura, se considera necesaria la instalación de 3 barras horizontales que aporten estabilidad a esta y sirvan como sujeciones para disponer otros elementos del equipo de transmisión si fuera necesario.

Además, según se indicó en el *Apartado 1.3.1*, en el caso en el que el carro tuviera que ser operado por un niño, podría utilizar la barra inferior como barra de empuje. Los mandos de control y los otros elementos que sirvan para operar el carro se dispondrán sobre las barras mediante abrazaderas. De esta manera será posible cambiarlas de altura y disposición según lo requiera la persona que opere el carro.

Resulta así, un croquis inicial de la instalación como el que se muestra en la siguiente figura:

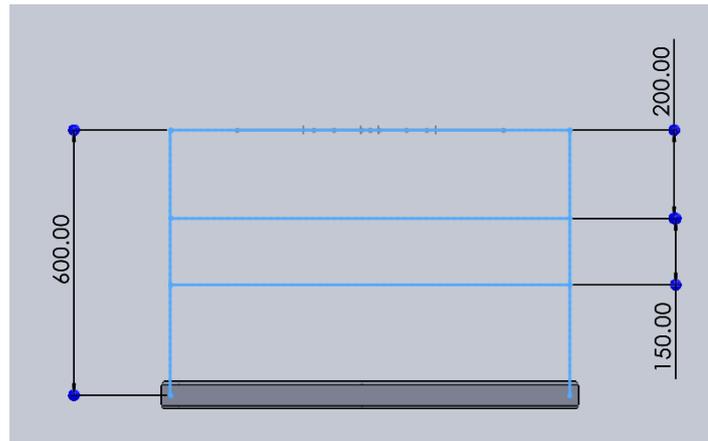


Figura B.10 – Configuración de la estructura de empuje [fuente propia]

2.2 Selección del perfil – Estructura de Empuje

La elección del perfil para la fabricación de la estructura se ha basado en una serie de criterios de resistencia y comodidad. Principalmente, los perfiles tubulares redondos tienen una alta resistencia a la flexión y son ligeros, por lo tanto, idóneos para las características de la instalación. Además, se ha considerado que un perfil tubular redondo es el más adecuado debido a que una barra circular proporcionará una superficie de agarre más firme y cómoda que un perfil cuadrado o rectangular.

Considerando el caso ideal en el que no sea necesario aplicar una fuerza sobre la estructura para mover el carro, las dimensiones de las barras se seleccionarían meramente por consideraciones de confort y seguridad del usuario. Tomando como ejemplo un elemento que trabaja de manera similar, se escogen como dimensiones a seguir las de un manillar de bicicleta



Figura B.11 – Detalle de un manillar de bicicleta [Pixabay]

Tal y como se observa en la *Figura B.11*, un manillar se trata de un elemento tubular metálico en el cual se disponen elementos de control del vehículo y sobre el que descansan y ejercen fuerza las manos del operario. El ancho del tubo para manillares de bicicleta oscila entre los 22 a 44 mm, dependiendo del tipo y de la forma [21].

En el caso del carro motorizado, es primordial disponer de la holgura suficiente como para accionar los elementos que controlan el sistema de propulsión con comodidad. Se considera que el uso de perfiles de tipo circular de diámetro 33.7 cumplirá con las necesidades de la instalación.

Se selecciona concretamente el **Perfil ISO Tubería 33.7 x 4.0** para el fabricado de la estructura. Por facilidad a la hora del montaje y por asegurar una correcta unión soldada entre distintas estructuras, se realizará la mayoría del carro con el mismo material seleccionado para el diseño del chasis.

Por ello, se empleará el **Aluminio 6063 – T4**. Habiendo seleccionado un perfil de una envergadura común en este tipo de instalaciones y un material de alta resistencia, cabría esperar que la estructura se comporte de manera correcta. No obstante, se realizarán posteriormente las comprobaciones pertinentes (*Apartado 3*).

2.3 Diseño de la segunda barra de empuje.

Tras el diseño mostrado en el *Apartado 2.1* de este documento, se propone la implementación de una segunda barra que complemente la estructura. Se ha incorporado una barra adicional con características distintas, tanto en tamaño como en diseño, con el propósito de proporcionar al usuario una opción adicional. Al disponerla, se pueden conseguir distintas ventajas como mayor maniobrabilidad y flexibilidad de uso. El operario puede elegir cual usar según las necesidades del momento.

Por lo tanto, se comienza el diseño de esta segunda barra con las siguientes consideraciones:

- Resistente a la fuerza ejercida para empujar el carro
- Diseño especializado para mayor comodidad y resistencia
- Dimensión inferior a la barra principal

De esta manera, se comienza tomando de nuevo el diseño de los manillares de bicicleta. Estos, con el fin de lograr una alta resistencia y rigidez, suelen fabricarse en forma de “U” o “T”. Así, se permite una distribución uniforme de las cargas. La estructura debe ser capaz de soportar las fuerzas del operario, así como las de frenado y aceleración.

En la siguiente figura se muestran las dimensiones normales de un manillar tipo “U”.

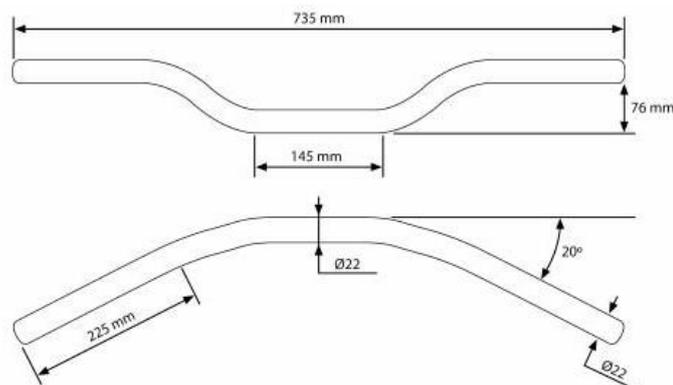


Figura B.12 – Dimensiones de un manillar tipo “U” [Nilmoto]

Se observa que, en estos elementos, la estructura se encuentra en un punto medio entre confort y resistencia. Siguiendo el modelo tipo manillar, se propone una segunda estructura de empuje como se muestra en la imagen:

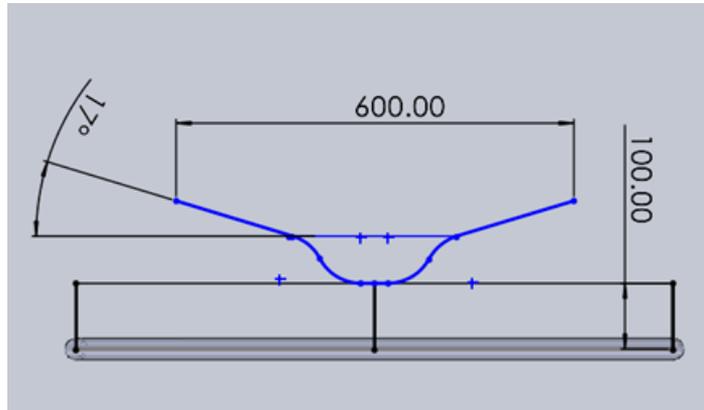


Figura B.13 – Diseño de la barra secundaria de empuje [fuente propia]

Al considerar esta barra para el uso de la carretilla mediante propulsión manual, es necesario cumplir los requerimientos de la *Normativa UNE-EN 1757* [11] en materia de carros de mantenimiento. Según indica el documento, el “Timón” o barra de empuje debe disponer de una envergadura mínima de 200 mm para cada mano. Se comprueba que el diseño presentado cumple con las indicaciones de la norma.

Por otro lado, el documento enuncia que las asas verticales deben tener una longitud vertical mínima de 300 mm. Se concluye así que el diseño propuesto de la estructura de empuje se enmarca en los límites recomendados.

2.4 Diseño total de la estructura de empuje

Seleccionando el mismo perfil y material que en el *Apartado 2.2*, se confirma el diseño total de la estructura de la siguiente manera:



Figura B.14 – Diseño de la estructura de empuje con barra secundaria [fuente propia]

PROPUESTA INICIAL ESTRUCTURA DE EMPUJE					
Barra	Alto [mm]	Ancho [mm]	Ángulo	Tipo de Barra	Material
Principal	600	860	-	Tubería 33.7 x 4.0	Aluminio 6063 – T4
Secundaria	-	600	17°	Tubería 33.7 x 4.0	Aluminio 6063 – T4

Tabla B.1 – Características iniciales estructura de empuje

3 COMPROBACIONES

Una vez seleccionado el diseño de la estructura de la barra de empuje, se procede a realizar las comprobaciones pertinentes. Previo a cualquier tipo de cálculo o simulación se debe realizar una modificación en el diseño de la base. Al disponer la estructura de barras circulares perpendicular a la base, será necesario practicar dos pequeños recortes a la superficie de la placa para evitar interferencia entre estos.

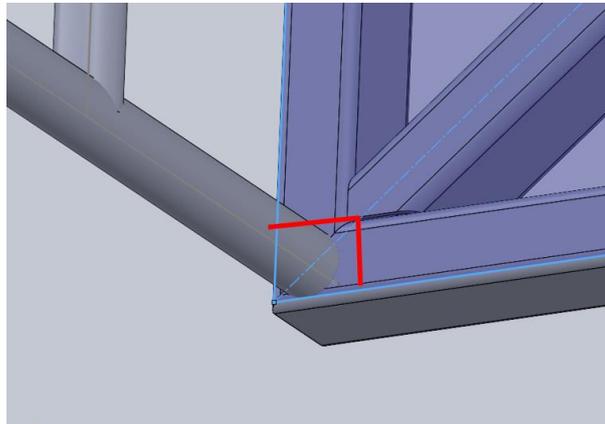


Figura B.15 – Detalle de la interferencia entre placa y tubo [fuente propia]

Se podría obviar esta situación y considerar que las uniones son rígidas y sin interferencias al realizar el modelo en el software de simulación CAD. No obstante, en el momento del ensamblaje real de la máquina se podrían dar problemas, concretamente en el soldado de las piezas. Además, imposibilitaría la oportunidad de sustituir la placa con comodidad en caso de que fuera necesario.

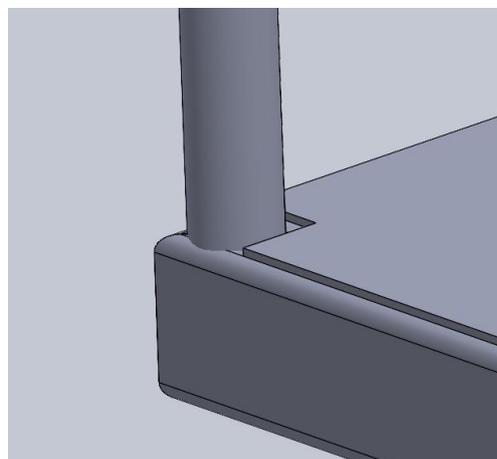


Figura B.16 – Detalle corte de la placa [fuente propia]

3.1 Análisis caso favorable

Realizado esto, se procede a llevar a cabo el análisis estático mediante la simulación en *SolidWorks* de los distintos casos siguiendo los puntos mencionados a continuación:

1. Se consideran los extremos de la base como apoyos rígidos.
2. Se considera la carga de los 16 bidones como una carga uniformemente distribuida sobre las barras de 478.56 kg. Este valor corresponde al peso del agua de los bidones aplicando un coeficiente de seguridad de 1.5
3. Se utiliza como perfil de las barras de la base el ISO – TUBO RECTANGULAR – 60x40x3.2
4. Se utiliza como perfil de las “barras de empuje” el ISO – TUBERÍA – 37.2x4.0
5. Se emplea una placa de 3 mm de espesor en la base
6. Se consideran todas las uniones rígidas (unión soldada)
7. Se emplea el material *Aluminio 6063 – T4*

Se comienza comprobando el comportamiento de la estructura en el caso “favorable” o de diseño, es decir, en el que el carro es accionado mediante la potencia del motor. De esta manera, la carga máxima a soportar es una masa distribuida que corresponde con el peso de los 16 bidones de agua. Se emplea un coeficiente de seguridad de 1,5 por lo que se dispone una carga máxima de 478.46 kg a lo largo de la superficie de la base.

Por otro lado, se sitúa sobre las barras de empuje una carga de 10 kg que representa los distintos elementos de control de velocidad. Se ha considerado un peso total mucho mayor al que realmente ejercerán los dispositivos, todo ello para asegurar que la estabilidad es correcta. Los sistemas de variación de velocidad para equipos de este tipo raramente superan los 2.3 kg, como se comprueba en distintos catálogos de proveedores como *Schneider Electric* [22].

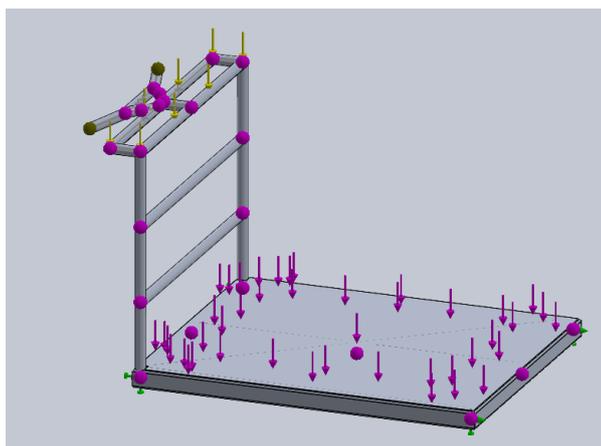


Figura B.17 – Detalle de las fuerzas consideradas en la simulación B.1 [fuente propia]

Se comprueba que el recorte realizado a la placa no ha generado variaciones significativas en los resultados de la base. Se observa una pequeña elevación en el valor de las tensiones, pero no se acercan al límite elástico de 9 MPa. En cuanto a las deformaciones, cumple dentro del rango admisible definido en deflexiones inferiores a 2 mm.

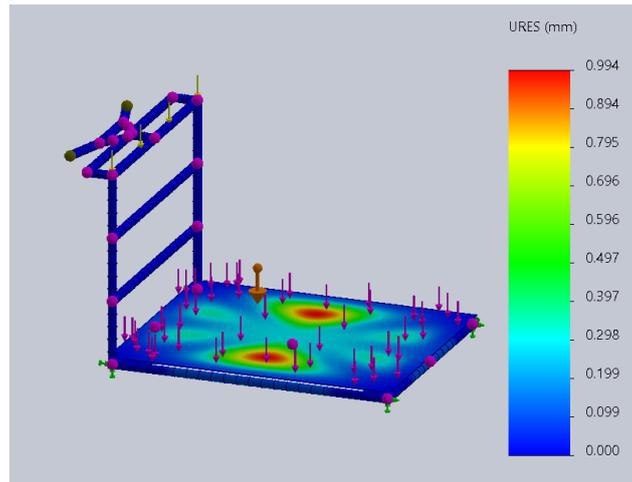


Figura B.18 – Resultados desplazamientos simulación B.1 [fuente propia]

Simulación	Desp. Máx [mm]	Tensión Máx. [N/m ²]	CUMPLE
B.1	0.994	1.686 E+07	CUMPLE

Tabla de Resultados B.1 – Estudio de Empuje y Chasis con carga nominal

3.2 Análisis caso desfavorable - empuje

De manera contraria al análisis del caso anterior, se estudia a continuación el comportamiento del carro cuando este ha sufrido un problema en el sistema de propulsión y requiere ser operado mediante el empuje del operario.

En este supuesto, se considera que la carga que se transporta es inferior a la máxima. Es decir, el peso del transporte es de menos de un tercio de las garrapas. Por lo que con el peso de la propia estructura se traslada un cuerpo de 100 kg.

La estructura se encuentra solicitada mayormente en la barra de empuje, por ello será la sección principal del estudio. Por otro lado, habiendo comprobado en varias ocasiones que la base es capaz de soportar los 320 kg, el estudio se centrará en el comportamiento de las barras verticales

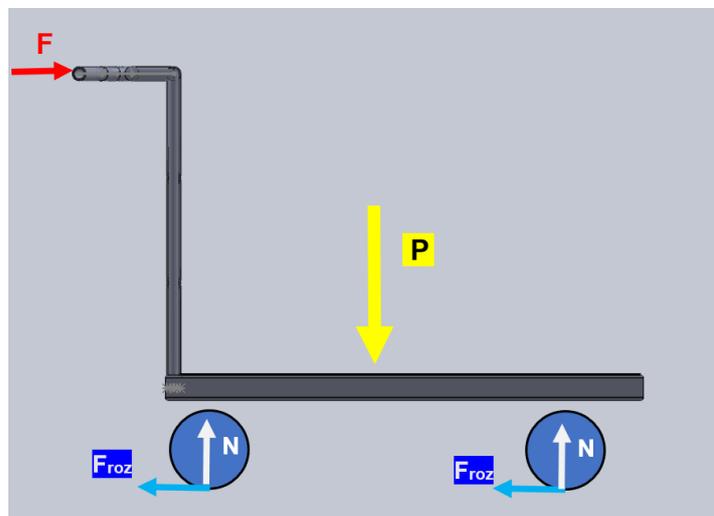


Figura B.19 – Croquis de las principales fuerzas de estudio [fuente propia]

Para poder calcular un valor aproximado de la fuerza, se estudia el carro haciendo uso del diagrama de sólido libre mostrado en la *Figura B.20* [23].

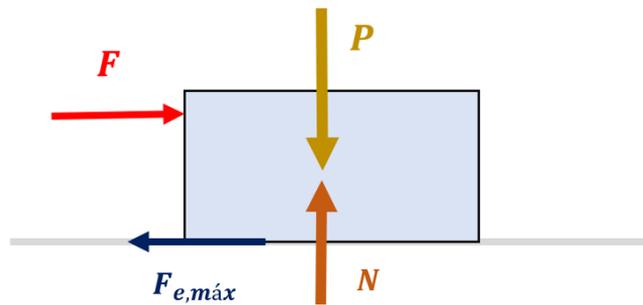


Figura B.20 – Diagrama de sólido libre del carro para estudio de empuje [Fisimat]

Se puede observar en el diagrama en rojo la fuerza F a estudiar, la cual representa el valor máximo necesario para vencer la fricción estática del suelo cuando el objeto está en reposo. Esta fuerza se denota como $F_{e,máx}$.

La razón por la que esta fuerza es máxima es porque una vez que el objeto comienza a moverse, el coeficiente de fricción disminuye significativamente, pasando de ser estático a dinámico. La evolución de esta fuerza se muestra en la gráfica a continuación:

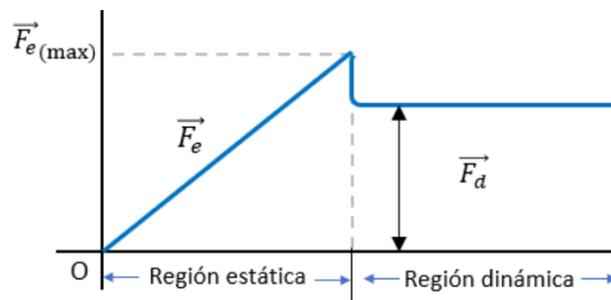


Figura B.21 – Gráfica de la evolución de la fuerza [Fisimat]

La expresión de la fuerza de fricción estática corresponde con la mostrada a continuación:

$$F_{e,máx} = \mu_e F_N \quad (\text{ec.1})$$

Siendo:

μ_e – coeficiente de fricción estática

F_N – fuerza normal

Según los coeficientes de fricción estática mostrados en la *Tabla B.2* [24], se considera utilizar un valor intermedio de 0.4 que se adecúe a la situación en la que operará el carro.

Coeficiente de fricción estática μ_e	
Goma sobre terreno firme	0.3-0.6
Goma sobre grava suelta	0.4-0.6
Goma sobre arena no compacta	0.2-0.4
μ_e seleccionado	0.4

Tabla B.2 – Coeficientes de fricción estática según material de la rueda y suelo [Finesoftware]

Siendo la fuerza normal el valor del peso considerado (en este caso 100 kg) multiplicado por el valor de la gravedad establecido $9,81 \text{ m/s}^2$, resulta que:

$$F_N = 981 \text{ N}$$

$$F_{e,m\acute{a}x} = F = \mu_e F_N = 0.4 \cdot 981 = 392.4 \text{ N}$$

Habiendo obtenido un valor de cálculo para comprobar la estabilidad de la estructura de empuje, se realiza la simulación del análisis estático correspondiente.

Se dispone la fuerza de 392.4 N sobre la barra de empuje. Tal y como se hizo en el caso anterior, se considera que el peso de los dispositivos y complementos que se dispondrán sobre la barra ascienden a 10kg. En la *Figura B.22* se observa en detalle las fuerzas consideradas en la simulación. Las flechas amarillas corresponden con el peso de los dispositivos de variación de velocidad.

Por otro lado, las flechas rojas simulan la fuerza de empuje realizada por el usuario para mover el carro. De la misma manera que en casos anteriores, el sistema de flechas verdes que se sitúa en los extremos inferiores de la estructura se trata de la restricción de unión de las barras, en este caso, una unión rígida (soldada).

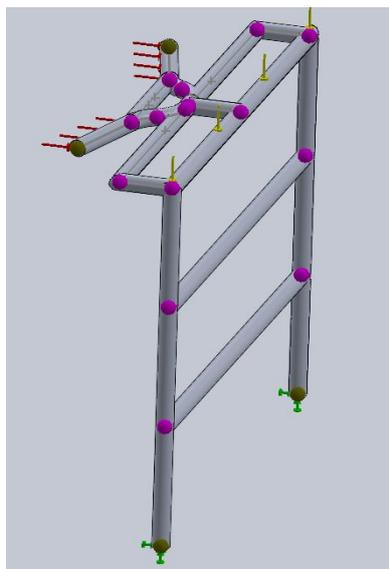


Figura B.22 – Detalle de las fuerzas consideradas en la simulación B.2 [fuente propia]

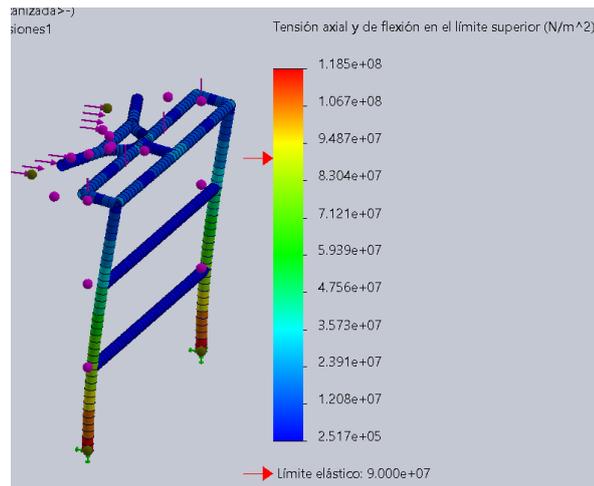


Figura B.23 – Resultados tensiones simulación B.2 [fuente propia]

Tras realizar la simulación se observa que se superan los valores de tensión admisible. Al ser una estructura muy esbelta y apoyada únicamente en la base, los valores de desplazamiento son más altos que los admitidos para este proyecto.

Simulación	Desp. Máx [mm]	Tensión Máx. [N/m2]	NO CUMPLE
B.2	16.68	1.185 E+08	

Tabla de Resultados B.2- Estructura de empuje en caso desfavorable [fuente propia]

Se han evaluado dos posibles opciones para solucionar el problema con la estructura de empuje:

- 1. Cambio de perfiles:** Modificar la sección de las tuberías, aumentando el tamaño y a la vez su resistencia. De esta manera se adecuará mejor la estructura a los requisitos de la instalación.
- 2. Implementar apoyos o tensores:** esta opción se centra en disponer distintos elementos de manera estratégica, que otorguen mayor estabilidad y fortalezcan la estructura para garantizar que cumplan con la fuerza a soportar.

Por sencillez de diseño y evitar una estructura sobrecargada de elementos, se opta por la primera opción: el uso de perfiles de mayor envergadura. Para esta sección del carro y según los tipos de tuberías disponibles de los proveedores del país (los cuales se encuentran en el capital), se decide utilizar tuberías tipo ANSI. Se decide optar por la tubería S40-1.5 SCH. En este tipo de perfiles la nomenclatura S40 hace alusión a la clasificación de espesor de pared de tipo Schedule 40 y 1.5 al valor del diámetro en medidas inglesas.

Se presenta como nuevo perfil para la instalación, por lo tanto, la Tubería S40-1.5 SCH, correspondiendo con las dimensiones mostradas en las siguientes figuras:

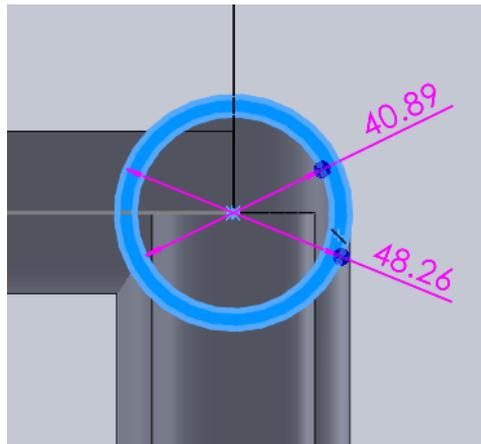


Figura B.24 – Dimensiones del nuevo perfil para la sección de empuje [fuente propia]

	Tipo de Perfil	Área [mm ²]	Espesor
Anterior	Tubería 33.7 x 4.0	373.22	4
Nuevo	Tubería S40-1.5 SCH	516.03	3.685

Tabla B.3 – Comparativa perfiles de tubería estructura de empuje [fuente propia]

Con este nuevo perfil se ha aumentado la sección. Tras realizar el cambio en el modelo y llevar a cabo el análisis, se comprueba que se cumplen los valores aceptables para el material y para la instalación.

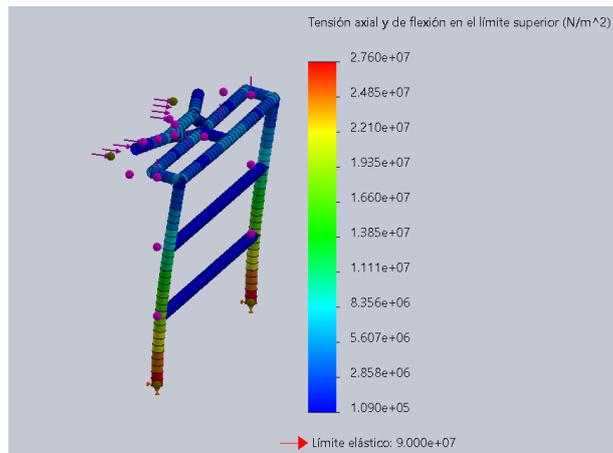


Figura B.25 – Resultados tensión simulación B.3 con nuevos perfiles [fuente propia]

Simulación	Desp. Máx [mm]	Tensión Máx. [N/m ²]	CUMPLE
B.3	1.83	2.76 E+07	CUMPLE

Tabla de Resultados B.3 –Empuje en caso desfavorable – nuevo perfil [fuente propia]

3.3 Análisis numérico – caso desfavorable

Una vez realizadas las comprobaciones mediante simulaciones, se considera oportuno realizar un pequeño cálculo estimado que confirme que los valores obtenidos en el software son correctos. Para ello se utiliza el *Prontuario Básico de Estructuras Simples* [12]. Tomando el caso a estudiar como el de una viga empotrada en voladizo con una fuerza en un extremo:

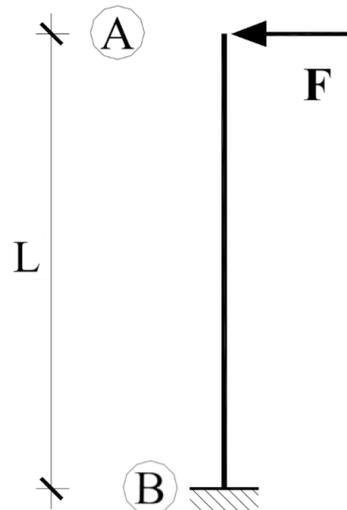


Figura B.26 – VIGA SIMPLE EN VOLADIZO: carga puntual F en extremo [Prontuario B. Estructuras]

Según expone el prontuario, para el caso expuesto, se obtiene la deformación máxima mediante la siguiente expresión:

$$y_A = \frac{FL^3}{3EI} \quad (\text{ec.2})$$

$$F - \text{fuerza ejercida} = 398.24 \text{ N}$$

$$E - \text{Módulo Elástico del Aluminio 6063 – T4} = 6.9 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$I - \text{Inercia Tubería s40 – 1.5 SCH} = 25.8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

De esta manera, la deformación obtenida según la expresión resulta:

$$y_A = \frac{FL^3}{3EI} = \frac{392.4 \cdot 600^3}{3 \cdot 6.9 \cdot 10^4 \cdot 25.8 \cdot 10^4} = 1.58 \text{ mm}$$

Se observa un resultado prácticamente idéntico al obtenido a través de la simulación en SolidWorks (1,83 mm). Esto confirma la correcta realización de la simulación. Las diferencias en los resultados se deben a que la precisión del software es considerablemente mayor que al realizar una estimación a través de un prontuario. Además, en la estructura real intervienen más barras que distribuyen los esfuerzos de manera diferente.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla los resultados obtenidos mediante software y cálculos de los ensayos estáticos en el caso desfavorable.

Desp. Simulación Software [mm]	Desp. Cálculo Analítico [mm]	CUMPLEN
1.83	1.58	

Tabla de Resultados B.4 – Comparativa desplazamientos software y numérico [fuente propia]

4 ESTUDIO DE VIBRACIONES

Se procede a realizar en este apartado un estudio de vibraciones mecánicas de la estructura de empuje con el objetivo de evaluar el comportamiento dinámico de las barras bajo las condiciones de operación.

Este estudio permitirá verificar si la estructura es capaz de soportar las vibraciones generadas por el motor eléctrico sin sufrir daños y garantizar así la vida útil del carro. Este análisis demuestra si se ocasionarán problemas como resonancias que puedan ocasionar roturas o el desmontaje del equipo.

Para la realización de este cálculo, se tomarán las mismas consideraciones que en el *Apartado 3.3*, asumiendo de manera estimada que el lado transversal de la estructura de empuje se comporta como una viga simple en voladizo. Así, la deflexión generada en el extremo se determina mediante la ecuación 2 presentada anteriormente

$$y_A = \frac{FL^3}{3EI}$$

Siendo la rigidez de la estructura el cociente entre la fuerza aplicada y su deformación, es posible obtenerla de la siguiente manera:

$$k = \frac{F}{y_A} = \frac{3EI}{L^3}$$

$$k = \frac{3 \cdot 6.9 \cdot 10^4 \cdot 25.8 \cdot 10^4}{600^3} = 247.25 \frac{N}{mm} = 247.25 \cdot 10^3 \frac{N}{m}$$

Según se expone en el libro *Vibraciones Mecánicas* [25], la frecuencia natural en la dirección transversal está dada por la siguiente expresión:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{ec.3})$$

Siendo (m) la masa de la estructura de empuje. Esta se obtiene fácilmente y de manera precisa mediante el programa de modelaje CAD, al aplicar el material Aluminio 6063-T4, muestra que el cuerpo asciende a 7.22 kg (70.83 N).

Conocido el dato y resolviendo la ecuación 3:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{247250}{7.22}} = 185.05 \text{ rad/s}$$

Por lo tanto, el periodo natural de la estructura se define como:

$$\tau_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (\text{ec.4})$$

$$\tau_n = \frac{2\pi}{185.05} = 0.034 \text{ sec}$$

Conocida la frecuencia y el periodo natural de la estructura, es posible comparar estos valores con los de operación del motor eléctrico. Se observa que en el ANEXO C el valor de velocidad angular máxima está calculado, concretamente en el Apartado 5.1.

$$\omega_{motor} = \frac{1.67}{0.13} = 12.85 \text{ rad/s}$$

De esta manera, se comprueba que la frecuencia natural del carro es mucho mayor, eliminando el riesgo de resonancia.

Frecuencia natural estructura de empuje ω_n [rad/s]	Frecuencia del motor ω_{motor} [rad/s]	CUMPLE
185.05	12.85	

Tabla de Resultados B.5 – Comparativa valores de frecuencia – Estudio de vibraciones [fuente propia]

5 DISEÑO FINAL DE ESTRUCTURA DE EMPUJE

Tras las propuestas y simulaciones, se presenta el diseño final de la estructura de empuje. Se confirma así que el carro es dotado de una sección óptima de agarre y movilidad.

CARACTERÍSTICAS FINALES ESTRUCTURA DE EMPUJE					
Barra	Alto [mm]	Ancho [mm]	Ángulo de las barras	Tipo de Barra	Material
Principal	600	900	-	Tubería S40-1.5 SCH	Aluminio 6063 – T4
Secundaria	-	600	17°	Tubería S40-1.25 SCH	Aluminio 6063 – T4

Tabla B.4 – Características Finales Estructura de Empuje [fuente propia]

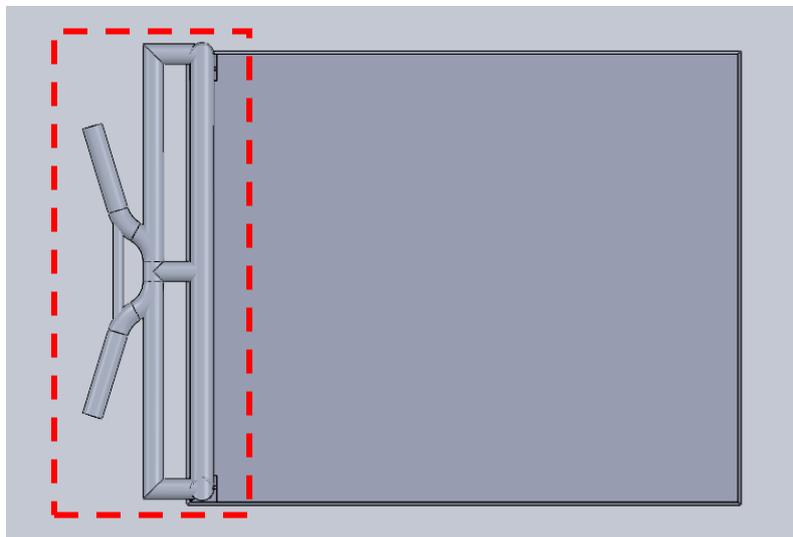


Figura B.27– Vista superior de la Estructura de Empuje (rojo) sobre el Chasis del carro [fuente propia]



Figura B.28 – Estructura de Empuje sobre el Chasis del carro [fuente propia]

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

**ANEXO C – SELECCIÓN DEL EQUIPO DE
PROPULSIÓN**

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:

ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE ANEXO C – SELECCIÓN EQUIPO DE PROPULSIÓN

1	INTRODUCCIÓN	2
2	DEFINICIÓN DE “EQUIPO DE PROPULSIÓN”	2
2.1	Qué es un equipo de propulsión	2
2.2	Tipos de carros motorizados según su equipo de propulsión	3
2.3	Justificación de la selección de propulsión de tipo eléctrico.....	3
3	REQUERIMIENTOS DE USO	4
4	TIPOS DE ELEMENTOS DE PROPULSIÓN:	5
4.1	Motores Eléctricos	5
4.1.1	Motorreductores	6
4.2	Baterías eléctricas	7
5	PROPUESTA DE EQUIPO DE PROPULSIÓN:	7
5.1	Cálculo de las prestaciones del equipo	7
5.2	Selección del tipo de equipo	12
5.3	Selección final del equipo	15
5.3.1	Motor seleccionado.....	15
6	ESTUDIO ESTÁTICO	19
6.1	Análisis CHASIS - MOTOR.....	19
6.2	Análisis CHASIS - BATERÍA.....	22
7	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE VARIACIÓN DE VELOCIDAD	24
7.1	Requisitos del equipo.....	24
7.2	Equipos disponibles en el mercado	25
7.3	Selección del equipo de variación de velocidad	25
7.3.1	Variador de frecuencia tipo caja	25
7.3.2	Variador tipo vehículo de movilidad personal	26
8	RUEDAS Y EQUIPO DE FRENADO	29
8.1	Selección de las ruedas.....	29
8.1.1	Ruedas delanteras.....	30
8.1.2	Ruedas traseras.....	30
9	TABLA DE CARACTERÍSTICAS	32

1 INTRODUCCIÓN

Este anexo tiene el objetivo de realizar la selección del equipo de propulsión del carro motorizado destinado a la función principal del transporte de garrafas de agua desde un pozo a una distancia de alrededor de 2 kilómetros.

Un transporte eficiente y seguro es vital ya que tanto el elemento de transporte (el agua), como la energía necesaria para realizar la propulsión, son bienes escasos y necesarios en la comunidad senegalesa. Es crucial seleccionar un equipo confiable, eficiente y duradero que sea capaz de cumplir con los requerimientos de la instalación y del ambiente de operación.

A lo largo de este tercer anexo, se expondrán las condiciones de operación, así como los requerimientos de la instalación con el fin de justificar cada una de las selecciones. Se realizará la comparación de las distintas opciones en el mercado, evaluando sus características. De esta manera, se cumplirá el objetivo de dotar al carro de un equipo completo de motor, baterías y actuadores que garanticen el transporte eficiente y seguro de la carga.

2 DEFINICIÓN DE “EQUIPO DE PROPULSIÓN”

2.1 Qué es un equipo de propulsión

A lo largo de este documento, se considerará como “equipo de propulsión” el conjunto de elementos que formen parte del sistema encargado del movimiento del carro. Dicho equipo realizará la fuerza de empuje necesaria para transportar la carga sobre el carro, evitando así que sea llevada a cabo por el operario.

En carretillas motorizadas (así como en vehículos o instrumentos similares tales como patinetes eléctricos o equipos de jardinería industriales) el sistema de propulsión consta de los siguientes elementos:

- **Motor:** Se trata de la fuente de energía que proporciona la fuerza para realizar el movimiento. Su potencia se puede obtener mediante los distintos tipos (principalmente eléctricos o de combustión).
- **Transmisión:** Sistema que se encarga de trasladar la potencia generada por el motor hacia los sistemas de tracción del vehículo. Dependiendo de los requerimientos del instrumento, pueden incluir elementos como embragues, sistemas de engranajes, etc.
- **Sistema de control:** dispositivos encargados de modular y gestionar la potencia en los elementos de tracción. Entre ellos se encuentran los sistemas de tracción o los variadores de potencia.

La selección de uno u otros elementos para el equipo de propulsión de la carretilla se verá determinada por las necesidades de la instalación y las condiciones de operación.

2.2 Tipos de carros motorizados según su equipo de propulsión

Tal y como establece la *Directiva del Consejo de la Unión Europea 22-12-86* [26] y según exponen los principales fabricantes de este tipo de maquinarias, es posible distinguir el tipo de carretilla según su elemento y equipo de propulsión. En este documento se considerarán dos grandes tipos en torno a su fuente de alimentación:

- **Carros de motor de combustión:** este tipo de máquinas suelen estar provistas de un motor de combustión interna, mayoritariamente con motores de gasolina de 4 tiempos. Dichas máquinas disponen de cilindradas de 125 cc hasta los 200 cc. El tamaño de estas cámaras depende de las condiciones de operación y de la carga nominal (carga máxima a soportar).

Estos productos están especialmente diseñados para aplicaciones profesionales, ya que las carretillas motorizadas de gasolina garantizan un rendimiento óptimo en diversos terrenos, incluso en pendientes considerables.

- **Carros de motor eléctrico:** en este tipo de instrumentos, la propulsión de estas es realizada por motores eléctricos, los cuales utilizan baterías recargables como fuente de energía. La electricidad proveniente de alguna fuente de alimentación es almacenada en baterías de tipo plomo-ácido o de iones de litio. La selección de uno u otro tipo viene determinada por el tiempo y potencia necesaria en operación.

Su uso en la industria ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a la principal ventaja de no depender de un combustible fósil para su utilización.

2.3 Justificación de la selección de propulsión de tipo eléctrico

Para el diseño del carro motorizado en el poblado senegalés, se ha considerado la implementación de un equipo de propulsión eléctrico. Esta decisión se sustenta por diversas razones, tanto técnicas como estratégicas.

Por un lado, proporcionan un manejo más sencillo y preciso debido a la posibilidad de implementar sistemas de control de velocidad o de dirección asistida. Al contrario que los modelos de combustión, estos operan sin vibraciones y reduciendo casi al máximo los ruidos generados. Además, los equipos eléctricos requieren un bajo mantenimiento, algo primordial en la carretilla de este proyecto ya que la durabilidad del equipo es uno de los requerimientos esenciales.

Otra de las principales ventajas del uso de este tipo de carretillas es que su funcionamiento reduce por completo la emisión de contaminantes. Al no depender de combustibles fósiles, las carretillas eléctricas contribuyen a reducir la contaminación ambiental y son una opción más sostenible.

Por otro lado, la ubicación del poblado (así como la situación socioeconómica de su población), plantea un desafío en términos de acceso a recursos básicos energéticos. En el área remota donde se sitúa el poblado, el acceso al suministro de gasolina es escaso a la par que costoso. Crear una dependencia para la utilización del carro alrededor de un bien de difícil acceso sería poco práctico.

La infraestructura eléctrica de la que disponen este tipo de poblados suele ser deficiente o inexistente. En el caso del lugar de operación de la carretilla, afortunadamente, se dispone de una instalación de paneles solares, los cuales se encargan de la captación de energía fotovoltaica y de proveer de energía eléctrica a la población. Esto permite a la comunidad generar su propia electricidad, así como tener una fuente de energía para alimentar la carretilla.

En conclusión, se considera que la implementación de un equipo de propulsión eléctrico en el diseño del carro motorizado es la opción más acertada. Esto se debe tanto a sus beneficios en prestaciones, mantenimiento y sostenibilidad, como a su alta practicidad en un poblado de acceso remoto.

3 REQUERIMIENTOS DE USO

Para la elección de los distintos elementos que formarán parte del equipo de propulsión de la carretilla, se considera necesario establecer los requerimientos específicos a cumplir. De esta manera, será posible justificar la

selección de los equipos, así como garantizar la mejor eficiencia de este. Se procede a enumerar los requisitos:

1. **Carga nominal:** según establece la *Norma UNE-EN 1757:2023* [11], la carga nominal se define como la capacidad máxima de carga que soportará la carretilla de forma segura. Tal y como se ha contemplado en anexos anteriores, la carga de mayor calibre que transportará la estructura será de 320 kg (correspondiente al transporte de 16 bidones de agua de 20 litros).

El motor eléctrico deberá ser capaz de proporcionar la potencia suficiente como para comenzar el movimiento, considerando el peso propio del carro y su carga nominal. Deberá, además, mantener el movimiento de este.

2. **Velocidades del carro:** debido a que la carga nominal de la carretilla es elevada y a que la propulsión del vehículo se llevará a cabo con el operario a pie, se establece como velocidad máxima de propulsión 6 km/h.

De esta manera, siguiendo las recomendaciones de la Norma [11], se pretende disminuir los riesgos por atropello, aplastamiento o arrastre. Además, una velocidad reducida aumenta la estabilidad de la carga transportada evitando cualquier tipo de fallo por vuelque.

- 3. Condiciones de operación:** El equipo seleccionado deberá soportar las condiciones desérticas y extremas del poblado. El motor y los elementos de tracción deberán ser capaces de operar sobre un terreno arenoso e irregular, permitiendo un transporte constante y seguro.

Todo el equipo eléctrico (en especial las baterías) deberá soportar las altas temperaturas y la exposición a polvo y arena sin ocasionar fallos que pongan en peligro la seguridad del carro o del operario.

- 4. Tiempo de operación:** la carretilla motorizada debe disponer de un equipo de baterías que proporcionen una duración de uso adecuado para cubrir las necesidades diarias. Como mínimo, será necesario poder realizar tres trayectos de ida y vuelta del poblado al pozo sin la necesidad de un intercambio o recarga de baterías. Dada la falta de infraestructura eléctrica en el poblado, se debe tener en cuenta la ubicación y accesibilidad a los puntos de carga de la batería, así como el tiempo necesario para completar la alimentación.
- 5. Durabilidad del equipo:** de manera análoga al resto de la infraestructura de la carretilla, el acceso a recursos y servicios técnicos en el poblado es altamente limitado. Es crucial que el equipo sea duradero y resistente, así como que los materiales sean de alta calidad y capaces de soportar un uso intensivo.

Expuestos los cinco requerimientos principales del equipo de propulsión del carro, se remarcan otros aspectos importantes a la hora de la selección como el precio, para optimizar y alcanzar un equilibrio entre en el precio de adquisición y las prestaciones ofrecidas. Además, se considera importante seleccionar equipos que minimicen la contaminación ambiental, considerando dichos requerimientos de los principales a la hora de la selección del tipo de baterías.

4 TIPOS DE ELEMENTOS DE PROPULSIÓN:

Existe un amplio abanico de posibilidades y características distintas dentro de los sistemas de propulsión eléctricos. En el caso de los vehículos de transporte como el carro motorizado, se utilizan diferentes tipos de motores y baterías para impulsar el vehículo. En este apartado se proporciona una descripción general de los tipos más comunes utilizados:

4.1 Motores Eléctricos

- **Motores de Corriente Continua (CC):** Este tipo de motores son utilizados debido a su simplicidad y capacidad para generar un alto par motor a bajas velocidades. Funcionan mediante la creación de un campo magnético dentro de la carcasa del motor, requieren de imanes o bobinas electromagnéticas. Es la corriente eléctrica que pasa a través de estas la que produce el par de fuerza.

Es posible distinguir dos tipos principales de motores de corriente continua utilizados en vehículos eléctricos:

- **Motores CC con escobillas:** emplean un diseño con escobillas y un conmutador mecánico que invierte la dirección de la corriente en las bobinas y mantiene el giro del rotor. Son menos eficientes y requieren un mayor mantenimiento debido al desgaste de las escobillas.
- **Motores CC sin escobillas:** Estos motores utilizan imanes permanentes en el rotor y controladores electrónicos para regular la conmutación de las bobinas. Ofrecen una mayor eficiencia, menor mantenimiento y una vida útil más larga en comparación con los motores con escobilla. Además, tienen una respuesta más rápida y son más adecuados para aplicaciones de alta velocidad.

Por otro lado, si se distinguen según el tipo de corriente que reciben, el otro gran grupo de motores se trata de los de corriente alterna.

- **Motores de corriente alterna (CA):** Los motores de corriente alterna (CA) se utilizan cada vez más en vehículos eléctricos debido a su eficiencia y capacidad para aprovechar la regeneración de energía al frenar. Estos motores utilizan corriente alterna para crear un campo magnético que hace girar el rotor. La velocidad y la dirección del motor se controlan mediante la frecuencia y el voltaje de la corriente alterna suministrada.

4.1.1 Motorreductores

Una posibilidad muy adoptada para el diseño de vehículos de transporte como el carro motorizado son los motores reductores de velocidad o motorreductores. Estos equipos combinan un motor eléctrico con un sistema de reducción de velocidad una sola unidad compacta. Al constar de estos dos componentes, la caja de engranajes integrada se encarga de reducir la velocidad de salida del motor, a la vez que transmite el par torsional necesario.



Figura C.1 – Ejemplo de motorreductores [ROYDISA]

El uso de un equipo único de motor y reductor simplifica la instalación ya que reduce el tamaño y la complejidad del sistema. Estos equipos mejoran la eficiencia energética al adaptar la velocidad de rotación en función de las necesidades específicas.

Según expone la empresa ROYDISA [27], el abanico de posibilidades con estos equipos es bastante alto, operando con motores desde 0.12 hasta 160 kW o con pares de fuerza de hasta 26000 Nm.

4.2 Baterías eléctricas

- **Baterías de iones de litio (Li-ion):** estas baterías se utilizan debido a su alta densidad de energía, larga vida útil y peso más ligero que otras similares. Ofrecen una buena relación autonomía-peso y son adecuadas para la mayoría de los vehículos de transporte eléctricos.
- **Baterías de polímero de litio (Li-Po):** tienen los mismos beneficios que las baterías de iones de litio, pero usan estructuras de polímero en lugar de celdas individuales. De esta manera consiguen ser delgadas y flexibles.
- **Baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄):** estas se utilizan debido a su estabilidad térmica y química, lo que las hace resistentes al fuego o altas temperaturas. Aunque consumen menos energía que las baterías de iones de litio, ofrecen una vida más larga y una mayor seguridad.
- **Batería líquida:** la batería de flujo es una tecnología “nueva” en el campo. Almacenan energía en un líquido y usan un electrolito para transferir carga eléctrica. Su principal problema son sus grandes dimensiones y peso.

5 PROPUESTA DE EQUIPO DE PROPULSIÓN:

5.1 Cálculo de las prestaciones del equipo

En este apartado se realizarán los cálculos necesarios para justificar la selección del motor y batería para la carretilla motorizada. Se analizarán las diferentes prestaciones de los equipos, incluyendo la potencia necesaria o la autonomía requerida, entre otros. De esta manera, será posible determinar los requisitos específicos a cumplir para garantizar una operación óptima.

Al igual que en el resto de los estudios de este proyecto, se sitúa el carro en el supuesto del caso más desfavorable. Por lo tanto, la carga transportada es igual a la carga nominal (320 kg), correspondiente a los 16 bidones de agua que se pueden situar sobre la base de la carretilla. Se obtiene así la fuerza resistente máxima a vencer; por ende, el momento torsor que deberá proporcionar el motor a las ruedas para vencerlo.

Operando de manera análoga al caso expuesto en el *Apartado 3.2 del Anexo B*, será necesario calcular la fuerza estática máxima. Así, se obtiene el valor máximo a ejercer para superar dicha fricción estática que presenta el carro con el suelo cuando se encuentra en reposo

$$F = F_{e,m\acute{a}x} \quad (\text{ec.1})$$

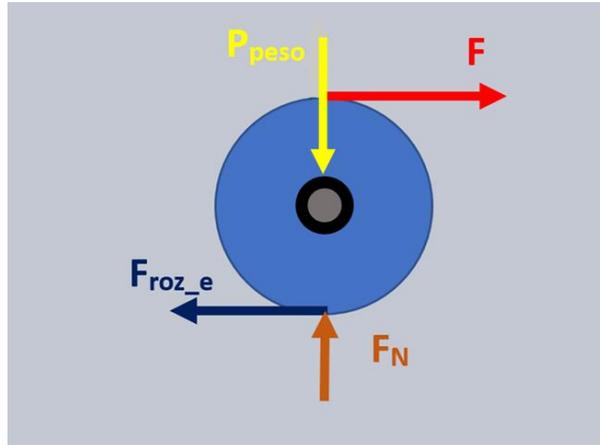
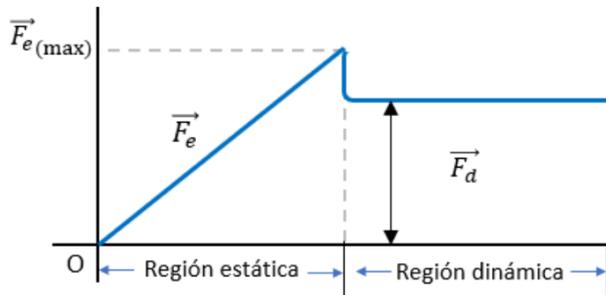


Figura C.2 – Diagrama de las fuerzas actuantes en la rueda [fuente propia]

En la *Figura C.2*, se observa de color azul oscuro la fuerza de fricción estática de la rueda. Como se ha expuesto, será necesario proporcionar una fuerza mayor a esta para comenzar el movimiento. Una vez alcanzado dicho punto, la fuerza a ejercer disminuye debido a que el coeficiente de fricción pasa a ser dinámico (*Figura C.3* [23]).



Gráfica de la evolución de la fuerza [Fisimat]

Figura C.3 –

Una vez conocida la fuerza necesaria, será posible obtener el par a ejercer por el motor mediante la expresión:

$$M_T = F_{e,m\acute{a}x} \cdot r \quad (\text{ec.2})$$

Siendo:

M_T = el par o momento torsor a ejercer por el motor

F = fuerza de fricción estática

r = radio de la rueda

Para obtener la fuerza de fricción estática se utilizará la misma expresión que en el Anexo B:

$$F_{e,m\acute{a}x} = \mu_e F_N \quad (\text{ec.3})$$

μ_e – coeficiente de fricción estática

F_N – fuerza normal

Para realizar los cálculos, se tomará como coeficiente de fricción estática 0.4, de la misma manera que en el estudio realizado anteriormente. Este valor aproximado viene dado de las condiciones del terreno y el material de las ruedas, es decir, goma sobre arenas y gravas sueltas.

Coeficiente de fricción estática μ_e	
Goma sobre terreno firme	0.3-0.6
Goma sobre grava suelta	0.4-0.6
Goma sobre arena no compacta	0.2-0.4
μ_e seleccionado	0.4

Tabla C.1 – Coeficientes de fricción estática según material de la rueda y suelo [Finesoftware]

En este estudio se toma como fuerza total del carro 365 kg, correspondientes al peso del carro (45 kg) junto con la carga nominal transportada (320 g). Al multiplicar por el valor de la gravedad establecido, 9,81 m/s², resulta que:

$$Carga\ total = 365 \cdot 9.81 = 3580.65\ N \quad (\text{ec. 4})$$

Esta carga total se repartirá sobre las cuatro ruedas en función de cómo esté dispuesta la carga. Al suponer que se transportan los 16 bidones, se considera que la carga nominal está uniformemente distribuida. Por otro lado, el peso de la estructura de empuje y el equipo de baterías que irá dispuesto en ella, hacen que el peso sea mayor en la parte trasera. Es posible estimar una distribución del peso como se muestra en la siguiente figura:

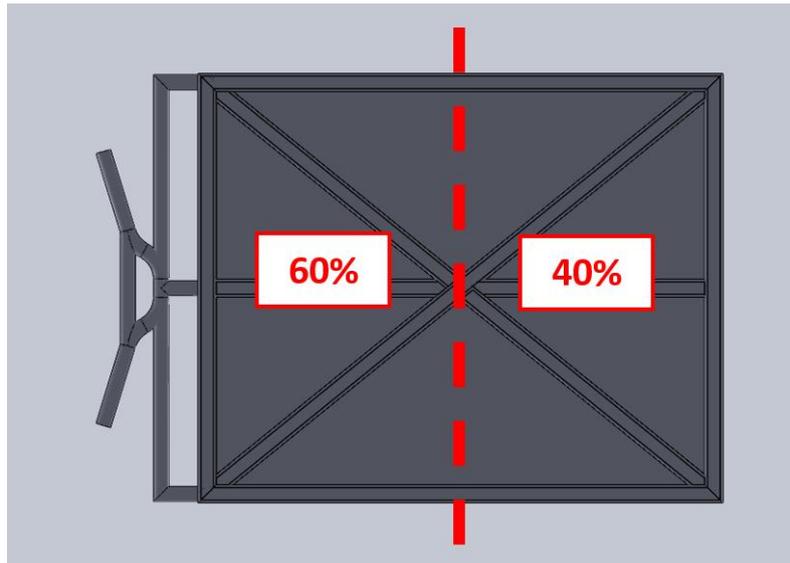


Figura C.4 – Diagrama de distribución del peso del carro con carga nominal

De esta manera, es posible determinar la carga en cada uno de los apoyos (ruedas) haciendo uso de la matriz base que se expone en el libro de *Manual de Acústica, Ruido y Vibraciones* [28].

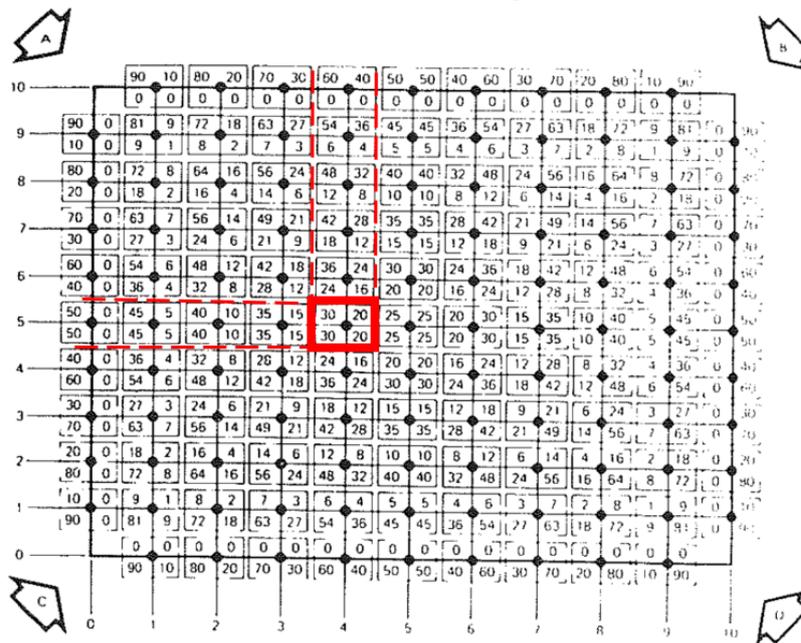


Figura C.5 – Matriz para determinar la carga en los apoyos [M. de Acústica, Ruido y Vibraciones]

En la *Figura C.5*, en un cuadrado rojo, se observa la distribución en un tanto por ciento. Este punto se obtiene accediendo a la gráfica mediante una distribución homogénea en el eje longitudinal del carro (50/50) y una carga de (60/40) en el eje transversal como se mostró en el diagrama.

La matriz nos indica que las ruedas traseras reciben (cada una) un 30% de la carga total (4). Por otro lado, las delanteras soportan un 20%. Como se ha considerado que las ruedas que reciben la potencia del motor (es decir, las traccionadas) serán las delanteras, el estudio se centrará en estas.

Conocida la distribución de las cargas en los apoyos, es posible calcular la fuerza normal que incide sobre cada rueda delantera, y por consiguiente la fuerza de fricción estática que se genera:

$$F_{N_delanteras} = \text{carga nominal} \cdot 20\% = 3580.65 \cdot 0.2 = \mathbf{716.13 N}$$

$$F_{e,m\acute{a}x} = \mu_e F_N = 0.4 \cdot 716.13 = \mathbf{286.45 N}$$

El momento torsor es una medida del esfuerzo aplicado en un eje de rotación. Se obtiene, por lo tanto, mediante la expresión:

$$M_T = 286.45 \cdot 0.13 = \mathbf{37.24 Nm} \quad (\text{ec.5})$$

Mediante el par o momento torsor necesario para comenzar el movimiento, ya es posible comenzar la selección de un motor frente a otro ya que este es uno de sus valores característicos. No obstante, otros parámetros deberán ser considerados (como la velocidad angular o las dimensiones). La velocidad de giro necesaria para el motor viene determinada por la velocidad lineal máxima a la que operará el carro, es decir, 6 km/h. Habiendo seleccionado unas ruedas de 260 mm de diámetro:

$$\text{velocidad angular} \rightarrow \mathbf{w} = \frac{v}{r} \quad (\text{ec.6})$$

Siendo

$$- \text{radio de la rueda} \quad r = \frac{260}{2} = 0.13 \text{ m}$$

$$- \text{velocidad lineal} \quad v = 6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mathbf{w} = \frac{1.67}{0.13} = \mathbf{12.85 \text{ rad/s}}$$

Obteniendo el valor en revoluciones por minuto:

$$\mathbf{n} = \frac{w \cdot 60}{2\pi} = \frac{12.85 \cdot 60}{2\pi} = \mathbf{122.71 \text{ rpm}} \quad (\text{ec.7})$$

Otra característica fundamental para la selección del motor será su potencia nominal. Siendo esta una medida de la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo se determina de la siguiente manera:

$$\mathbf{P} = M_T \cdot w = 37.24 \cdot 12.85 = \mathbf{478.53 W} \quad (\text{ec.8})$$

5.2 Selección del tipo de equipo

De entre todas las opciones posibles se ha decidido seleccionar un equipo de tipo motorreductor y de corriente continua para la propulsión de la carretilla motorizada. La principal razón por la que se selecciona este tipo de equipo es debido a su capacidad de proporcionar un par de fuerza mayor a partir de un motor de menor tamaño. Al no depender de la instalación de un complejo sistema de engranajes o de disponer una caja de cambios para satisfacer la alta relación de reducción de velocidad necesaria, se reducen las dimensiones del equipo a la vez que su peso.

Como se expuso en el *Apartado 4* de este Anexo, estos motorreductores están diseñados con una base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales. Al contrario que otras opciones posibles como sistemas de cadenas, estos equipos operan a velocidades angulares bajas de manera eficiente. Es decir, proporcionan unas prestaciones fiables y estables a través de un equipo compacto y ligero en comparación con otras opciones.

Una opción posible de motorreductores es el de tipo coaxial. En estos equipos, los engranajes de entrada y salida están alineados, por lo que la máquina realiza una transmisión directa.



Figura C.6 – Motorreductor Coaxial [Rossi]

Según datos de fabricantes, existe un amplio abanico de este tipo de motores, los cuales ofrecen distintas prestaciones en función de las necesidades, tal y como se observa en la siguiente tabla:

	Ø [mm]	Momento torsor de salida M [Nm]	Ratio (i)	
		Max	Min	Max
H030	25	200	4.70	245.70
H040	19-30	300	1.44	282.10
H050	24-35	500	1.27	267.65
H060	28-35-40	850	1.34	268.00
H080	38-40-50	1800	1.30	222.78
H100	48-60	3600	1.29	242.59
H125	55-70	5000	1.23	230.92
H140	90	8000	5.27	206.08

Tabla C.2 – Características motorreductores tipo coaxial [ROYDISA]

Como se observa en la *Tabla C.2* [27], la selección de motores del catálogo expuesto cumpliría con las necesidades. Además, las dimensiones del eje concuerdan con el tipo de vehículo del que formaría parte, siendo capaz de situarse en la base del chasis sin problema y disponiendo de un eje de tracción de entre 24 a 35 mm de diámetro. Las dimensiones de estos equipos oscilan entre los 140 a 200 mm de ancho.

No obstante, la selección de este tipo de motorreductores presenta dos grandes problemas en el diseño de esta carretilla. En primer lugar, sería necesaria la instalación de dos motores, uno para cada una de las dos ruedas traccionadas. Esto implica una mayor complejidad y costo en el diseño, un aumento sustancial del peso del equipo, así como mayor probabilidad de fallos de alguna de las dos máquinas.

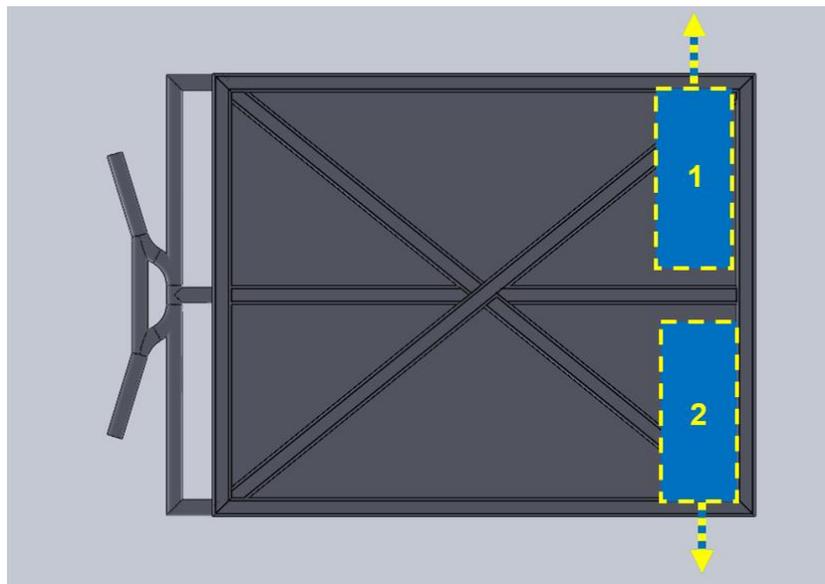


Figura C.7 – Posible disposición motorreductores coaxiales [fuente propia]

En segundo lugar, al disponer los motores como se muestra en la *Figura C.7*, surge la necesidad de controlar la potencia que llega a cada motor de manera individual. Todo ello debido a que en el momento en el que el carro realice un movimiento de giro, las ruedas exteriores recorrerán una distancia mayor que las interiores debido al radio de giro, ocasionando una diferencia de velocidades entre las ruedas.

Al darse esta situación, es necesaria la instalación de diferenciales para resolver el problema de la transmisión de potencia. Es decir, al no moverse de manera análoga las ruedas traccionadas, no podrán recibir la misma potencia. Para evitar la instalación de un complejo sistema de engranajes (como puede ser un engranaje planetario o epicicloide), se podría instalar un sistema electrónico tipo Arduino que regule la potencia enviada a cada motor. Este sistema variarían la potencia enviada a cada eje, en función del eje de giro y de la carga transportada.

A pesar de ello, se considera más efectivo para solventar sendos problemas surgidos la instalación de un motorreductor de tipo transeje. Es decir, un equipo mecánico que combina un motor eléctrico y un reductor de velocidad en una sola unidad compacta. A diferencia de los coaxiales, llevan a cabo la transmisión del par de potencia a dos ejes de salida alineados.



Figura C.8 – Motorreductor de tipo transeje [fuente: Ruipu Machinery]

La razón principal de disponer este tipo de motor es que son capaces de reducir la velocidad de rotación de uno de los ejes de salida mientras incrementan la del contrario para compensarlo. Esto permite no solo adaptar la velocidad y el par transmitido al motor según los requerimientos de la carga, si no también adaptarse de manera autónoma al comportamiento independiente de las ruedas en el momento de giro.

Además, al ser un motorreductor, se cumplen todas las ventajas expuestas anteriormente como la eficiencia en la transmisión de potencia, espacio reducido del equipo y gran precisión en el control de velocidad y par. Como se observa en la *Figura C.9*, la disposición de este equipo es más sencilla y menos aparatosa que la de dos de tipo coaxial.

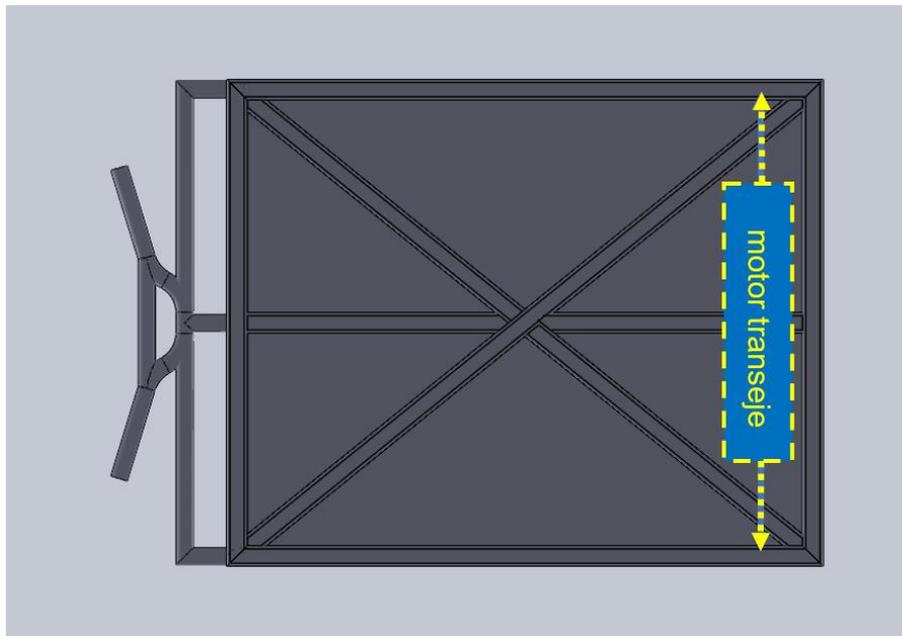


Figura C.9 – Disposición motorreductor transeje [fuente propia]

De esta manera, se ha llevado a cabo una investigación de los catálogos de fabricantes de equipos de este tipo. Entre todas las posibilidades de proveedores, se ha decidido seleccionar el catálogo de la empresa *Rotontek* [8], ya que los equipos que ofrecen disponen de un eje rígido con sistema de frenos integrado. Además, el abanico de potencias va desde los 0.15 a los 20 kW, dando la oportunidad de seleccionar el motor que mejor se comporte. En el *Anexo E* se encuentran los catálogos y fichas técnicas relacionadas con las selecciones del equipo.

5.3 Selección final del equipo

5.3.1 Motor seleccionado

Tras la obtención de las características que debe satisfacer el equipo de propulsión, se realiza una investigación en las ofertas del proveedor *Rotontek*. Se comprueba en el catálogo que el motor que mejor opera para la propulsión de la carretilla es el *Modelo LDM22-355-800*. En la siguiente tabla se muestran sus prestaciones.

Parámetros Motorreductor Transeje	
Modelo	LDM22-355-800
Tensión nominal	DC 48V
Potencia nominal	800W
Relación de transmisión	1:19.75
Velocidad sin carga	150±10% RPM
Par nominal	50 Nm
Eficiencia Motora	85%
Diámetro del motor	Ø90
Freno electromagnético	6 Nm
Ruido [db]	≤60

Tabla C.3 – Prestaciones del motor transeje LDM22-355-800 [Rotonek]

Se observa cómo el motor cumple con las necesidades en el caso más solicitado, es decir, en el arranque y transporte de la carga nominal. El par nominal que es capaz de transmitir este modelo es de 50 Nm, superando los 37.2 Nm necesarios calculados en el apartado anterior. El rango de potencias nominales de los motores que ofrece el proveedor es bastante amplio.

No obstante, el inmediato superior es 800 W. A pesar de ser bastante mayor que el necesario, esto dotará al equipo libertad y margen a la hora del transporte. Además, proporciona una velocidad de giro aceptable, ya que supera la velocidad de giro máxima a la que operará el motor.

Se destacan entre sus características, una alta eficiencia del 86%, incluso en conducciones cuesta arriba. Una de las propiedades que cumple con los requerimientos definidos al inicio de este documento es la longevidad y el bajo mantenimiento que requiere este equipo. Al operar con una lubricación con grasa, disminuye considerablemente la necesidad de arreglos o recambios. Es resistente al agua, el polvo y las altas temperaturas, y además posee una clasificación IP65, comúnmente utilizada en productos electrónicos y equipos industriales que requieren protección en entornos adversos.



Figura C.10 – Motor LDM22-355-800 [Rotontek]

En resumen, el motorreductor LDM25-364 ha sido seleccionado debido a su potencia eficiente, bajo mantenimiento, características de seguridad y resistencia.

Habiendo sido seleccionado el motor eléctrico que se utilizará como sistema de propulsión de la carretilla, es fundamental considerar el equipo de baterías que lo alimentará. Las características de las baterías determinarán el funcionamiento eficiente y autónomo del motor, ya que el carro dependerá directamente de estas para operar con normalidad. Las características del motor determinan las de la fuente de alimentación; es por ello por lo que será necesario disponer de una batería de 48 V.

De las opciones presentadas en el apartado anterior se establece que la mejor de todas es la batería de litio, concretamente una de litio-ferrofosfato. Este tipo de equipos (también conocidos como *baterías LFP*), consisten en una pila recargable de ion-litio con un cátodo de fosfato de hierro-litio: LiFePO.



Figura C.11 – Batería eléctrica tipo LFP [CAPA Energy]

La ventaja que presentan este tipo de instrumentos es que no requieren mantenimiento, ni si quiera de agua destilada adicional. Son menos agresivas al ecosistema y dañinas en comparación con las de plomo abiertas.

Para obtener la capacidad de la batería, se puede realizar un cálculo simple realizando el cociente entre la potencia nominal y el voltaje. Considerando que la potencia nominal del motor es de 800 Watios y su voltaje de 48 V, es posible obtener la corriente aproximada que requiere la instalación de la siguiente manera:

$$\frac{800 (W)}{48 (V)} = 16.67 A \quad (\text{ec.9})$$

La capacidad de una batería eléctrica se mide en amperios-hora (Ah). Es por ello por lo que la capacidad de una batería (por ejemplo 16.67 Ah) indica la capacidad mínima de autonomía en 1 hora. Considerando que la batería debe disponer un margen para operar, es recomendable optar por una con una capacidad mayor para asegurar un rendimiento seguro.

Tras realizar una comparativa entre proveedores recomendados por la empresa fabricante del motor, se ha considerado interesante una de las propuestas de la empresa *CAPA Energy* [29]. Entre los equipos de los que disponen se encuentra una batería de litio LFP de 25Ah y 48V. Entre sus características se destaca una excelente resistencia a la temperatura, operando con normalidad desde -20°C a 60°C, cumpliendo así uno de los requerimientos principales de la instalación.

Además, según indica el fabricante, proporciona una potencia constante durante toda la descarga, asegurando así unas prestaciones seguras del carro a lo largo de todo su recorrido. Se adjunta a continuación la tabla con los datos del fabricante:

Especificaciones Técnicas - Batería LFP		
Eléctricas	Voltaje nominal	48 V
	Capacidad nominal	25 Ah
	Energía	1200 Wh
	Resistencia interna	≤ 50 mΩ
	Número de ciclos	>2000 ciclos
	autodescarga	< 3% por mes
	Eficiencia energética	> 96 %
Carga nominal	voltaje de carga	58.4 V ± 0.1 V
	Modo de carga	CC
	Corriente de carga estándar	25 A
	Tensión de corte BMS	58.4 V ± 0.1 V

Tabla C.4 – Prestaciones de la Batería LFP seleccionada [Fuente: CAPA Energy]

Por lo que se observa en la *Tabla C.4*, la batería cumple con las prestaciones necesarias para la instalación. Además, en el caso improbable de que se trabajara únicamente con la carga nominal (es decir, con el peso de 320 kg correspondiente a 16 bidones de agua), la batería proporcionaría una autonomía de trabajo de 2 horas.

Esto se confirma mediante el cálculo que se muestra a continuación. Se establece que el voltaje de la batería es de 48 V, su capacidad de 25 Ah y que dicha batería alimentará un motor de 800 W que trabaja únicamente con la carga nominal (la máxima carga). Como ya se expuso en el *Apartado 5.1*, el motor deberá proporcionar un par de giro de 37.24 Nm y la potencia por lo tanto será de 478.53 W.

Esta potencia indica que el motor consume de la batería esa cantidad para poder impulsar el carro. Debido a que la eficiencia del motor es del 85%, la potencia que realmente consume es ligeramente mayor, concretamente:

$$P_{elec} = \frac{P}{\mu} = \frac{478.53}{0.85} = 564.97 \text{ W} \quad (\text{ec.10})$$

De esta manera, es posible hacer una estimación de la autonomía del carro operando únicamente a carga máxima:

$$\text{Autonomía del carro} = \frac{\text{Capacidad de la batería [Wh]}}{P_{elec} [W]} = \frac{1200}{564.97} \quad (\text{ec.11})$$

$$\text{Autonomía del carro} = 2.27 \text{ horas} = 136.2 \text{ minutos}$$

Tras este cálculo, se puede confirmar que el equipo de propulsión operará de manera correcta al menos 2 horas. No obstante, se ha considerado que el carro trabaja todo el tiempo en el caso más desfavorable. Por ejemplo, al realizar el trayecto de ida del poblado al pozo, la potencia consumida por el motor será mucho menor ya que la carga es nula y únicamente se utilizaría para impulsar la estructura.

En la siguiente tabla se ha realizado un cálculo de la autonomía que proporcionaría la batería en función de la carga transportada. En este estudio se ha considerado un peso aproximado del carro de 45 kg, a la espera de determinar el peso total una vez seleccionados y diseñadas todas sus partes y elementos. Además, se ha considerado que el carro opera en la máxima velocidad posible, 6 km/h.

Carga transportada	Peso [kg]	Par [Nm]	Potencia [W]	Potencia_elec [W]	Autonomía [horas]
Vacía	45	4.59	59.00	69.41	18.44
Media	182.5	18.62	239.26	281.48	4.55
Completa	365	37.24	478.52	562.96	2.27

Tabla C.5 – Estimaciones autonomía del carro en función de la carga [fuente propia]

Se corrobora que la autonomía del vehículo aumenta conforme la carga transportada disminuye. Al conocer estos datos, es posible estimar que la batería proporcionaría energía suficiente para operar de manera normal, al menos, 4 horas.

Otra información importante sobre las características de uso del carro motorizado es el tiempo de carga de la batería eléctrica. Como se ha expuesto, el poblado dispone de una instalación de placas fotovoltaicas que proveen de energía. Es a través de estas la manera en la que se realizará la carga de las baterías.

6 ESTUDIO ESTÁTICO

Tras la selección del equipo, se comienza el estudio de la disposición del equipo en la estructura del carro. Se realizará un estudio estático, mediante simulaciones en el software de CAD *SolidWorks*:

6.1 Análisis CHASIS - MOTOR

Para garantizar el funcionamiento, se ha decidido ubicar el motor en la parte frontal del carro. Esta elección se basa en el hecho de que son las ruedas delanteras las encargadas de proporcionar la tracción necesaria para el movimiento.

Por otro lado, se ha optado por disponer el motor ligeramente desplazado del borde de la base. Esta medida se ha tomado con el objetivo de evitar que las ruedas sobresalgan de la estructura, lo cual puede generar riesgos por choques o tropiezos de las ruedas con elementos del terreno o personas, según recomienda la norma [11].

Además, se garantiza así una distribución más equilibrada del peso, ya que en la parte trasera del carro se encontrará el equipo de baterías, así como la estructura de empuje.

Para poder disponer el motor de manera más segura y cómoda, se considera necesaria instalar una barra extra en el chasis del carro. Esta tendrá la función de soportar el equipo de manera segura y estable. Al haber realizado numerosas simulaciones con la estructura inicial del chasis, es posible confirmar que una barra extra no solo no influirá negativamente en la estabilidad del carro, sino que otorgará mayor rigidez a la estructura.

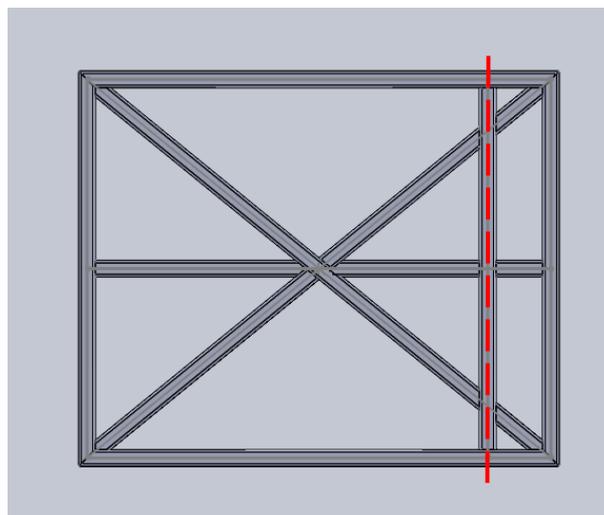


Figura C.12 – Estructura del chasis con barra adicional para el motor [fuente propia]

Esta barra se dispone a una distancia de 150 mm del borde para asegurar que tanto el motor como las ruedas no sobresalgan. En la primera figura se muestra el modelo CAD del Motor seleccionado LDM22-355-800. En la segunda se puede observar la manera en la que se coloca dicho motor en la estructura.

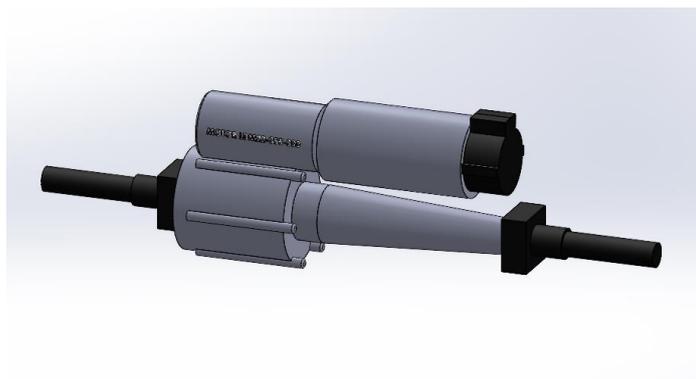


Figura C.13 – Modelo CAD del Motor LDM22-355-800 [fuente propia]

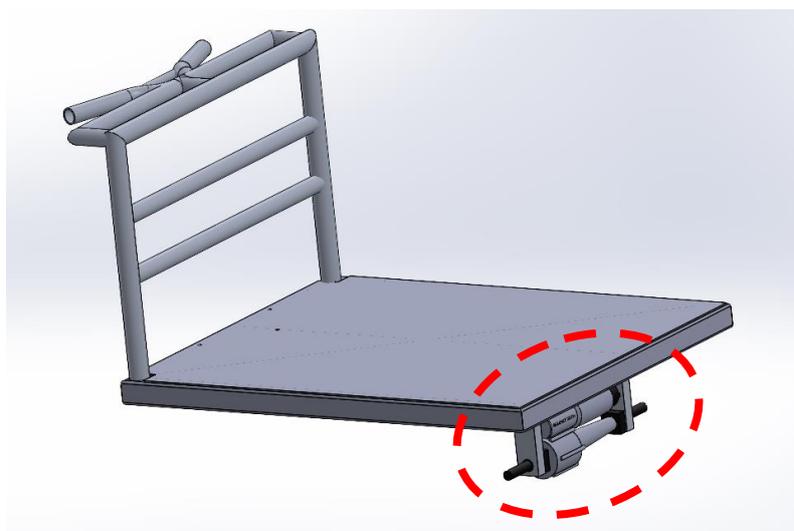


Figura C.14 – Posición del motor en la estructura del carro [fuente propia]

Para llevar a cabo las simulaciones, se han considerado los mismos aspectos que en los Anexos A y B, es decir:

1. Se consideran los extremos de la base como apoyos rígidos, estos representan la unión entre las ruedas.
2. Se considera la carga de los 16 bidones como una carga uniformemente distribuida sobre las barras de 478.56 kg. Este valor corresponde al peso del agua de los bidones aplicando un coeficiente de seguridad de 1.5
3. Se utiliza como perfil de barras el estándar ISO – TUBO RECTANGULAR – 60x40x3.2
4. Se utiliza el material *Aluminio 6063 – T4*
5. Se considera la unión entre la placa y las barras como una unión rígida.

Además, para este estudio estático con el motor se ha considerado una carga de 15 kg sobre la barra de sujeción, simulando el peso del propio motor. En la *Figura C.15* se ve representado por la fila de flechas amarillas. Las flechas de color violeta representan la carga transportada por el carro y los ejes de color verdes los “apoyos”.

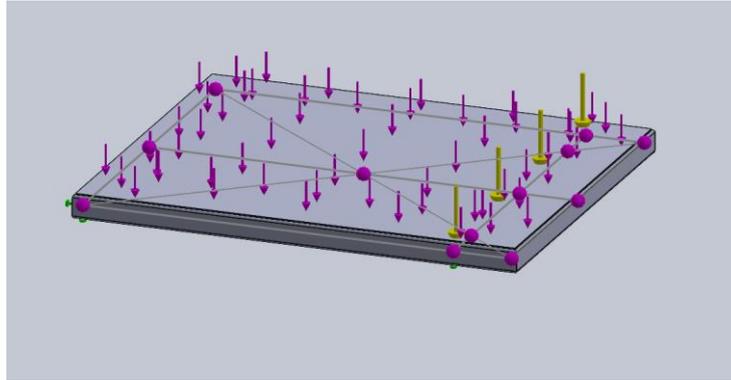


Figura C.15– Representación de las fuerzas actuantes en el análisis C_5.4.a [fuente propia]

Tras realizar la simulación se observa en las *Figura C.16/C.17* que la barra dispuesta para sostener el motor cumple sobradamente con su cometido. Se percibe un desplazamiento muy lejos del admisible de 2 mm, situándose en el rango de 0.1 mm. En la *Tabla de resultados C.1* se observa que nuevamente los valores de tensión y desplazamientos dados en la estructura se encuentran dentro de los límites descritos para este proyecto.

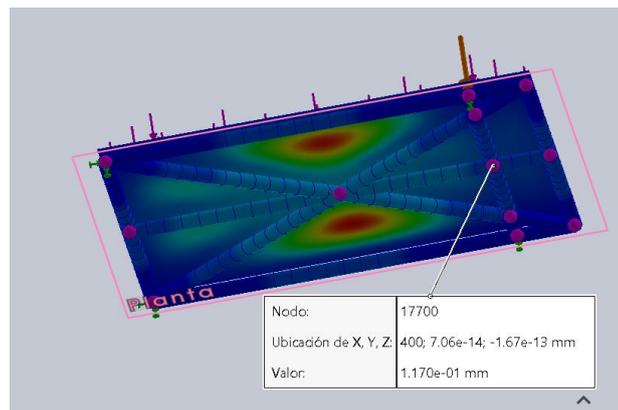


Figura C.16– Resultados de deflexión de la simulación en SolidWorks [fuente propia]

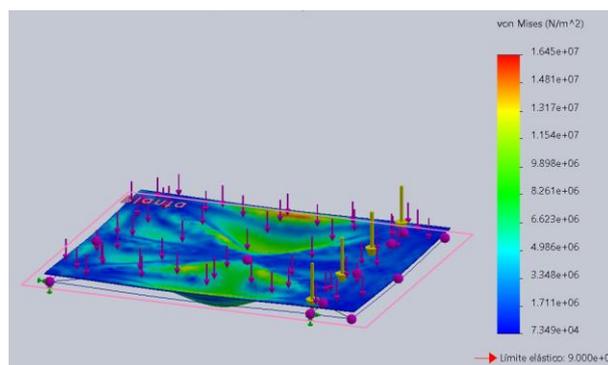


Figura C.17– Resultados de tensión de la simulación en SolidWorks [fuente propia]

Simulación	Desp. [mm]	Tensión [N/m2]	CUMPLE
Motor	0.41	1.645 E+07	

Tabla de resultados C.1 – Resultado simulación tensión y desplazamiento [fuente propia]

6.2 Análisis CHASIS - BATERÍA

Al igual que con el motor, al haber seleccionado el equipo definitivo de batería que se dispondrá en el carro es posible modelarlo, incluirlo en el diseño del carro y simular su influencia en la estructura conociendo sus características.

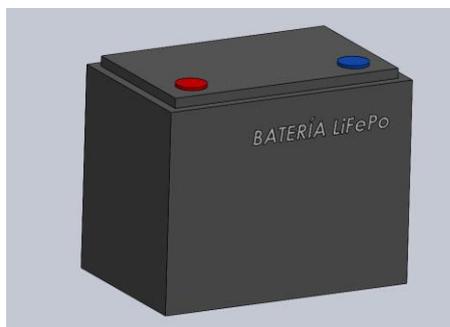


Figura C.18 – Diseño CAD de la batería del carro motorizado [fuente propia]

Para poder situar la batería en el carro, se hará uso de unas piezas a modo de escuadras o abrazaderas que aseguren su montaje en la estructura. Gracias a estos elementos, la batería podrá disponerse de forma segura y estable, algo crucial en la instalación.

Se ha decidido disponer la batería en la parte superior del chasis. Al contrario que con el motor, esta no requiere situarse en la zona donde irán las ruedas y ejes, por lo que se puede situar en una parte alta, alejada de objetos del terreno que puedan dañarla. A pesar de ser un equipo especializado y de gran resistencia, minimizar al máximo la exposición a polvo y agente externos aumentará la durabilidad de la batería y disminuirá los riesgos.

Por otro lado, el sistema que contenga la pila de energía debe asegurar que esta se encuentre fijada a la estructura. No pueden existir holguras que hagan que la batería pueda moverse y poner en peligro la estabilidad del carro. Se muestran a continuación las piezas que asegurarán el equipo y el montaje de este. Estas están fabricadas mediante placas de *Aluminio 6063-T4* de 3 mm de espesor y se ajustan a las medidas de la batería (260x168x212 mm).

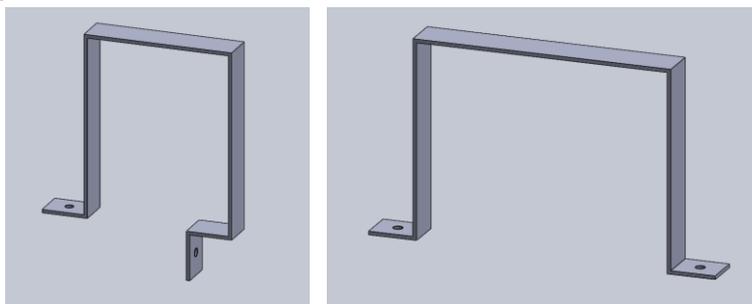


Figura C.19 – Modelo CAD de las abrazaderas vertical (izq.) y horizontal (dcha.) [fuente propia]

A pesar de disponer de las abrazaderas para asegurar la batería, el peso de esta es soportado por la estructura del chasis. Es por ello por lo que para el estudio estático se ha considerado una carga de 13.6 kg (133.42 N), según indica el fabricante, en la zona donde la batería descansa su base. Se observa representado en las siguientes figuras cómo la zona de la batería que se apoya en la base del carro es en la que se dispone la fuerza para el análisis.

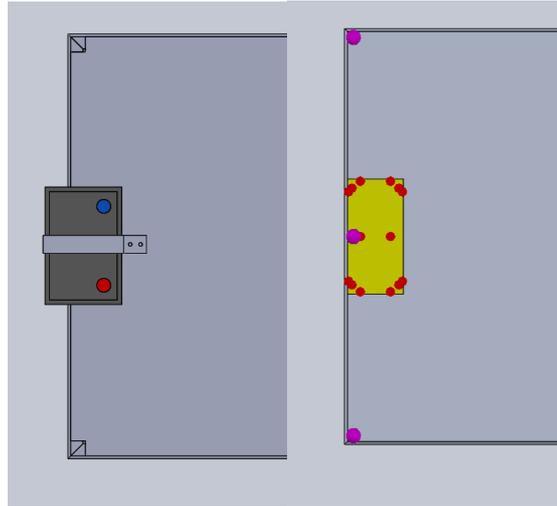


Figura C.20 – Disposición de la batería (izq.) y su representación en la simulación (derecha) [fuente propia]

Para esta simulación se han considerado las mismas fuerzas, restricciones y consideraciones tomadas para el caso anterior (*Apartado 5.4.a*). Por lo tanto, intervienen en este estudio el peso de la carga nominal a transportar y el peso del motor sobre su barra de anclaje.

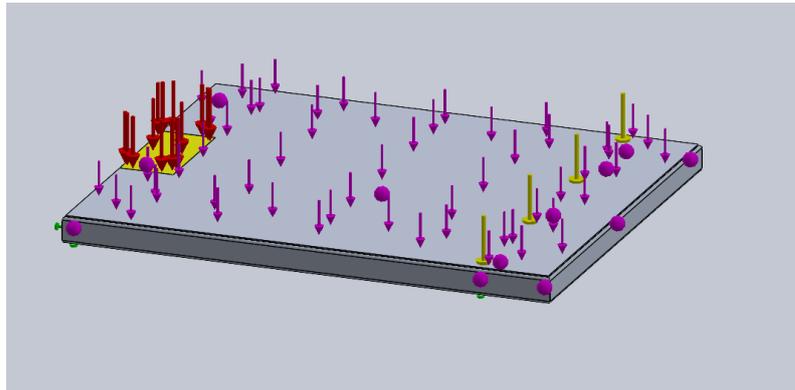


Figura C.21 – Representación de las fuerzas en el análisis estático de la batería [fuente propia]

Una vez realizada la simulación, se corrobora que el comportamiento del chasis es adecuado. Por lo tanto, se confirma que la estructura es capaz de soportar todas las sollicitaciones actuantes. Se obtiene un valor de deformación inferior a 1mm y los valores de tensión se encuentran alejados del límite elástico del Aluminio 6063.

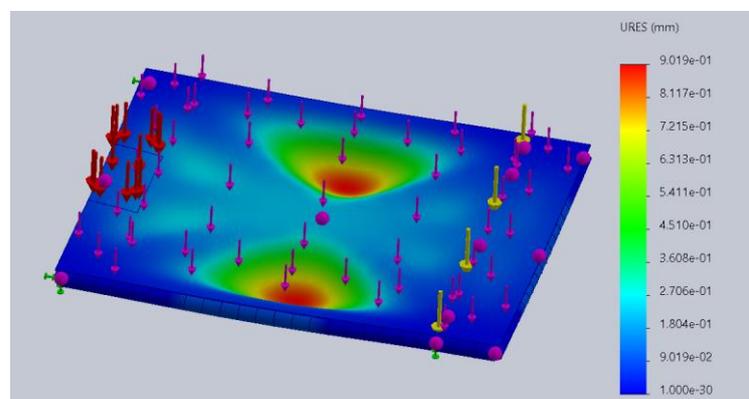


Figura C.22 – Resultado de las deformaciones en el análisis estático de la batería [fuente propia]

Simulación	Desp. [mm]	Tensión [N/m ²]	CUMPLE
Batería	0.9	6.587 E+07	

Tabla de resultados C.2 – Resultado análisis estático del peso de la batería [fuente propia]

7 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE VARIACIÓN DE VELOCIDAD

A lo largo de este apartado se llevará a cabo la selección del sistema eléctrico encargado de modular la velocidad del carro motorizado. Este equipo será el encargado de variar la potencia transmitida por el motor.

7.1 Requisitos del equipo

Para la selección del variador de velocidades para el motor eléctrico, será necesario tener en cuenta distintas consideraciones que recojan los requerimientos y características de operación.

- 1. Rango de velocidades:** El variador seleccionado deberá permitir ajustar y controlar el rango de operación según demande el operario. Es decir, es crucial que el sistema permita un amplio margen de selección dentro de las velocidades comprendidas entre el reposo y los **6 km/h** de velocidad máxima establecida.
- 2. Potencia y capacidad de carga:** El sistema deberá ser capaz de manejar y procesar la potencia requerida por la instalación. Se debe considerar que el equipo opere correctamente con el motor de **800 W** seleccionado y la batería de **48 V**.
- 3. Resistencia al entorno:** Debido a que el carro motorizado está diseñado para operar en un poblado senegalés, es vital que el equipo de variación de velocidad sea capaz de operar en condiciones ambientales adversas. Por ello, deberá poseer características tales como resistencia al polvo, humedad y altas temperaturas; así como de disponer de una clasificación de protección adecuada.
- 4. Facilidad de instalación y uso:** El carro deberá ser operado con seguridad por cualquiera de los habitantes de la aldea rural, es por ello por lo que debe poder ser accesible y sencillo de utilizar. Se debe tener en cuenta la baja disponibilidad de recursos técnicos, optando por un variador que sea intuitivo y requiera un mínimo mantenimiento.

7.2 Equipos disponibles en el mercado

El motor seleccionado para la propulsión del carro es un motor eléctrico de Corriente Continua (CC), es por ello por lo que las posibilidades para controlar su velocidad son varias, a la par de eficientes. Se presentan a continuación algunas de las posibilidades para la instalación en el carro de este proyecto:

- **Control de tensión:** una de las maneras más comunes de modular la velocidad de un motor de corriente continua es ajustar la tensión de alimentación. Disminuyendo la tensión, la velocidad del equipo se reduce, y al aumentarla, incrementa. Para ello, se utilizan dispositivos como potenciómetros o interruptores.
- **Control de corriente:** De manera análoga al caso anterior, al variar la corriente suministrada al motor es posible regular la velocidad de este. Esto se puede lograr mediante la implementación de dispositivos como resistencias variables o controladores de flujo.
- **Control de ancho de pulso (PWM):** Este sistema varía la velocidad transmitida mediante la modulación por ancho o de pulso (de ahí su nombre en inglés Pulse Width Modulation). Se trata de un tipo de señal de voltaje que consiste en cambiar la duración de los pulsos de voltaje que se suministran al motor. Al modificar el ciclo de trabajo se modifica la velocidad. Se lleva a cabo mediante controladores electrónicos.
- **Control de retroalimentación:** este sistema se basa en la medición y ajuste continuo de la velocidad real del carro utilizando sensores de retroalimentación como encoders. Dichos sensores trasladan la información en tiempo real a un controlador que la procesa y opera según lo requiera el operario.

7.3 Selección del equipo de variación de velocidad

Se realizan dos propuestas de equipos disponibles para la instalación en el carro.

7.3.1 Variador de frecuencia tipo caja

Dentro de las posibilidades de los equipos disponibles para operar en la instalación del carro motorizado, se considera que la opción más adecuada es un variador de frecuencia (VFD). Dentro de los distintos tipos, será necesario seleccionar uno específico para motores de corriente continua y de baja potencia.

Al optar por esta opción, se ha realizado una búsqueda de las distintas ofertas de proveedores. Entre ellos, se ha determinado que las posibilidades que la empresa *Schneider Electrics* [22] ofrece, son fiables y útiles.

Dentro del catálogo de “*Variadores de frecuencias destinados a máquinas*”, se encuentra el variador de velocidad **Altivar 320**. Este modelo está destinado especialmente a máquinas complejas y el proveedor ofrece un amplio rango de potencias para poder seleccionar la que más se ajuste a nuestra instalación.

Por otro lado, el sistema que *Schneider Electric*s ofrece, proporciona la capacidad de variar con precisión el par y la velocidad del motor a velocidades bajas, algo crucial ya que el carro motorizado no superará los 6 km/h.



Figura C.23 – Variador Altivar 320 (izq.) y su instalación en un banco motor (dcha.) [Schneider Electric]

El principal problema de este equipo es que dispone de un grado de protección IP20. Esta clasificación estándar indica que el equipo no se encuentra protegido frente al ingreso de líquidos, por lo que no es posible que opere en ambientes donde se pueda ver expuesto a la lluvia o agentes externos.

Por otro lado, el diseño de los controladores que este proveedor ofrece no son los más adecuados para el carro motorizado. A pesar de ser un diseño compacto, se trata de variadores para ser instalados en pared mediante una placa (como se observa en la *Figura C.23*). Además, la forma rectangular y alargada hace difícil la instalación en las barras de empuje.

Por estas razones se ha considerado desechar esta propuesta.

7.3.2 Variador tipo vehículo de movilidad personal

Con el fin de paliar los problemas dados en el apartado anterior, se ha considerado que los sistemas de control que se emplean en los vehículos de movilidad personal (tales como patinetes o bicicletas eléctricas) reúnen las características necesarias para la instalación en el carro motorizado.

Existen dos aspectos principales a tener en cuenta. En primer lugar, estos dispositivos están diseñados para funcionar en condiciones adversas, como lluvia o exposición al polvo, debido a su enfoque en el uso al aire libre. Además, presentan un diseño compacto y específico para adaptarse a manillares de barras circulares, como los que se encuentran en la estructura de empuje del carro.

En segundo lugar, se encuentra una amplia variedad de proveedores y dispositivos disponibles que se ajustan a las características técnicas de la instalación. Muchos de estos vehículos utilizan motores de corriente continua.

Se propone para el diseño del carro motorizado el controlador que ofrece el proveedor *Nimomo* [30]. Concretamente el modelo para motores de corriente continua de tensión nominal de 48 V. Ofrece un ajuste de velocidades hasta 4.2 V. El equipo propuesto está fabricado con una aleación de aluminio y recubierto de plástico ABS (*Acrlonitrilo Butadieno Estireno*) por lo que protege el circuito interno de cualquier agente externo, así como de la sobrecarga térmica.

Como se observa en la *Figura C.24*, el equipo dispone de una pantalla LED en la que es posible comprobar la velocidad a la que se mueve el carro, así como la batería restante.



Figura C.24 – Pantalla LED del variador de velocidad seleccionado [Nimomo]

Para que el operario disponga del control del motor, se dispone un acelerador de pulgar o *throttle de pulgar*. Este dispositivo se instala de manera sencilla en la barra de empuje y se acciona mediante el pulgar del operario. Al ser presionado, envía una señal eléctrica al sistema de control que incrementa la potencia y, por consiguiente, se aumenta la velocidad. En el momento en el que el acelerador es soltado, la potencia disminuye y se reduce el movimiento.



Figura C.25 – Controlador de pulgar del variador de velocidad seleccionado [Bewinner]

La razón principal de seleccionar un acelerador de este tipo es que proporciona un control sencillo de la velocidad sin la necesidad de soltar las barras de empuje. De esta manera, es posible controlar la dirección del carro a la par que su velocidad, sin comprometer la seguridad el carro en ningún momento.

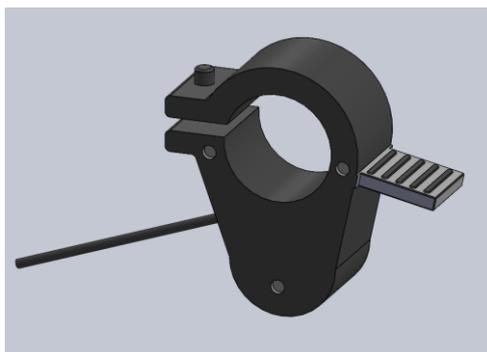


Figura C.26 – Modelo CAD del acelerador del pulgar [fuente propia]

Como se puede observar en las Figuras C.26 y C.27, este equipo dispone de abrazaderas incorporadas para que la instalación en barras circulares sea de manera sencilla. Además, como se expuso en el ANEXO B, mediante este sistema es posible ajustar la disposición de los elementos de control (acelerador y pantalla LED) en función del operario, incluso pueden ser dispuestos en otras barras. Se muestra a continuación el modelo CAD de los dispositivos, así como su disposición en la estructura de empuje.



Figura C.27 – Pantalla LED seleccionada (izq.) y su modelo CAD (dcha.) [fuente propia]

Para el modelo de ejemplo, se ha seleccionado la disposición sobre la barra secundaria dado que se estima que será la opción de mayor frecuencia de uso.

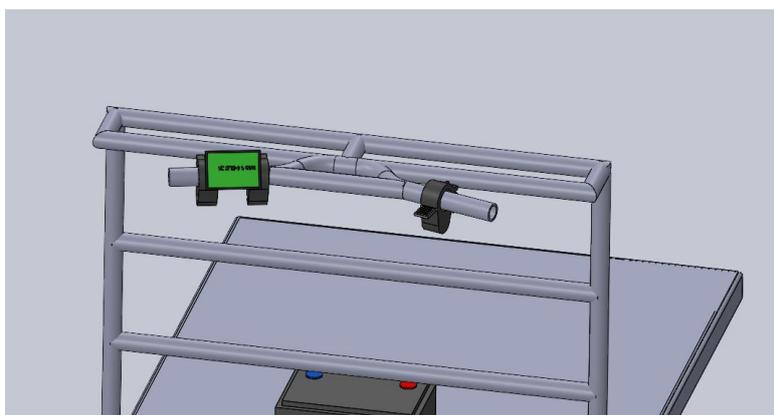


Figura C.28 – Equipo de variación de velocidad dispuesto sobre las barras de empuje [fuente propia]

Según indica el fabricante, el peso total de este equipo asciende a 728 gramos. En el ANEXO B se presenta una simulación de análisis estático considerando que el peso de este equipo rondaría los 10 kg (Análisis B.1). Se confirma de esta manera que el sistema seleccionado no generará ninguna perturbación en la estabilidad o rigidez de la estructura.

8 RUEDAS Y EQUIPO DE FRENADO

8.1 Selección de las ruedas

Una vez seleccionado el equipo de propulsión, así como la disposición de este en la estructura del chasis del carro motorizado, es posible determinar el tipo específico de ruedas se instalarán.

Según se expone en la norma *UNE-EN 1757* [11], es posible distinguir el tipo de carretilla en función del comportamiento de sus ruedas. Al disponer el motor en la parte delantera, el carro de este proyecto se engloba dentro de los carros con ruedas giratorias situadas en el extremo trasero.

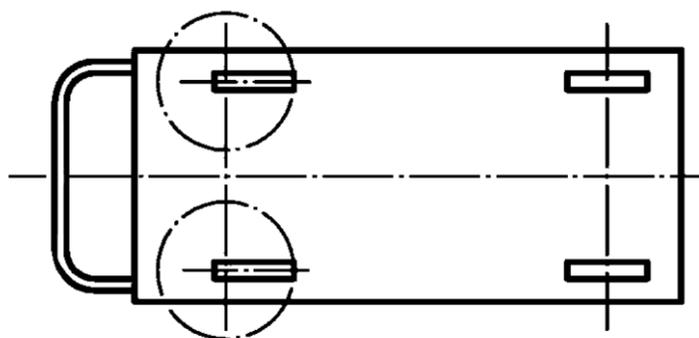


Figura C.29 – Ilustración sobre la libertad de movimiento de las ruedas [UNE-EN 1757]

Por lo tanto, son las ruedas traseras las encargadas de pivotar sobre el eje de unión para permitir el giro del carro y variar así su dirección. Por otro lado, las ruedas delanteras deberán ser introducidas en los ejes del motor.

Considerando que el terreno de operación del carro será irregular y arenoso, se estima que las ruedas neumáticas son la opción más adecuada. Este tipo de piezas ofrecen diversas ventajas en términos de adaptabilidad en comparación con ruedas macizas.

Por un lado, estos equipos están diseñados con un revestimiento de caucho que rodea la cámara de aire en su interior. Así, se presenta una superficie de contacto con el suelo mayor, aportando así mayor tracción y estabilidad. Por otro, esta cámara actúa como un amortiguador, absorbiendo las vibraciones y los impactos con el terreno. Se evitan de esta manera problemas con la carga transportada o los ocasionados por vibraciones mecánicas como desalineación o resonancia.

En conclusión, será necesaria la selección de ruedas pivotantes para las dispuestas en la parte trasera y de ruedas de acople en eje para las delanteras incorporadas en el motor. Todas las instaladas en el carro serán de tipo neumático.

8.1.1 Ruedas delanteras

Una vez establecido el tipo de rueda que se instalará en el carro, es posible realizar la selección a través de proveedores. Se parte de las dimensiones del eje del motor, donde se insertarán las ruedas delanteras. Por lo tanto, el diámetro del orificio de la rueda deberá ser de 20mm. Además, el ancho del eje del motor es de 51.5 mm (ANEXO E – CATÁLOGOS).

Al tratarse de las delanteras, sobre cada rueda descansará (en el momento de carga nominal) una fuerza de 716.13 N. Esta fuerza ha sido calculada en el *Apartado 5.1* de este tercer anexo ($F_{N_delanteras}$). Por lo tanto, será necesario instalar ruedas que resistan una carga mayor a la comentada.

Se propone la *Rueda Neumática 688* con llanta metálica de la empresa *NOVODINÁMICA* [9]. Este equipo de ruedas de 260 mm de diámetro está especializado para carros de altas prestaciones y opera de manera correcta sobre superficies irregulares como arena o gravilla. El material de la goma es el caucho y el del eje el polipropileno. Tiene una capacidad de hasta 250 kg ($\approx 2500\text{N}$) de carga por lo que no presentará ningún problema en la operación del carro.



Figura C.30 – Imagen de la rueda seleccionada (izq.) y su modelo CAD (dch.)

8.1.2 Ruedas traseras

De manera análoga al apartado anterior, se realiza la búsqueda de ruedas que operen correctamente en la parte trasera del carro motorizado. Estas no se encuentran unidas al motor del eje, giran “locas” sobre un eje libre. Por lo tanto, se realiza la búsqueda de ruedas de diámetro similar a las delanteras, pero de tipo pivotante.

La carga que reciben estas ruedas es ligeramente mayor. Como se expuso en el *Apartado 5.1*, se considera que la distribución del peso del carro es ligeramente irregular siendo las ruedas traseras las que reciben el 60% de la masa. Por lo tanto, la carga máxima que recibe cada una es de 1074.2 N.

Se seleccionan las ofertas del catálogo de *RUEDAS ALEX* [10]. Dentro de sus productos se encuentran las ruedas pivotantes neumáticas. Se proponen las de la *Serie WL*, concretamente la rueda *WL-RIP 4-0904*. Estas soportan hasta 175 kg ($\approx 1750\text{ N}$) de carga y entre sus principales aplicaciones se encuentran los carros de transporte. Otra de

las razones para seleccionar esta serie es que disponen de un freno pedal incorporado. Esto es de gran utilidad para restringir el movimiento del carro de manera cómoda y segura cuando se encuentre fuera de operación



Figura C.31 – Rueda WL-RIP 4-0904 [RUEDAS ALEX]

Se presenta a continuación el modelo CAD de las ruedas WL-RIP 4-0904. Al haber dispuesto las barras del chasis con una disposición en diagonal, se hace sencilla la unión de las ruedas con los perfiles.

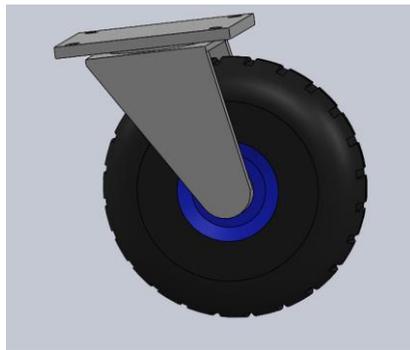


Figura C.32 – Modelo CAD de la ruedas WL-RIP 4-0904 [fuente propia]



Figura C.33 – Modelo CAD del carro con las ruedas traseras [fuente propia]

9 TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Habiendo realizado el estudio y selección de los distintos elementos, se presentan en la siguiente tabla todos los componentes que conforman el Equipo de Propulsión del carro motorizado:

EQUIPO DE PROPULSIÓN – CARRO MOTORIZADO			
ELEMENTO	PROVEEDOR	MODELO	CARACTERÍSTICAS
MOTOR ELÉCTRICO	<i>RotonTek</i>	LDM22-355-800	<ul style="list-style-type: none"> • DC • 48 V • 800W • 50 Nm
BATERÍA	<i>CAPAEnergy</i>	Batería LiFePO 10217	<ul style="list-style-type: none"> • 48 V • 25 Ah • 1200 Wh
PANTALLA LCD	<i>NIMOMO</i>	PANTALLA LCD S900	-
ACELERADOR DE PULGAR	<i>BEWINNER</i>	Acelerador 300X	-
SISTEMA DE CONTROL	<i>NIKOU</i>	B08FTBSHKX	<ul style="list-style-type: none"> • 48 V • 350W
RUEDAS DELANTERAS	<i>NOVODINÁMICA</i>	RUEDA NEUMÁTICA 688	• Carga máx: 110 kg
RUEDAS TRASERAS	<i>RUEDASALEX</i>	<i>WL-RIP 4-0904</i>	• Carga máx: 175 kg

Tabla C.6 – Componentes del Equipo de Propulsión del carro motorizado (fuente propia)

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

ANEXO D – MONTAJE DEL CARRO

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:

ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE ANEXO D – MONTAJE DEL CARRO

1	INTRODUCCIÓN	2
2	UNIONES SOLDADAS	2
2.1	Soldadura TIG.....	2
2.2	Unión CHAPA - CHASIS.....	3
2.3	Unión EMPUJE - CHASIS	4
2.4	Unión ANCLAJES BARRERA-CHASIS.....	6
2.5	Conclusión - Uniones Soldadas.....	6
3	UNIONES ATORNILLADAS	6
3.1	Unión RUEDA TRASERA + CHASIS	7
3.2	Unión MOTOR – CHASIS.....	10
3.3	Unión BARRERAS – ANCLAJE.....	14
3.4	Unión SOPORTE BATERÍA - CHASIS.....	15
3.5	Unión PLACA DE IDENTIFICACIÓN.....	16
4	MONTAJE	17
4.1	Sistema de control de velocidad	17
4.2	Ruedas delanteras	18
5	RESULTADO FINAL	19

1 INTRODUCCIÓN

En este anexo se detallan las especificaciones técnicas y consideraciones relevantes para el montaje del carro motorizado en el poblado senegalés. Se abordan en particular las uniones de las diferentes estructuras y elementos del vehículo. Para que el carro pueda realizar correctamente su propósito, la calidad y durabilidad de las uniones son de gran importancia.

Se presentan diversos tipos de uniones que se utilizarán en el montaje real del carro. Se encuentran principalmente uniones soldadas y uniones atornilladas. Cada tipo de conexión se ha seleccionado en función de las características específicas de las estructuras y elementos, así como de los requisitos de resistencia y rigidez.

2 UNIONES SOLDADAS

Se exponen en este apartado las partes del carro motorizado que requieren de una unión soldada, estableciendo las especificaciones relacionadas con cada conexión.

Las uniones soldadas desempeñan un papel crucial en la integridad estructural del carro, son las responsables de transmitir las cargas y esfuerzos para garantizar la resistencia y estabilidad. Por lo tanto, es esencial comprender los aspectos clave de dichas uniones soldadas y su influencia en el rendimiento del vehículo.

2.1 Soldadura TIG

Para la unión de las distintas piezas de la estructura del carro, se ha seleccionado la soldadura tipo *TIG* (*tungsten inert gas*). Esta técnica permite la soldadura de muchos metales como aceros inoxidable. No obstante, se le asocia especialmente con las uniones de placas finas de aluminio. Esta es la principal razón de la selección ya que tanto la estructura del chasis como la de empuje han sido diseñadas con *Aluminio 6063-T4*.

En este proceso de unión, la corriente se suministra a través de un electrodo de tungsteno, el cual se calienta y licua el material a soldar. Mientras, un gas de protección (normalmente argón puro o helio) sale de la boquilla y protege el material calentado y el baño de soldadura líquido. De esta manera se obtienen cordones de soldadura de alta calidad.

Otro beneficio de la técnica tipo TIG es que no requiere material de aporte, pudiéndose realizar la conexión únicamente con los propios elementos. Sin embargo, si se requiriera por distintas cuestiones en la instalación, sería posible.

Algunas de las desventajas de este procedimiento es el alto nivel de habilidad para la ejecución, lo cual aumenta el tiempo de trabajo a la par que el precio del mecanizado.

2.2 Unión CHAPA - CHASIS

La chapa de aluminio dispuesta sobre la estructura de perfiles rectangulares del chasis del carro tiene la función de sostener los bidones de agua y transmitir la carga generada de manera uniforme a la base. La principal razón por la que la unión de estos dos elementos se realiza mediante un cordón de soldadura es porque proporciona una mayor integridad y resistencia en comparación con el atornillado.

La soldadura proporciona una conexión sólida y continua entre la chapa y la estructura de la base del carro. Además, estos elementos no requieren de montaje y desmontaje por razones de utilidad o mantenimiento.

Esta unión se realiza a lo largo del perímetro de la placa tal y como se muestra en la *Figura D.1*:

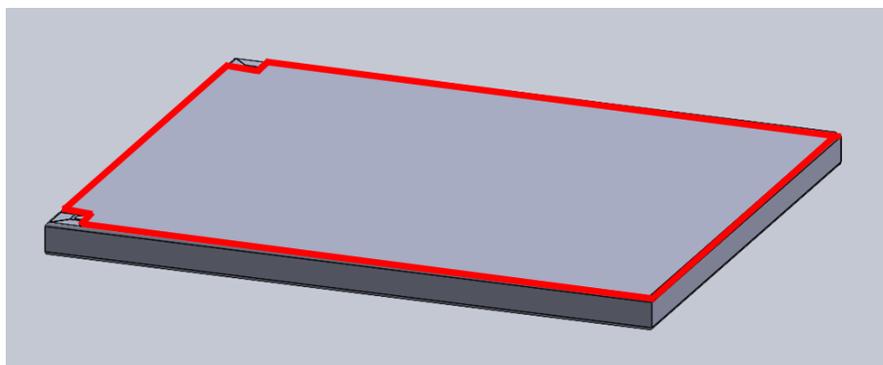


Figura D.1 – Superficie del cordón de soldadura TIG para la unión CHAPA-CHASIS [fuente propia]

Al disponerse un elemento sobre el otro y realizar la unión mediante un único cordón que recubra el borde del superior, se trata una unión a solape de la manera que se muestra a continuación.

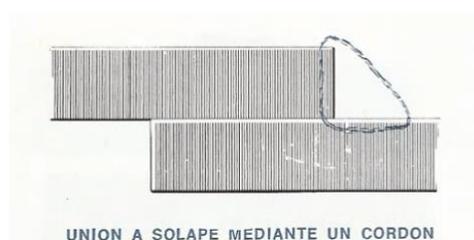


Figura D.2 – Representación de soldadura a solape [Técnica y Práctica de la Soldadura - Giachino, J.W]

Al tratarse de la unión de dos piezas de un espesor reducido, se propone un ancho del cordón de soldadura igual al espesor de la chapa (3mm).

Mediante la herramienta del software CAD se realiza la simulación y modelado de esta soldadura considerando el ancho establecido.

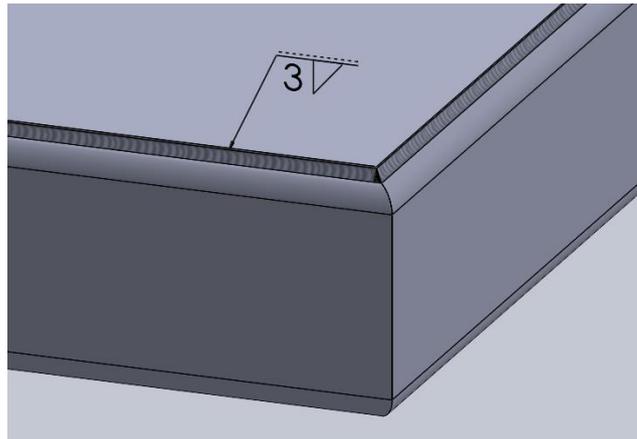


Figura D.3 – Detalle del modelo CAD del chasis con el cordón de soldadura [fuente propia]

Según recomienda el libro *Técnica y Práctica de la Soldadura* [31] se propone el uso del argón como gas protector y el uso de corriente continua. Este tipo de corriente proporciona un control más efectivo sobre la energía de soldadura, ayudando a evitar la deformación excesiva de las piezas y garantizando una unión sólida y duradera.

Para determinar aspectos más técnicos, se requiere el estudio y consideración de numerosos factores que no se encuentran dentro del propósito de este proyecto. Sin embargo, como punto de partida general, se propone un diámetro de varilla de electrodo de 1.6mm. Este se utiliza para operaciones de gran precisión y control sobre placas de pequeño espesor.

2.3 Unión EMPUJE - CHASIS

La unión entre la estructura de empuje y el chasis es una de las uniones más importantes del carro. La correcta conexión de las barras circulares de manera perpendicular a la parte trasera de la base es crucial ya que cualquier fallo en la integridad de esta sección ocasionaría problemas graves en el propósito del vehículo.

Un factor determinante que aplica complejidad a la unión de estas piezas es la forma circular de las tuberías. Al soldar en círculo, se debe tener en cuenta la técnica y la trayectoria del electrodo. La unión se deberá realizar mediante movimientos semicirculares con el electrodo, manteniendo una distancia y un ángulo adecuados que consigan fundir el aluminio de manera uniforme. Se evita así la formación de defectos, como falta de fusión o sobrellenado.

Además, será necesaria la utilización de un cuerpo de pinza o “capuchón” especial para este tipo de uniones como el que se muestra en la *Figura D.4*.



Figura D.4 – Imagen de soldadura TIG en elemento circular perpendicular a la base [Cefosol]

El perímetro de la tubería será el lugar donde se disponga el cordón de soldadura. En este caso se trata de una soldadura en ángulo, como se expuso en el ANEXO B. Una de las razones de la disposición vertical de la estructura de empuje se debe a facilitar la unión de estas dos piezas. Si se tratara de realizar la conexión estableciendo un ángulo distinto de la perpendicular a la base, complicaría la tarea considerablemente.

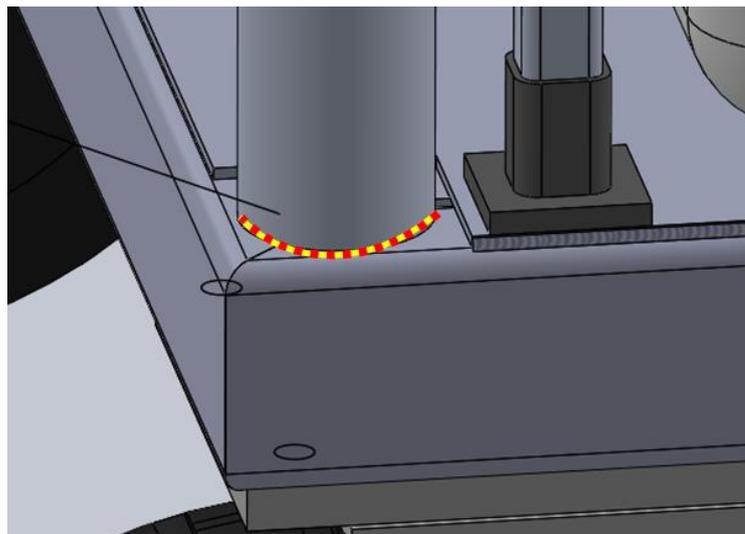


Figura D.5 – Representación de la soldadura de la unión EMPUJE-CHASIS [fuente propia]

Al tratarse de un perfil con espesor ligeramente mayor (*Tubería S40-1.5 SCH*), se establece un ancho de cordón de soldadura de 4 mm. Además, se utilizará como material de aportación un alambre de soldadura de aluminio 4043, comúnmente utilizado para soldar aleaciones de aluminio de la serie 6 y que proporciona una buena resistencia a la corrosión. Se dispone una placa extra de 28x28 en ambos extremos que otorguen una mayor superficie de conexión (especificaciones en *PLANOS*). El comportamiento de estos dos elementos como uniones rígidas frente a distintos casos se encuentra expuesto en el ANEXO B.

2.4 Unión ANCLAJES BARRERA-CHASIS

La unión de estos elementos mediante soldadura se realiza meramente por cuestiones de comodidad y utilidad. Los anclajes para las barreras se dispondrán sobre la superficie del chasis y sostendrán estos elementos cuando sea necesario. A pesar de requerir una resistencia frente al propio peso de las barreras, no se trata de una unión solicitada como otras partes del carro.

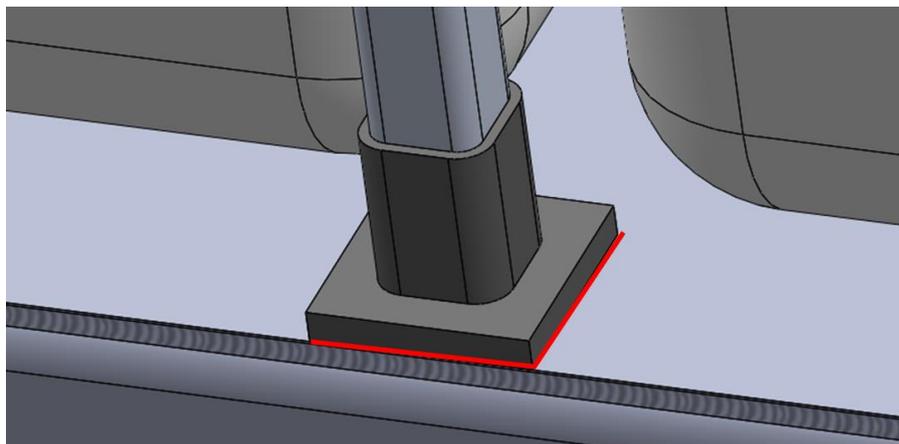


Figura D.6 – Representación de la soldadura de la unión ANCLAJE BARRERAS-CHASIS [fuente propia]

Se ha considerado que la unión de estas piezas mediante un cordón de soldadura simplifica el montaje y mejora la estabilidad del carro. Además, reduce el número de taladrados realizados sobre la base, lo cual es fundamental para no sufrir complicaciones con la rigidez del chasis.

Al tratarse de los mismos materiales y espesores similares que los expuestos en el *Apartado 2.2*, se propone realizar un cordón de soldadura similar (ancho de 3mm, varilla de 1.6, CC).

2.5 Conclusión - Uniones Soldadas

En este bloque, se ha buscado proporcionar una visión general de las uniones soldadas presentes en el carro motorizado. Se ha llevado a cabo una justificación de la elección de la soldadura TIG utilizando corriente continua, debido a que se considera que esta técnica es la más adecuada para la unión de piezas de aluminio con bajo espesor.

3 UNIONES ATORNILLADAS

A lo largo de este apartado se llevará a cabo la exposición de las distintas uniones atornilladas seleccionadas para cada elemento. Las uniones atornilladas son un tipo de conexión mecánica entre dos o más piezas en las que se utilizan tornillos como elementos de fijación.

Las razones de la selección de este tipo de uniones son numerosas. Por un lado, los valores de resistencia que ofrecen estas fijaciones son altos en comparación con otros procesos más caros y complejos. Además, otra ventaja importante de estas uniones es que son desmontables, facilitando así tareas de montaje, mantenimiento o sustitución.

Se ha considerado la utilización de este tipo de uniones en los elementos que se exponen a continuación debido a las razones de sencillez de montaje y resistencia.

3.1 Unión RUEDA TRASERA + CHASIS

Según recomienda el fabricante de las ruedas pivotantes traseras [10], la manera correcta de instalar este equipo es mediante la utilización de cuatro tornillos en los orificios pertinentes. Se muestran estos orificios en la siguiente figura.



Figura D.7 – Rueda pivotante trasera [RUEDAS ALEX]

La ficha técnica que el proveedor ofrece indica que los orificios realizados en la placa son de 10 mm. Se deberá llevar a cabo la búsqueda de un tornillo de este diámetro que resista los esfuerzos pertinentes. El esfuerzo (cortante) máximo que recibirán estos tornillos se presenta en el momento de carga nominal.

La fuerza representada en la *Figura D.8* corresponde con la fuerza de rozamiento estática que se genera debido a la fricción entre el suelo y la rueda.

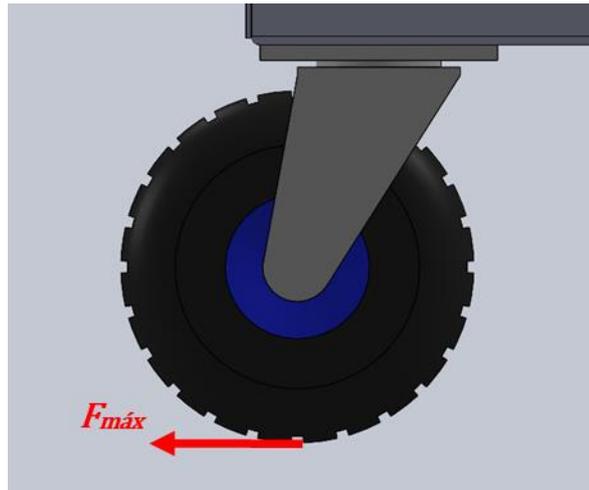


Figura D.8 – Ilustración de la fuerza máxima representada sobre la rueda trasera [fuente propia]

Estableciendo la carga nominal y operando de manera análoga al ANEXO B:

$$F_{máx} = 260 \cdot 9.81 \cdot 0.4 = 1019.2 \text{ N}$$

Esta fuerza cortante se traslada a los orificios (al eje del tornillo) repartiéndose de manera equitativa al considerar que el eje está alineado y la distribución es simétrica:

$$F_{\text{tornillo}} = \frac{F_{máx}}{4} = 254.8 \text{ N}$$

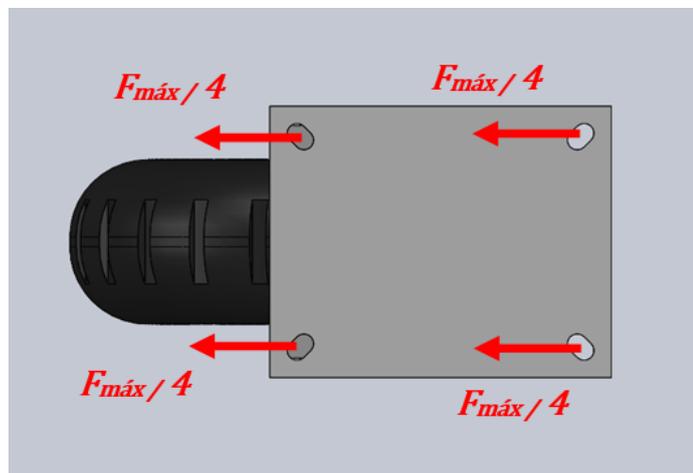


Figura D.9 – Ilustración de las fuerzas en la unión RUEDA TRASERA-CHASIS [fuente propia]

Una vez conocido el diámetro del tornillo, se opta por utilizar el sistema de rosca métrica DIN del *Instituto Alemán de Estandarización* [32]. Con un diámetro nominal de 10 mm, se elige la serie de tornillos roscados M10. Según esta norma, el paso de rosca estándar para los tornillos de esta serie es de 1.5 mm. La longitud del tornillo se determinará en función de los requisitos de instalación en el carro.

Los tornillos de la serie M10 se clasifican en diferentes categorías según su grado de resistencia. Para aplicaciones como esta, se utilizan habitualmente los tornillos de

clase 8.8. Esta clasificación indica una resistencia mínima a la tracción de 800 MPa y una resistencia mínima al límite elástico de 640 MPa.

Para determinar si los tornillos M10 de clase 8.8 son adecuados para soportar una fuerza cortante de 255 N, es necesario calcular el diámetro mínimo requerido y verificar si cumple con los requisitos establecidos.

$$F_{\text{tornillo}} \leq A_{\text{tornillo}} \cdot \tau_{\text{cortante}} \quad (\text{ec.1})$$

Siendo

$$A_{\text{tornillo}} - \text{Área del tornillo}$$

$$\tau_{\text{cortante}} - \text{resistencia al corte}$$

El área del tornillo se define como:

$$A_{\text{tornillo}} = \frac{\pi \cdot \phi_{\text{tornillo}}^2}{4}$$

Según expone la norma DIN, se considera aproximadamente que la resistencia al corte es un 70% de la resistencia a tracción. Por lo tanto:

$$\tau_{\text{cortante}} = 70\% \cdot \sigma_{\text{tracción}} = 0.7 \cdot 800 \quad (\text{ec.2})$$

$$\tau_{\text{cortante}} = 560 \text{ MPa}$$

Si se despeja la ecuación 1, es posible obtener el diámetro mínimo para la unión:

$$F_{\text{tornillo}} \leq \frac{\pi \cdot \phi_{\text{min}}^2}{4} \cdot \tau_{\text{cortante}}$$

$$\phi_{\text{min}} \geq \sqrt{\frac{F_{\text{tornillo}} \cdot 4}{\pi \cdot \tau_{\text{cortante}}}}$$

Una vez obtenida la expresión, se resuelve sustituyendo los valores:

$$\phi_{\text{min}} \geq \sqrt{\frac{255 \cdot 4}{\pi \cdot 560}}$$

$$\phi_{\text{min}} \geq 0.76 \text{ mm}$$

Se comprueba que el diámetro propuesto suple los requerimientos de la instalación correctamente. De esta manera, se confirma el uso de 4 tornillos M10 de calidad 8.8 por cada rueda trasera.

Para la comprobación de esta unión se hace uso de la herramienta de taladro del software CAD *SolidWorks*. Como se observa en las figuras, se ha realizado el orificio sobre la estructura del chasis.

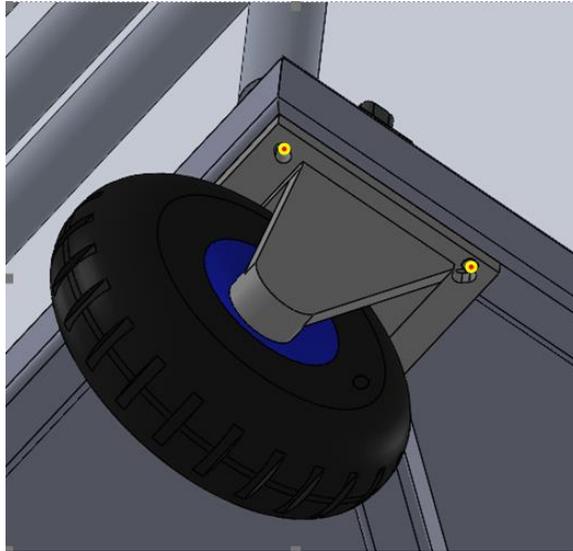


Figura D.10 – Orificios realizados sobre la estructura del chasis [fuente propia]

UNIÓN RUEDA TRASERA - CHASIS		
nº de tornillos	Tipo de tornillo	Proveedor
4x2 (8)	Tornillo M10, calidad 8.8, L=20 mm	Rodavigo

Tabla D.1 – Especificaciones unión RUEDA TRASERA – CHASIS [fuente propia]

3.2 Unión MOTOR – CHASIS

El fabricante del motor seleccionado, *RotonTek*, recomienda el uso de los soportes tipo “cruceta”. Estos se acoplan al eje estático del motor y se unen a la estructura mediante uniones atornilladas. Se muestra en la siguiente figura un ejemplo de este tipo de soportes sobre un motor del fabricante.

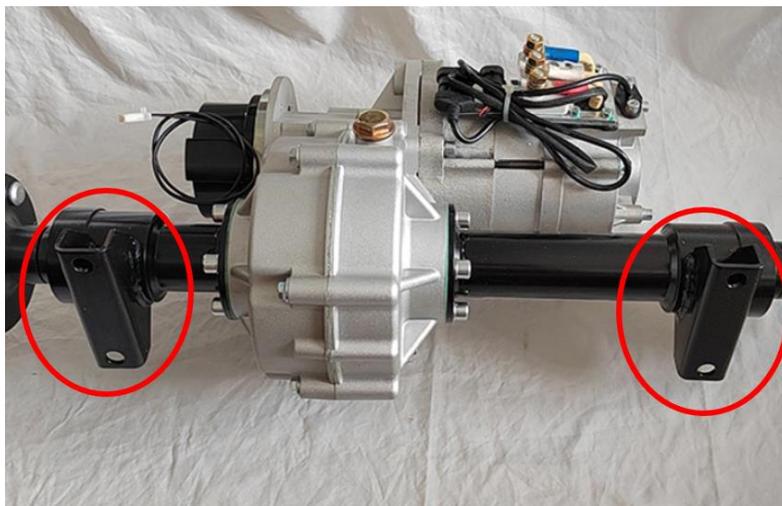


Figura D.11 – Soportes tipo para la unión MOTOR-CHASIS [Rotontek]

La posibilidad de conectar el motor a la base mediante una pieza especializada y uniones atornilladas es interesante por varios motivos. Se proporciona así una unión sólida y resistente que mantiene estable el motor durante el funcionamiento, evitando que se mueva o afloje.

Además, permiten un montaje y desmontaje más fácil y rápido. A pesar de que en el diseño de este carro motorizado no se contempla la necesidad de sustituir o desmontar el motor para una correcta utilización, facilita su mantenimiento y reparación en caso de ser necesario.

Se ha considerado una distribución de 12 tornillos a lo largo de la barra del chasis que asegure la unión entre los elementos. Se observa esta conexión en la siguiente figura.

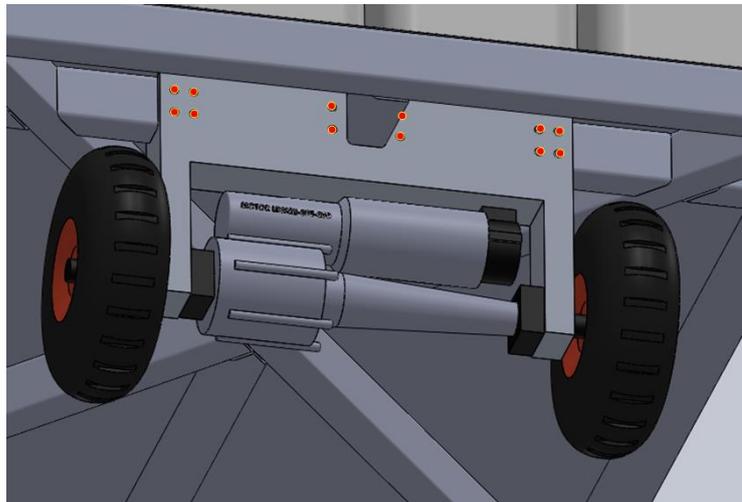


Figura D.12 – Modelo CAD de la distribución de las uniones atornilladas MOTOR-CHASIS [fuente propia]

La barra soporta sobradamente la sollicitación que el motor le impone como se demostró en el ANEXO C – Análisis 6.1.

Se propone el uso de tornillos M10 de calidad 8.8. Para verificar el comportamiento de esta unión, se realiza la simulación mediante el software *SolidWorks*. Para un estudio más sencillo se toma como volumen de estudio la barra que soporta el motor junto a la pieza y los tornillos, se observa esto en la siguiente figura:

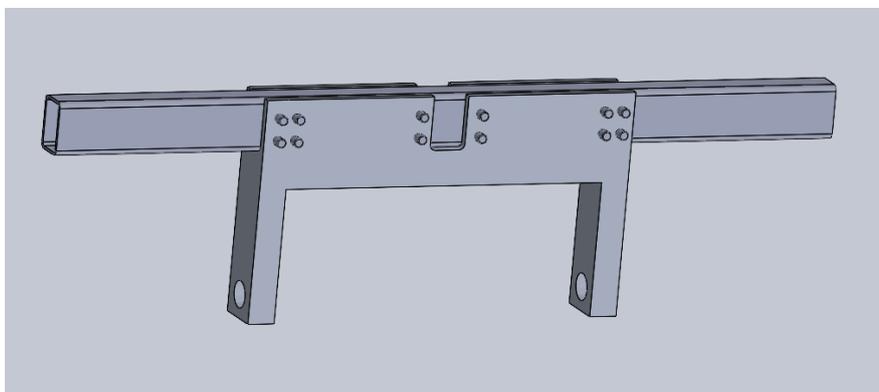


Figura D.13 – Volumen de estudio del análisis de la unión MOTOR-CHASIS [fuente propia]

Se toman las siguiente consideraciones en la simulación:

1. Se consideran los extremos de la barra como apoyos rígidos.
2. Se considera la carga del peso propio del motor junto con la pieza de unión como una carga dispuesta sobre los extremos de la pieza de unión (en cada extremo 93.195 N).
3. Se emplean tornillos M10 de calidad 8.8 como elemento de unión entre la barra y la pieza.
4. Se emplea para los elementos el material *Aluminio 6063 – T4*

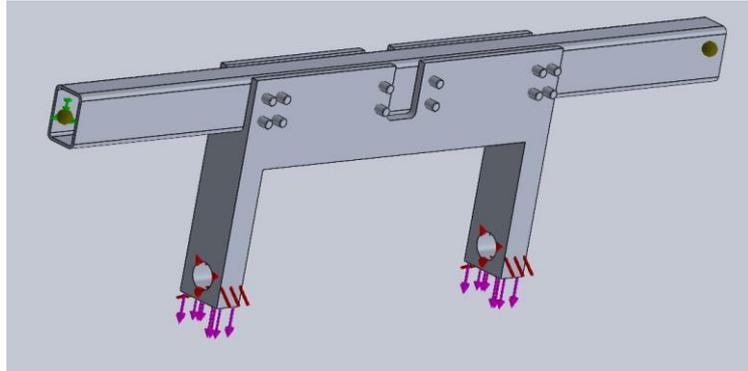


Figura D.14 – Distribución de cargas y restricciones dispuestas para el análisis [fuente propia]

Tras realizar el análisis estático en el programa, se confirma que la unión atornillada entre la pieza de unión del motor y el chasis es correcta. El sistema cumple con los requisitos de resistencia y rigidez, presentando deformaciones mínimas y sin llegar al límite elástico de los tornillos.

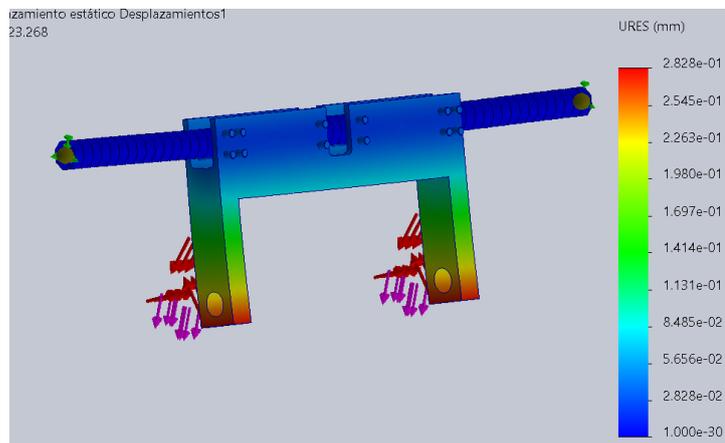


Figura D.15 – Resultado de deformaciones en estudio unión MOTOR-CHASIS [fuente propia]

Las solicitaciones a las que se sometieron los cuatro tornillos M10 de calidad 8.8 DIN fueron un cortante de 186.38 N y un momento de 37.24 Nm, todas ellas se distribuyen sobre los 12 tornillos. Los cálculos realizados indican que las tensiones resultantes en los tornillos se encuentran por debajo de los límites de resistencia permitidos, confirmando su correcta selección para el carro motorizado.

Resulta, por lo tanto, una unión entre el chasis y el motor como la que se muestra en la figura.

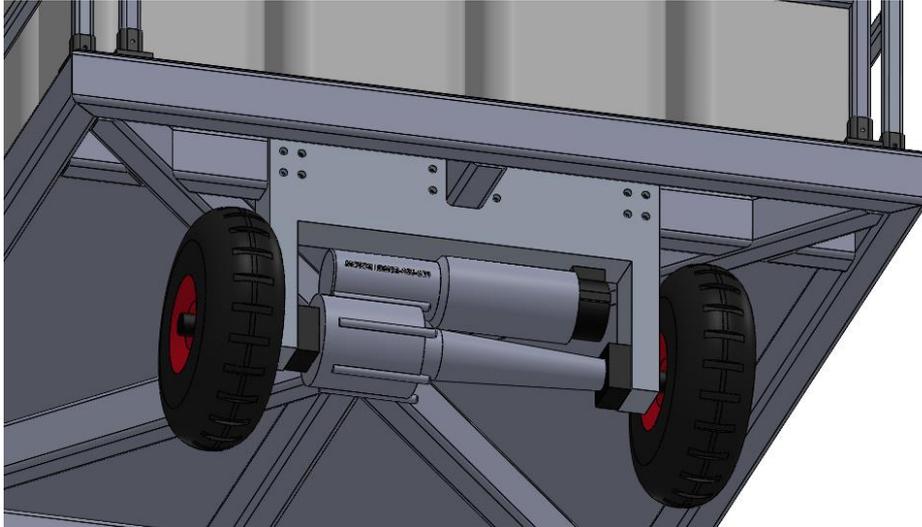


Figura D.16 – Modelo CAD unión CHASIS – MOTOR [fuente propia]

Otra consideración importante que tratar en esta conexión es el conflicto que podrían suponer las vibraciones del motor para estas uniones atornilladas. A pesar de ser un motor eléctrico, las vibraciones generadas durante el funcionamiento hacen necesario el uso de juntas de goma o algún elemento que las amortigüe y prevenga el aflojamiento.

Se propone para solventar esto, el uso de tuercas de tipo autoblocantes, un tipo de tuerca diseñada especialmente para evitar este problema y que funciona mediante un mecanismo de bloqueo incorporado. Esta aplica una resistencia adicional al movimiento de la tuerca en el sentido contrario. Se selecciona para la unión de los elementos la **TUERCA AUTOBLOCANTE INOXIDABLE A2 M10 DIN 985** del fabricante **WÜRTH** [33].



Figura 17 – Tuerca autoblocante inoxidable A2 M10 [Würth]

UNIÓN MOTOR - CHASIS		
nº de tornillos	Tipo de tornillo	Proveedor
12	Tornillo M10, calidad 8.8, L=75 mm	RS [34]
12	Tuerca autoblocante, M10, DIN 985	WÜRTH

Tabla D.2 – Especificaciones unión MOTOR – CHASIS [fuente propia]

3.3 Unión BARRERAS – ANCLAJE

La disposición de las barreras en el carro se realiza de manera sencilla. Al haber instalado los soportes para las barreras fijas al chasis, únicamente se requiere introducir los extremos de las barras en los orificios.

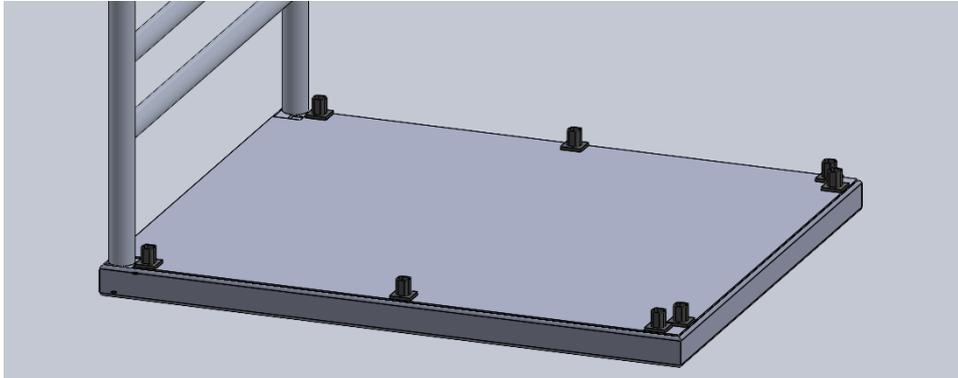


Figura D.18 – Distribución de las uniones en el chasis [fuente propia]

Las barreras ya se encuentran aseguradas mediante la pieza de anclaje. No obstante, con el fin de asegurar que estas no salgan de su posición durante el movimiento del carro, se disponen tornillos pasadores en, al menos, dos de las barras de cada barrera (indicado en la Figura D.19)

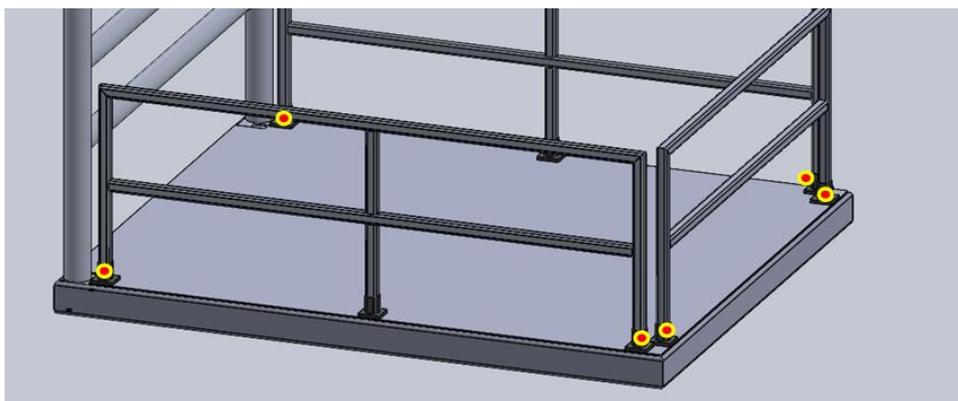


Figura D.19 – Distribución de las uniones BARRERA – ANCLAJE [fuente propia]

Dado que los tornillos se utilizan exclusivamente para mantener las barreras en su posición y no soportan ninguna carga, no se realiza un estudio estático detallado. Se proponen tornillos pasadores de rosca DIN – M5 y de longitud 30mm (M5x30).



Figura 20 – Pasador de rosca DIN – M5 [RS]

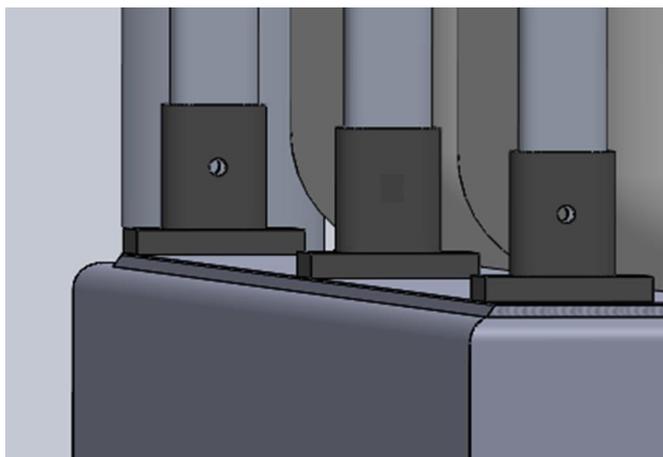


Figura D.21 – Modelo CAD unión BARRERA-ANCLAJE [fuente propia]

UNIÓN BARRERA - ANCLAJE		
nº de tornillos	Tipo de tornillo	Proveedor
6	Tornillo pasador M5, calidad 4.6, L=30 mm	RS

Tabla D.3 – Especificaciones unión BARRERA - ANCLAJE [fuente propia]

3.4 Unión SOPORTE BATERÍA - CHASIS

Como se expone en el ANEXO C, la batería se dispone sobre el chasis mediante dos piezas “abrazaderas” especializadas para el carro motorizado. A pesar de realizar un trabajo crucial de estabilidad para asegurar que la batería se mantenga correctamente en su posición, los esfuerzos que reciben estas piezas (así como sus uniones) son considerablemente pequeños.

Por sencillez de diseño y montaje se disponen tornillos de la misma serie que en los apartados anteriores. Se proponen, por lo tanto, tornillos M10 de una calidad inferior (4.6) para las uniones de la batería con el carro. Se observa en la Figura D.22 el mecanizado de taladro roscado realizado sobre las piezas de unión y el chasis para la correcta disposición.

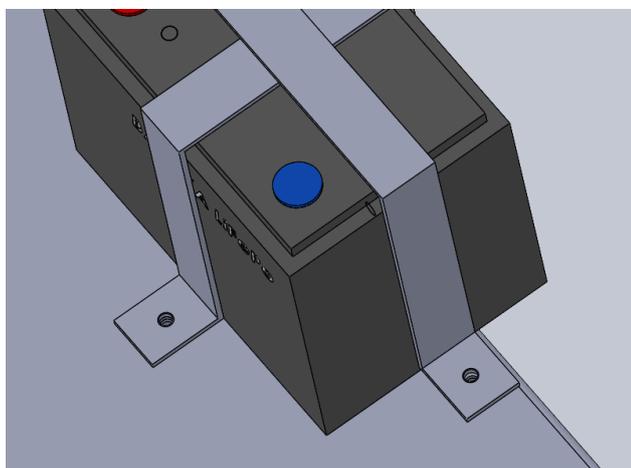


Figura D.22 – Orificios de taladro roscado para las piezas de unión BATERÍA - CHASIS [fuente propia]

UNIÓN BATERÍA - CHASIS		
nº de tornillos	Tipo de tornillo	Proveedor
12	Tornillo M10, calidad 4.6, L=20	RS

Tabla D.4 – Especificaciones unión BATERÍA – CHASIS [fuente propia]

3.5 Unión PLACA DE IDENTIFICACIÓN

Según establece la *normativa C.E. de seguridad de maquinaria* [35], la placa de identificación debe disponerse en un lugar visible del vehículo. Además, estas placas tienen la obligación de sobrevivir a los usos de la propia máquina por lo que es de vital importancia que la unión de este elemento se realice correctamente.



Figura D.23 – Detalle del modelo CAD de la placa [fuente propia]

Se proponen tornillos autorroscantes de diámetro 3, concretamente tornillos de cabeza alomada y longitud 15 mm. De nuevo, se considera que el pequeño esfuerzo que realiza el peso de la placa sobre la estructura del carro no merece de un estudio estático. Por lo tanto, se muestra la placa dispuesta sobre el chasis, concretamente a la derecha de la parte trasera:

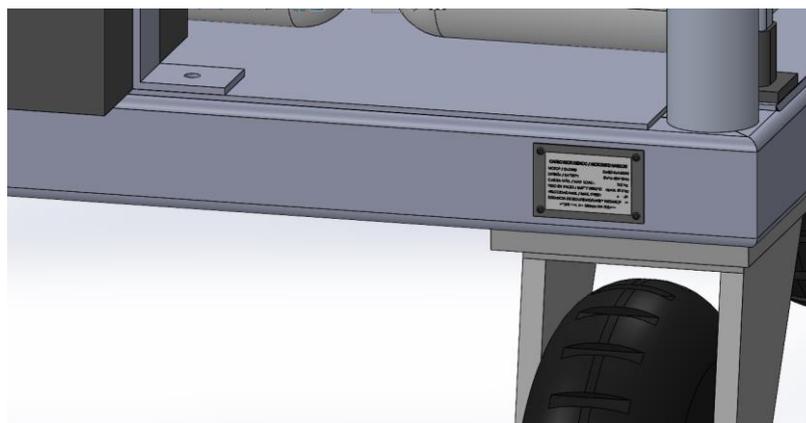


Figura D.24 – Detalle del modelo CAD de la placa unido al carro [fuente propia]

UNIÓN PLACA DE IDENTIFICACIÓN		
nº de tornillos	Tipo de tornillo	Proveedor
4	Tornillo autorroscante M3, L=15 mm	RS

Tabla D.5 – Especificaciones unión PLACA DE IDENTIFICACIÓN [fuente propia]

4 MONTAJE

Una vez realizadas todas las uniones del carro motorizado, se expone en este penúltimo apartado el montaje de los elementos restantes que se incorporan a la estructura. Al contrario de las uniones atornilladas o soldadas, estas no requieren de ningún tipo de mecanizado para ser instaladas.

4.1 Sistema de control de velocidad

En el documento adjunto *ANEXO C* (en el que se expone la selección del equipo de propulsión), se indica que el equipo de variación de velocidad seleccionado dispone de abrazaderas incorporadas. Estas permiten instalar los equipos sobre barras de distintos diámetros mediante una rosca de fábrica.

Para la instalación de los equipos sobre la estructura, únicamente es necesario abrir completamente la abrazadera e incorporarla sobre la barra correspondiente. De esta manera se pueden disponer los tres elementos del sistema de control sobre las barras de la estructura de empuje.

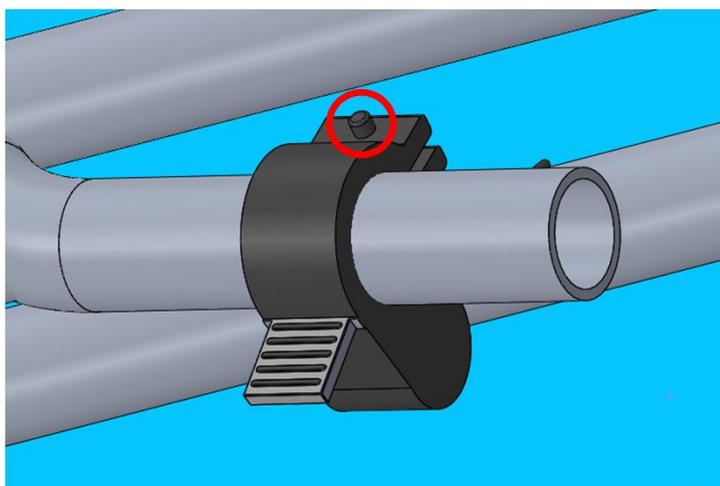


Figura D.25 – Modelo CAD del acelerador de pulgar [fuente propia]

Se observa en la figura rodeado en rojo la rosca que asegura la sujeción y permite la incorporación a la barra. Se opera de manera análoga con las abrazaderas de la pantalla LED (que se dispondrán donde el operario requiera) y la placa de control electrónica (que se instalará en la barra vertical derecha de empuje).

Los cables del sistema de control de velocidad, así como los que se unen con la batería y el motor, se dispondrán unidos a la estructura metálica mediante bridas de nylon. A pesar de tratarse de un equipo especializado para uso en exteriores, se dispondrá alrededor de estos un tubo corrugado de plástico que proteja la instalación de cableado de las inclemencias del tiempo y el polvo.

4.2 Ruedas delanteras

Una vez que el motor ha sido montado en la estructura del chasis, el proceso de instalación de las ruedas delanteras implica introducir estas en los ejes de tracción del motor. Con el fin de asegurar una conexión adecuada entre el eje y la rueda, el fabricante suministra dos pasadores específicos para ello.

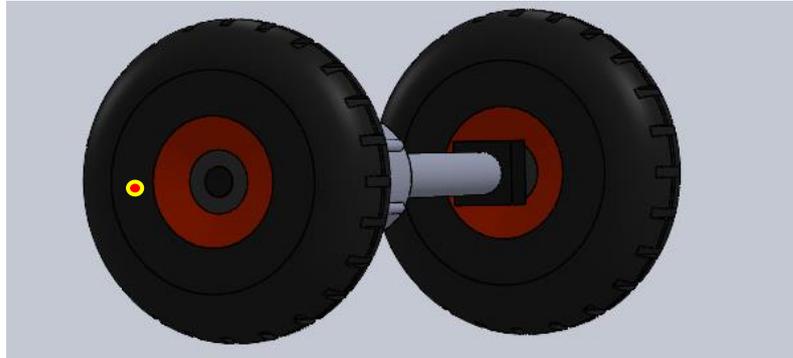


Figura D.26 – Modelo CAD de ruedas delanteras instaladas en el motor [fuente propia]

Estos pasadores están diseñados con dimensiones y características precisas para adaptarse a los agujeros correspondientes. Su instalación se lleva a cabo insertándolos a través de los orificios alineados (indicado en el círculo de la *Figura D.26*) en ambos componentes, asegurando así una unión firme y estable.

5 RESULTADO FINAL

En este último apartado se muestran las imágenes del modelo CAD del carro una vez que se han realizado las uniones y el montaje pertinente. Se representa así el producto final del carro motorizado en su forma completa y ensamblada, ofreciendo una visualización detallada del diseño y la apariencia del carro.



Figura D.27 – Modelo CAD del carro motorizado - vista con bidones [fuente propia]



Figura D.28 – Modelo CAD del carro motorizado - vista lateral con bidones [fuente propia]

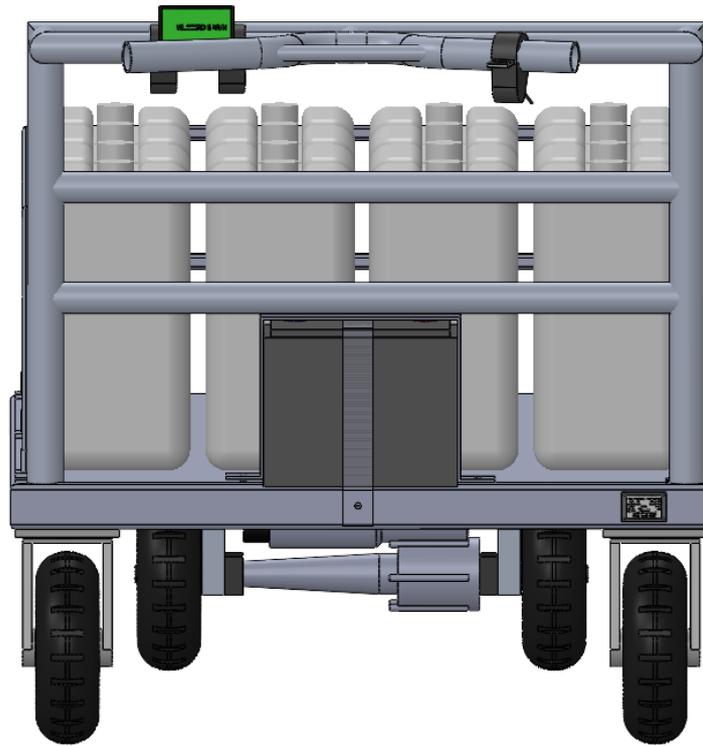


Figura D.29 – Modelo CAD del carro motorizado - vista trasera con bidones [fuente propia]

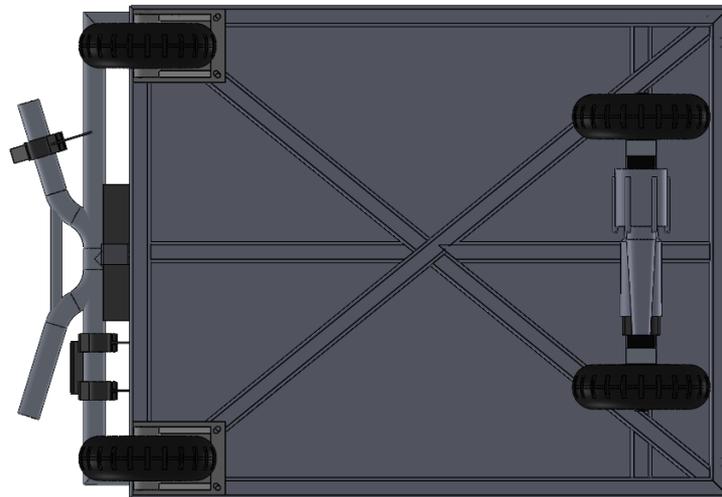


Figura D.30 – Modelo CAD del carro motorizado - vista inferior [fuente propia]

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

PRESUPUESTO

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:
ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE PRESUPUESTO

1	INTRODUCCIÓN	2
2	COSTES DE FABRICACIÓN DEL CARRO.....	2
2.1	Capítulo I - Equipo de propulsión.....	2
2.2	Capítulo II - Fabricación de piezas y estructura	3
2.3	Capítulo III - Uniones atornilladas.....	4
3	COSTE TOTAL.....	4
4	VIABILIDAD DEL PROYECTO	5

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de este documento se presenta la estimación y planificación de los costos asociados a la producción del carro diseñado. El objetivo principal de este estudio es proporcionar una visión detallada de la inversión financiera necesaria para materializar el vehículo. Dado que se trata de un proyecto relacionado con la ayuda humanitaria, el enfoque del diseño del carro se ha centrado en seleccionar los mejores equipos disponibles en lugar de buscar un equilibrio entre calidad y precio con fines de comercialización.

2 COSTES DE FABRICACIÓN DEL CARRO

Para facilitar el entendimiento del documento, se va a desglosar el coste total en varias secciones. Forman estos tres bloques el equipo de propulsión, la estructura y piezas del carro y los elementos de las uniones atornilladas.

2.1 Capítulo I - Equipo de propulsión

El equipo de propulsión es el núcleo del carro motorizado y el sistema que distingue y da sentido al proyecto. Forman este bloque un conjunto de elementos específicos seleccionados para proveer el carro de un sistema de tracción útil y duradero. Los costes mostrados en el presupuesto provienen de los precios de compra y envío (IVA incl.) indicados por los fabricantes.

CAPÍTULO I - EQUIPO DE PROPULSIÓN					
ELEMENTO	PROVEEDOR	MODELO	unidades	Precio [€]	Subtotal [€]
MOTOR ELÉCTRICO	<i>RotonTek</i>	LDM22-355-800	1	750	750
BATERÍA	<i>CAPAEnergy</i>	Batería LiFePO 10217	1	1578	1578
PANTALLA LCD	<i>NIMOMO</i>	PANTALLA LCD S900	1	149.27	149.27
ACELERADOR	<i>BEWINNER</i>	Acelerador 300X			
SISTEMA DE CONTROL	<i>NIKOU</i>	B08FTBSHKX			
RUEDAS DELANTERAS	<i>NOVODINÁMICA</i>	RUEDA NEUMÁTICA 688	2	81.7	163.4
RUEDAS TRASERAS	<i>RUEDASALEX</i>	WL-RIP 4-0904	2	118.64	237.28
PRECIO EQUIPO PROPULSIÓN [€]				2877.95	

2.2 Capítulo II - Fabricación de piezas y estructura

La estimación del coste de fabricación de las piezas y estructura del carro motorizado se ha realizado mediante la herramienta “Costing” del software *SolidWorks*. Dentro del precio final de cada elemento se encuentran los costes derivados de los perfiles y materiales utilizados, así como los procesos asociados de mecanizado, soldadura y uniones.

CAPÍTULO II - PIEZAS Y ESTRUCTURA			
ELEMENTO	unidades	Precio [€]	Subtotal [€]
CHASIS	1	164.69	164.69
EMPUJE	1	78.61	78.61
BARRERA LATERAL	2	24.27	48.54
BARRERA FRONTAL	1	14.33	14.33
ANCLAJE	6	9.92	59.52
UNIÓN MOTOR	1	998.47	998.47
UNÓN BATERÍA VERTICAL	1	14.33	14.33
UNIÓN BATERÍA HORIZONTAL	1	16.5	16.5
PRECIO PIEZAS Y ESTRUCTURA [€]			1394.99



Nombre del modelo:	EMPUJE
Fecha y hora del informe:	11/07/2023 3:15:59
Peso total:	7.03 kg
Peso total del material:	7.28 kg

Cantidad para producir	
N.º total de piezas:	100
Tamaño del lote:	100

Coste estimado por pieza:	78.61 EUR
Plantilla de Costing principal:	multibodytemplate_default(metric).sldctc
Comparación:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> 28% </div> <div style="text-align: right;"> Actual 78.61 Anterior 61.12 </div> </div>

Desglose de costes		
Personalizado:	0.00 EUR	0%
Material:	0.00 EUR	0%
Fabricación:	78.61 EUR	100%
Molde:	0.00 EUR	100%
Marca:	0.00 EUR	0%

Figura P.1 - Ejemplo de partida realizada con la herramienta Costing [fuente propia]

2.3 Capítulo III - Uniones atornilladas

De manera similar al equipo de propulsión, los costes mencionados en el presupuesto de las uniones atornilladas se han obtenido a partir de los catálogos y sitios web de los fabricantes. Se ha establecido como coste de cada elemento el precio correspondiente al pedido de las unidades mínimas permitidas por el proveedor (IVA incl.).

CAPÍTULO III - UNIONES ATORNILLADAS			
ELEMENTO	PROVEEDOR	unidades (pedido min.)	Precio [€]
Tornillo M10, calidad 8.8, L=20 mm	<i>Rodavigo</i>	20	18.8
Tornillo M10, calidad 8.8, L=75 mm	<i>RS</i>	25	31.38
Tuerca autoblocante, M10, DIN 985	<i>WÜRTH</i>	50	9.49
Tornillo pasador M5, calidad 4.6, L=30 mm	<i>RS</i>	50	27.88
Tornillo M10, calidad 4.6, L=20	<i>RS</i>	50	12.29
Tornillo autorroscante M3, L=15 mm	<i>RS</i>	100	8.4
PRECIO UNIONES ATORNILLADAS [€]			108.24

3 COSTE TOTAL

Tras el desglose detallado de cada uno de los gastos relacionados con el equipamiento y fabricación, se presenta el coste total de producción del carro motorizado. Ascende a un total de **4381.18 €**.

PRESUPUESTO TOTAL - CARRO MOTORIZADO	
SUB-TOTAL EQUIPO PROPULSIÓN [€]	2877.95
SUB-TOTAL ESTRUCTURA [€]	1394.99
SUB-TOTAL UNIONES ATORNILLADAS [€]	108.24
PRECIO TOTAL CARRO [€]	4381.18

4 VIABILIDAD DEL PROYECTO

La realización de este proyecto se escapa de fines con ánimo de lucro por lo que el término de viabilidad representa la posibilidad de puesta en marcha del carro motorizado. Dentro del estudio del presupuesto se ha considerado importante evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Por un lado, el coste de fabricación obtenido representa el gasto relacionado con la adquisición de materiales, componentes y mano de obra si el carro fuera producido en *España*. Esto implica que es necesario considerar las posibles variaciones en los precios si se realizara en *Senegal*. Entre ellos, los salarios y condiciones laborales en el país son considerablemente inferiores a los de *España*, estando el salario mínimo mensual del país africano en 89.79€ [36]. En cuanto a la disponibilidad y acceso a los recursos de producción en la aldea son nulos. No obstante, la capital del país, *Dakar*, cuenta con numerosos proveedores y talleres, así como conexiones económicas con *Europa*.

Un gasto crucial para la puesta en marcha del carro es el de transporte y logística, requiriendo de un largo desplazamiento por rutas nacionales desde la capital hasta la aldea (incluyendo el envío, aduanas, etc. si se realizara la compra de los equipos desde *España*).

Para realizar la puesta en marcha del carro en el poblado se requeriría de un estudio detallado que cuente con el respaldo de la financiación de una Organización No Gubernamental o alguna identidad interesada en participar en el proyecto. Se establece por lo tanto el precio del presupuesto como el coste del desarrollo de un prototipo, previa la fabricación y operación en Senegal.

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

CATÁLOGOS

ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:

ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

ÍNDICE CATÁLOGOS

1	MOTOR.....	2
2	BATERÍA.....	8
3	EQUIPO CONTROLADOR DE VELOCIDAD	10
4	RUEDA DELANTERA.....	13
5	RUEDA TRASERA.....	14

1 MOTOR



Transeje de 800 W – 1000 W con motor sin escobillas LDM25-364



Experimente los extraordinarios transejes de la serie LDM25-364, que cuentan con un motor de CC sin escobillas de imán permanente de vanguardia y un diferencial único.

La transmisión de dos etapas del diferencial ofrece un funcionamiento a baja velocidad con un par de salida sustancial, lo que la convierte en una solución ideal para lavadoras de tamaño mediano, carros eléctricos y equipos de entretenimiento.

Estos transejes de 800W-1000W redefinen la potencia, combinando bajo nivel de ruido y

Categorías: [Transejes eléctricos](#), [Vehículo Micro Eléctrico](#), [Transeje para AGV](#), [Transeje para robot de servicio](#)

Descripción

Sumérjase en el excepcional mundo de los transejes eléctricos de alta calidad, eficientes y de bajo ruido de la serie LDM25-364 de Zhongshan Rotontek. Un producto de ingeniería superior, estos transejes de 800W y 1000W ofrecen una combinación inmejorable de durabilidad, accionamiento potente y eficiencia energética. Nuestros transejes son ideales para diversas aplicaciones tales como: [lavadoras medianas](#), [Carros eléctricos](#), y equipo de entretenimiento.



Aplicación



¿Por qué elegir la serie LDM25-364?

- **El silencio es oro:** Con un nivel de ruido de ≤ 60 dB, nuestros transejes funcionan silenciosamente, minimizando las perturbaciones en sus operaciones diarias.
- **Poderosamente eficientes:** equipados con un motor sin escobillas, nuestros transejes están diseñados para ofrecer una potencia fuerte y constante incluso durante la conducción cuesta arriba, con una impresionante tasa de eficiencia del 86%.
- **Libre de mantenimiento, alta longevidad:** Los transejes vienen con lubricación con grasa, lo que garantiza una larga vida útil sin mantenimiento.
- **Seguridad por encima de todo:** Con un freno electromagnético y un diferencial para alta seguridad, estos transejes ofrecen un rendimiento seguro y confiable en varios escenarios.

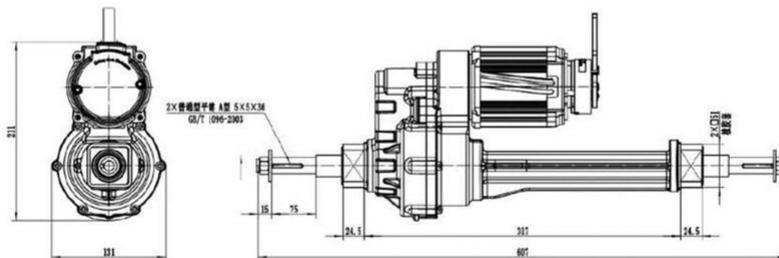




Un vistazo a la serie LDM25-364

Parámetros Motorreductor Transeje	
Modelo	LDM22-355-800
Tensión nominal	DC 48V
Potencia nominal	800W
Relación de transmisión	1:19.75
Velocidad sin carga	150±10% RPM
Par nominal	50 Nm
Eficiencia Motora	85%
Diámetro del motor	Ø90
Freno electromagnético	6 Nm
Ruido [db]	≤60

DIMENSIONES DEL MOTOR LDM25 - Serie 364



Units: mm



Características notables de la serie LDM25-364

1. Potencia como nunca: Experimente una potencia y un rendimiento incomparables con nuestro motor de desarrollo propio. Fuerte y versátil, maneja cualquier desafío con facilidad.

2. Sistema de engranajes superior: Nuestros transejes están equipados con engranajes de dientes duros de acero aleado y un diferencial de engranajes incorporado, lo que garantiza una dirección más suave y un rendimiento robusto.

3. Sistema de frenos electromagnético inteligente: El freno electromagnético de última generación ofrece una alta seguridad y firmeza absoluta, incluso en pendientes.

4. Impermeable y a prueba de polvo: Con una clasificación IP65, nuestros transejes pueden manejar una amplia gama de entornos, ofreciendo una capa adicional de protección y longevidad.



5. Garantía de calidad sin concesiones: En Zhongshan Rotontek, nos enorgullecemos de nuestro proceso de producción meticuloso y estandarizado. Cada producto pasa por una serie de controles de calidad para garantizar una salida de alta calidad, garantizando una experiencia superior y sin fallas para nuestros clientes.

6. Personalizado para sus necesidades: Cada cliente es único, y respetamos eso. Zhongshan Rotontek ofrece soluciones personalizadas para satisfacer sus necesidades específicas, reforzando nuestro compromiso con la satisfacción del



cliente. Nuestro soporte para la personalización se extiende a través de diferentes aplicaciones, asegurando una combinación perfecta para cada requisito.

7. Sistema de servicio integral: Valoramos a nuestros clientes y su confianza en nosotros. A su vez, proporcionamos un sistema de servicio refinado que atiende todas las inquietudes de los clientes de manera rápida y eficiente, creando una experiencia del cliente sin esfuerzo de principio a fin.



Técnicas:

El transeje eléctrico LDM25-364 con motor sin escobillas alberga un motor de CC sin escobillas de imán permanente y un diferencial, que reúne lo mejor de ambos mundos. El diferencial utiliza transmisión de dos etapas, ofreciendo baja velocidad y gran par de salida. Esta combinación única ofrece un rendimiento excepcional incluso en las situaciones más exigentes.

Dominar la mecánica del movimiento: transejes y más

En Rotontek, no solo creamos productos, sino que diseñamos experiencias. Conocidos por nuestro enfoque progresivo y diseño innovador, ofrecemos una gama de transejes de motor sin escobillas avanzados y tracción en las ruedas que revolucionan el concepto de movimiento. Ya sea para carros eléctricos, lavadoras o vehículos de limpieza especializados, nuestros productos allanan el camino para una eficiencia superior, operaciones de bajo ruido y longevidad.

La serie LDM25-364: Redefiniendo la ecuación de potencia



La **serie LDM25-364** de transejes con motores sin escobillas de Rotontek continúa ampliando los límites de potencia y rendimiento. Con potencias excepcionales de 800 W a 1000 W y bajos niveles de ruido distintivos, estos transejes ofrecen el equilibrio perfecto entre resistencia, funcionamiento silencioso y eficiencia energética.

La serie LTD03: movimiento dinámico redefinido

Nuestras **unidades de rueda sin escobillas de imán permanente de la serie LTD03** son el epítome de la precisión y el rendimiento. Diseñadas específicamente para aplicaciones de alta carga, estas ruedas motrices sobresalen por proporcionar un control de par y velocidad sin igual. Experimente una maniobrabilidad y eficiencia superiores con la serie LTD03, lo que marca un salto significativo en la evolución de la tecnología de tracción a las ruedas.

La serie LD02B-355: potencia compacta

La **serie LD02B-355 de transeje de cepillo de imanes permanentes de 500-800W Transejes eléctricos** promete una potencia compacta y un rendimiento robusto. Con un compromiso con la eficiencia energética y las operaciones de bajo ruido, estos transejes abren un mundo completamente nuevo de posibilidades para aplicaciones de servicio medio, acercándole al futuro de las soluciones de energía sostenibles.

Soluciones especializadas: el poder de la precisión

Rotontek también sobresale en el diseño de soluciones específicas para aplicaciones, como nuestros **transejes eléctricos con escobillas de imán permanente de 200 W**, creados específicamente para la limpieza de vehículos. Con bajo nivel de ruido, alta eficiencia y una potencia nominal optimizada, estos transejes ofrecen una solución especializada para operaciones sin mantenimiento. Experimente la perfecta integración de potencia y precisión, transformando las tareas diarias de limpieza en un proceso eficiente.

En **Rotontek**, creemos en ampliar los límites de la tecnología, avanzando continuamente hacia la combinación perfecta de potencia, eficiencia y rendimiento. Nuestra cartera de transejes y motores es testimonio de este compromiso, ofreciendo una gran cantidad de soluciones de potencia diseñadas para satisfacer sus requisitos únicos. El futuro del poder está aquí, y se ejecuta en Rotontek.

2 BATERÍA



Power Brick +
Paquete de iones de litio de 48V

Pack Ferrofosfato de Litio (LiFePO4) 48V - 25Ah

- Vida útil muy larga : de 2000 ciclos a varios miles (Ver la tabla)
- Descargas profundas posibles (hasta el 100%)
- Tecnología de bastido de hierro y litio completamente segura (sin riesgo de explosión o autotignición)
- BMS (Battery Management System) integrado en la carcasa : maximiza duración de la batería Y asegura la batería
- Muy baja toxicidad ambiental
- Duración del calendario > 10 años
- Excelente resistencia a la temperatura (-20°C a +60°C)
- Sistema flexible : hasta 10 paquetes en paralelo y 4 en serie
- Potencia constante durante toda la descarga (baja resistencia interna)
- Pérdidas Pukert muy bajas (eficiencia energética >96%)
- Autodescarga muy baja (<3% por mes)
- Sin efecto memoria
- Aumento de peso > 50 % y tamaño reducido en un 40 % en comparación con las baterías de plomo
- Certificación: CE, RoHS, UN 38.3, UL y CB

Especificaciones técnicas

Eléctrico	Voltaje nominal	51.2 V
	Capacidad nominal	25Ah
	Energía	1200Wh
	Resistencia interna	5.50 mΩ
	Numero de ciclos	>2000 ciclos (Ver tabla)
	Autodescarga	< 3% por mes
	Eficiencia energética	> 96%
carga estándar	voltaje de carga	58.4 V±0.1 V
	método de carga	CC/CV, corriente constante/voltaje constante
	Corriente de carga estándar (corriente continua máxima)	12.5A / 25A
	Tensión de corte BMS	58.4 V±0.1 V
descarga estándar	Corriente de descarga continua	50A
	Corriente máxima de descarga	75A (< 10 s)
	Tensión de corte BMS	10V
Medio ambiente	Temperatura de carga	0°C a 45°C @60±25% humedad relativa
	Temperatura de descarga	-20°C a 60°C @60±25% de humedad relativa
	Temperatura de almacenamiento	0°C a 40°C @60±25% humedad relativa
	protección de la PI	IP68
Mecánico	Células y ensamblaje	26650 - 1SS9P
	Agente	ABS
	Dimensiones	Ancho: 260 mm x profundidad: 188 mm x alto: 212 mm
	Peso	13.6 kg
	Terminal	M8



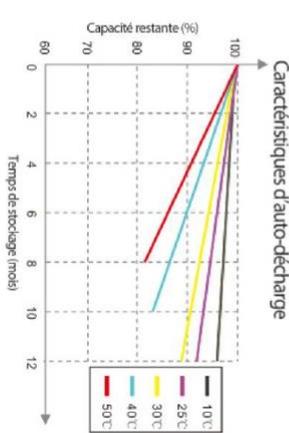
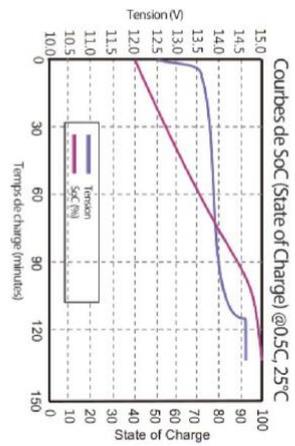
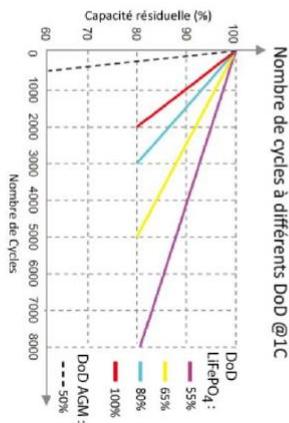
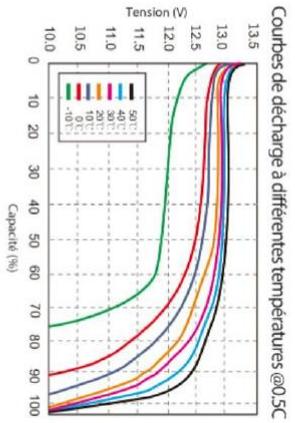
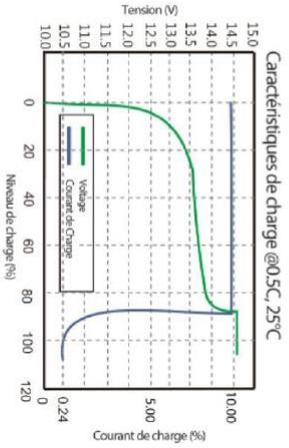
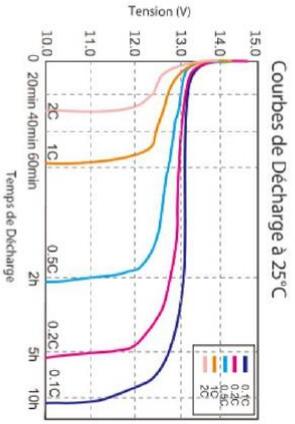
APLICACIONES

- Vehículos eléctricos, carros
- Almacenamiento de energía solar y eólica
- Marina
- Iluminación
- Cámara de seguridad
- SAL, respaldo eléctrico
- Telecomunicaciones
- Equipo médico

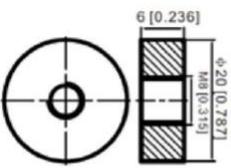


Power Brick +
Paquete de iones de litio de 48 V

Curvas y gráficos



Dimensiones



Systemas PowerTech SAS
Téléphone: +33 99 94 09 16
E-mail: contact@powertechsv.com
78100 POISSY - France
SAS sur un capital de 500 000 Euros
SIREN: 793 20 577 - N°A: FR3978629577
www.powertechsv.com
+33 99 94 09 16
contact@powertechsv.com

3 EQUIPO CONTROLADOR DE VELOCIDAD

NIMOMO

NIMOMO
ASIN: B0BQMRQWTW

EQUIPO CONTROLADOR DE MOTOR SIN ESCOBILLAS 48V 15A



PANEL DE PANTALLA LED



- **Ámbito de aplicación:** el panel LED del controlador de motor sin escobillas de 48 V es fácil de instalar y usar, con soporte de pantalla LCD, adecuado para manillares.
- **Pantalla LCD:** la pantalla LCD S900 muestra claramente el estado y los datos, y la luz de fondo le permite ver la pantalla claramente en entornos con poca luz. Botones para acciones rápidas.
- **Amplia gama de usos:** Fabricado con aleación de aluminio de alta calidad y material ABS, tiene un rendimiento confiable, resistente y duradero, y tiene una larga vida útil.

BEWINNER

ACELERADOR DE PULGAR

BEWINNER



- **Aplicación--** Acelerador de pulgar universal. Con este acelerador, es posible controlar la velocidad de tu motor eléctrico.
- **Alto rendimiento** El conector a prueba de agua puede garantizar la máxima durabilidad en cualquier condición climática, el cable de alto rendimiento y el conector a prueba de agua garantizan una baja tasa de fallas para un uso a largo plazo.

- **Derecha e izquierda universal--** La longitud del cable del controlador de velocidad es de casi 30,5 cm y es adaptable al diámetro del manillar, universal tanto para el lado izquierdo como para el derecho.
- **3PIN CONECTOR IMPERMEABLE-** Nuestro pedal acelerador 300X está diseñado para la conversión de la batería con el conector impermeable, puede asegurar la máxima durabilidad en cualquier condición climática. El cable de alto rendimiento y el conector impermeable garantizan un bajo índice de fallos para un uso prolongado.
- **RESISTENTE MATERIAL--** Este acelerador está hecho de material PC y ABS duradero y de alta dureza.



NIKOU

CONTROLADOR DE MOTOR CC SIN ESCOBILLAS

NIKOU



- **Materiales de alta calidad:** la carcasa del controlador está hecha de aleación de aluminio, con diseño de ranura, buena función de disipación del calor, puede proteger el circuito interno y evitar la sobrecarga térmica.
- **Ámbito de aplicación:** apto para, scooters, maquinaria industrial, etc.
- **Rendimiento estable:** el controlador de motor sin escobillas puede proporcionar una velocidad estable y un control sensible de los cambios de dirección y frenado. Práctico
- **Fácil de instalar:** la interfaz tiene una etiqueta de instrucciones, fácil de usar
- **Buena calidad:** cable e interfaz resistentes y duraderos, menos fallas, larga vida útil

ESPECIFICACIONES

Material: **Aleación de aluminio.**

Voltaje de funcionamiento nominal: **48 V**

Potencia nominal: **350 W**

Corriente: **13A**

Protección de bajo voltaje: **4V**

Ángulo de frase de motor adecuado: **60°/120°**

Peso aproximado. **204g**



4 RUEDA DELANTERA

RUEDA NEUMÁTICA Ø 260 mm DE 4 LONAS



5 RUEDA TRASERA

Información del producto

SERIE WL-RIP 4-1255 (EAN 8422202412559)



SERIE WL-RIP 4-1255

EAN 8422202412559



Ruedas color negro, con llanta de poliamix y cubierta neumática de 4 lonas especialmente indicadas para soportar cargas hasta 175 Kg.

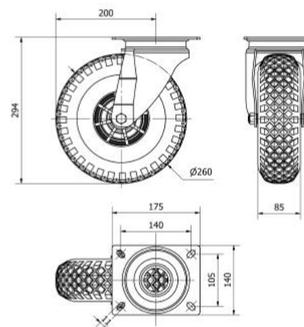
Se aplica en: carretillas de reparto, carros portabolletas, bidones, remolques, carros de almacén, plataformas, carros de transporte.

RIP: Neumática, silenciosa, buena amortiguación a los golpes.

Datos técnicos

Tipo Soporte	Giratorio
Tipo Fijación	Platina
Tipo Freno	Sin Freno
Material	Rueda Neumatica
Cojinete	Liso
Diámetro (mm)	260
Ancho de banda (mm)	85
Medidas de la placa (mm)	175x140
Distancia entre agujeros (mm)	140x105
Diámetro agujero (mm)	10
Radio de giro (mm)	200
Altura total (mm)	294
Capacidad de carga (kg)	175
Peso Unitario de la rueda (kg)	4.392
Volumen (cm ³)	11833

CAD



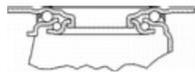
Para visualizar la imagen con mayor resolución y mas detalles técnicos, puedes acceder a la sección del CAD.

Información del producto

SERIE WL-RIP 4-1255 (EAN 8422202412559)



Soporte



Chapa de acero embutida. Acabado cincado brillante. Buena amortiguación a los golpes. Baja resistencia a la rodadura en suelos irregulares. La cámara de aire protege el piso.

Productos Similares



4-1258

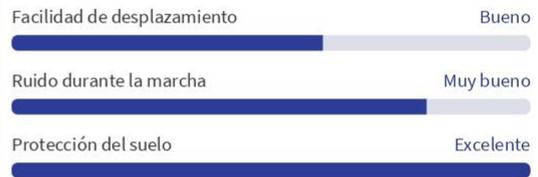


4-0903

Aro



Llanta de poliamix y cubierta neumática de 4 lonas



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE UN CARRO MOTORIZADO
PARA EL TRANSPORTE DE AGUA EN UN
POBLADO SENEGALÉS**

PLANOS

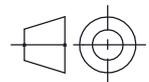
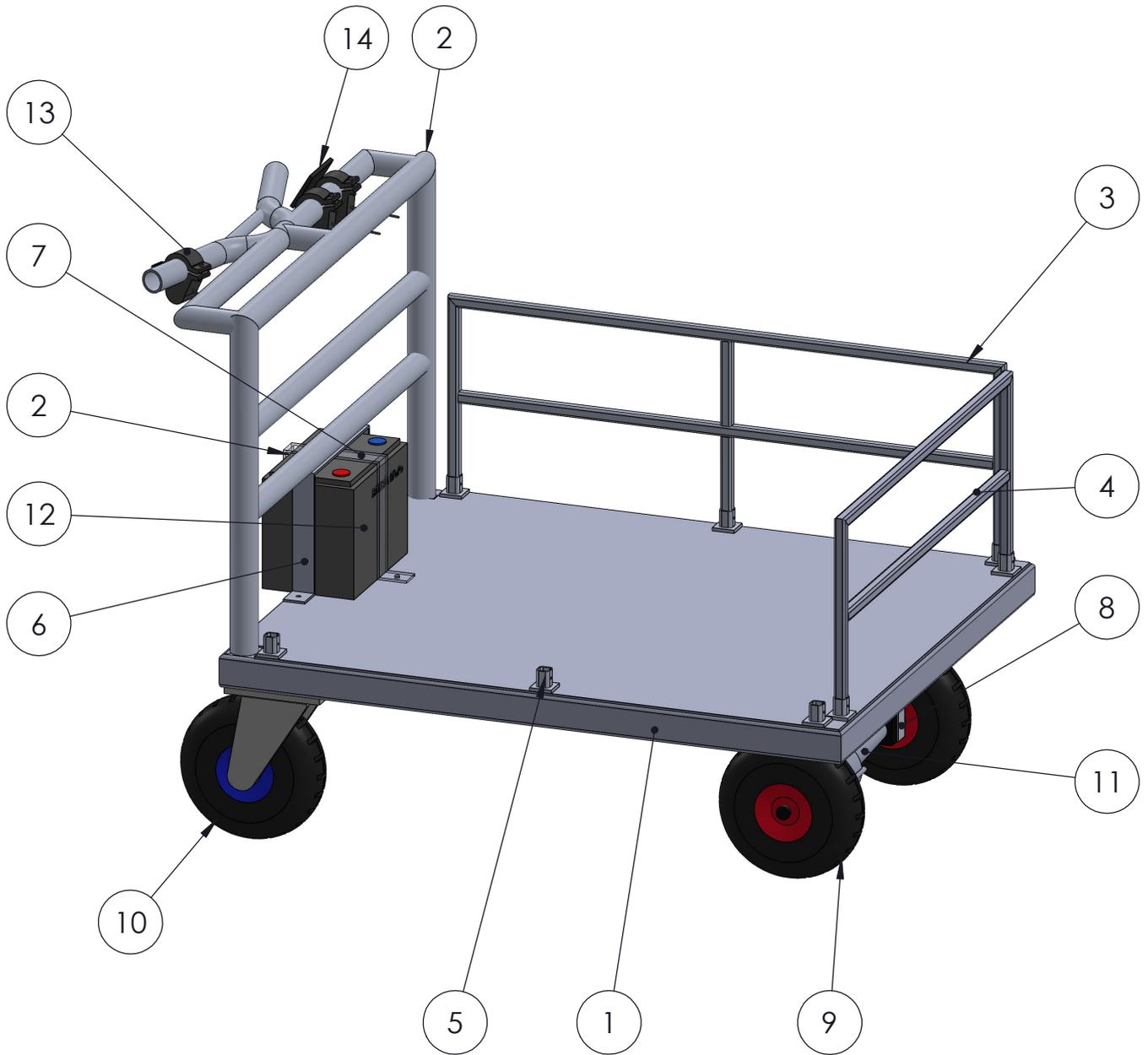
ALBERTO COBIELLA GARCÍA

TUTORA:
ISABEL TERESA MARTÍN MATEOS

San Cristóbal de La Laguna, JULIO DE 2023

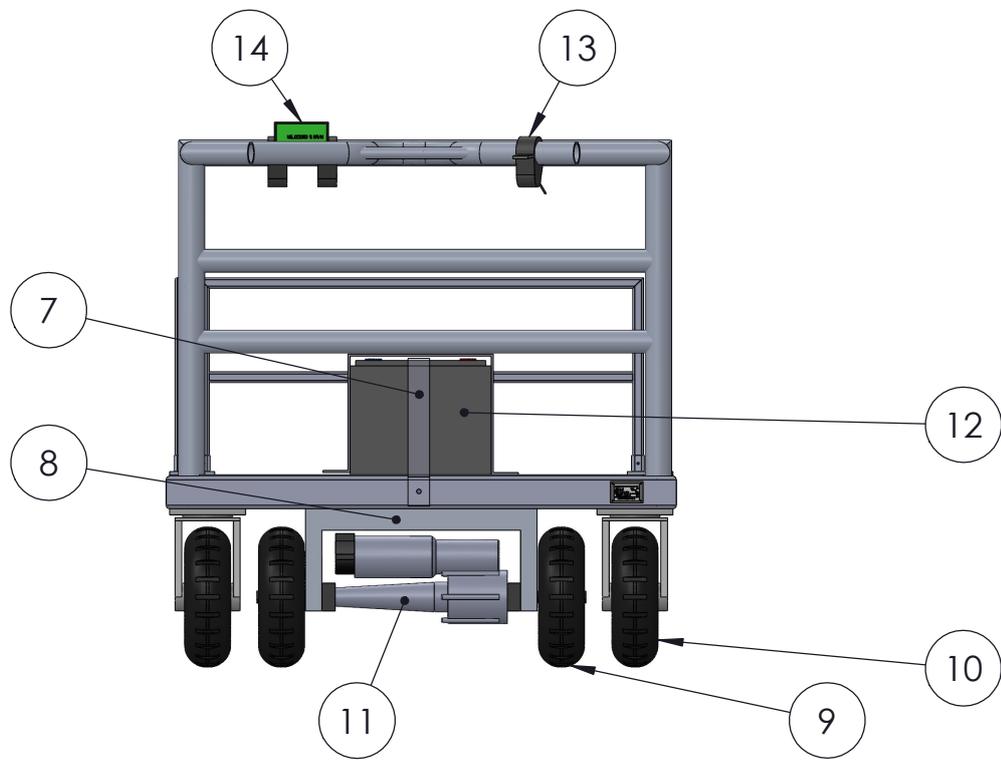
ÍNDICE PLANOS

1	PLANO 1.00 – PLANO DE CONJUNTO.....	2
2	PLANO 1.00* - PLANO DE CONJUNTO*	3
3	PLANO 1.01 – CHASIS.....	4
4	PLANO 1.02 – ESTRUCTURA DE EMPUJE.....	5
5	PLANO 1.03 – BARRERA LATERAL.....	6
6	PLANO 1.04 – BARRERA FRONTAL	7
7	PLANO 1.05 – ANCLAJE DE BARRERA	8
8	PLANO 1.06 – UNIÓN HORIZONTAL – BATERÍA	9
9	PLANO 1.07 – UNIÓN VERTICAL – BATERÍA.....	10
10	PLANO 1.08 – UNIÓN MOTOR	11



DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA

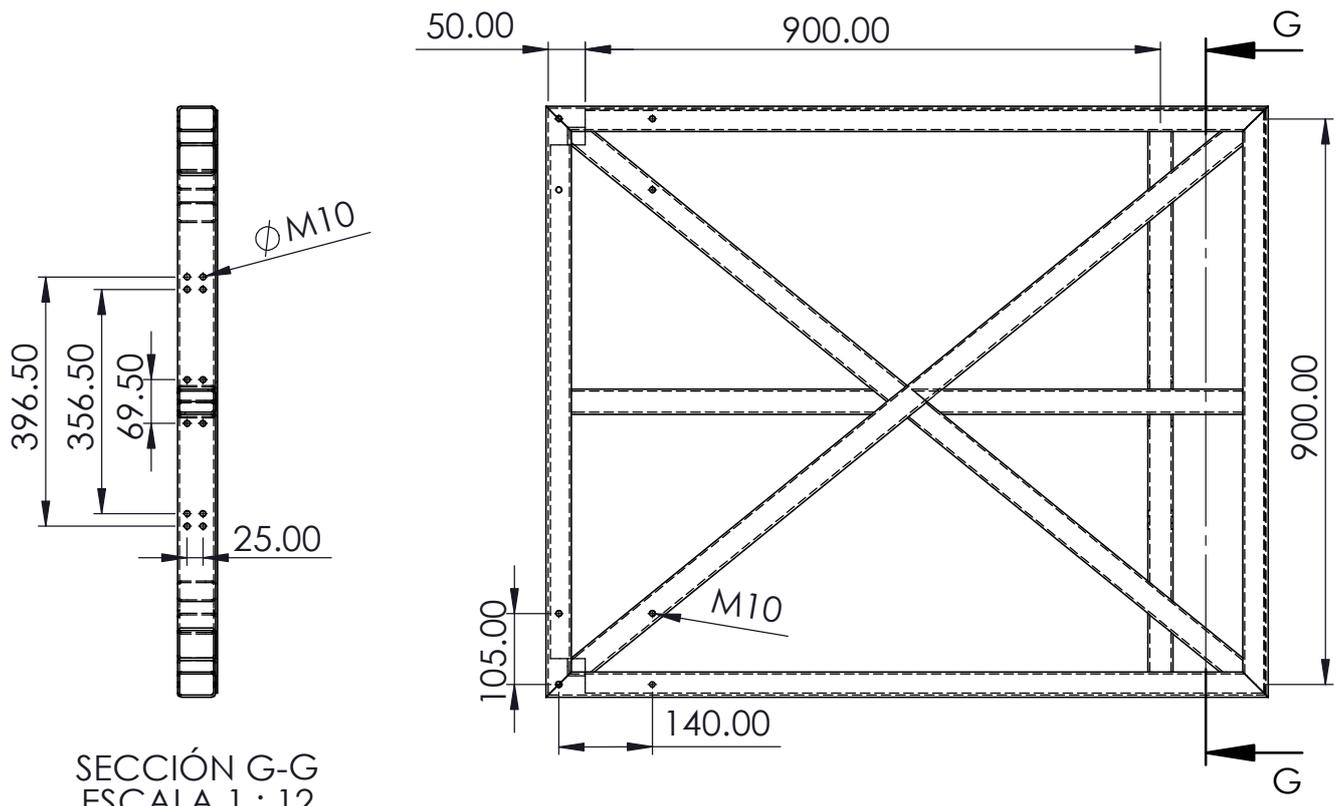
FECHA	AUTOR	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313			
Id. s. normas	-			
ESCALA: 1:11	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO		CONJUNTO N°:	1.00
	PLANO: PLANO DE CONJUNTO		PLANO N°:	1.00



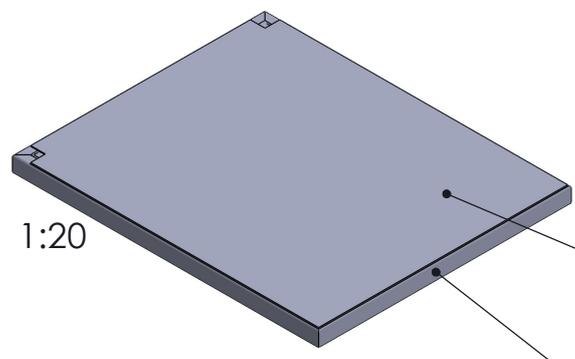
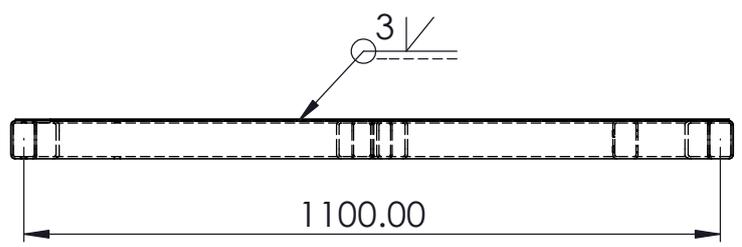
1	1	CHASIS	ALUMINIO 6063-T4
2	1	ESTRUCTURA DE EMPUJE	ALUMINIO 6063-T4
3	2	BARRERA LATERAL	ALUMINIO 6063-T4
4	1	BARRERA FRONTAL	ALUMINIO 6063-T4
5	8	ANCLAJE BARRERA	ALUMINIO 6063-T4
6	1	UNIÓN HORIZONTAL BATERÍA	ALUMINIO 6063-T4
7	1	UNIÓN VERTICAL BATERÍA	ALUMINIO 6063-T4
8	1	UNIÓN MOTOR	ALUMINIO 6063-T4
9	2	RUEDA NEUMÁTICA 688	FABR: NOVODINÁMICA
10	2	RUEDA WL-RIP 4-0904	FABR: RUEDASALEX
11	1	MOTOR LDM22-355-800	FABR: ROTONTEK
12	1	BATERÍA LiFePO 10217	FABR: CAPAEnergy
13	1	ACELERADOR 300X	FABR: BEWINNER
14	1	PANTALLA LCD S900	FABR: NIMOMO
15	1	SISTEMA CONTROL B08FTBSHKX	FABR: NIKOU
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL

DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA

FECHA	AUTOR		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA	
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313			Grado en Ingeniería Mecánica	
Id. s. normas	-			Universidad de La Laguna	
ESCALA:	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO			CONJUNTO Nº:	1.00
1:14	PLANO: PLANO DE CONJUNTO			PLANO Nº:	1.00*

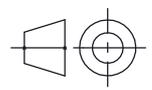


SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 12

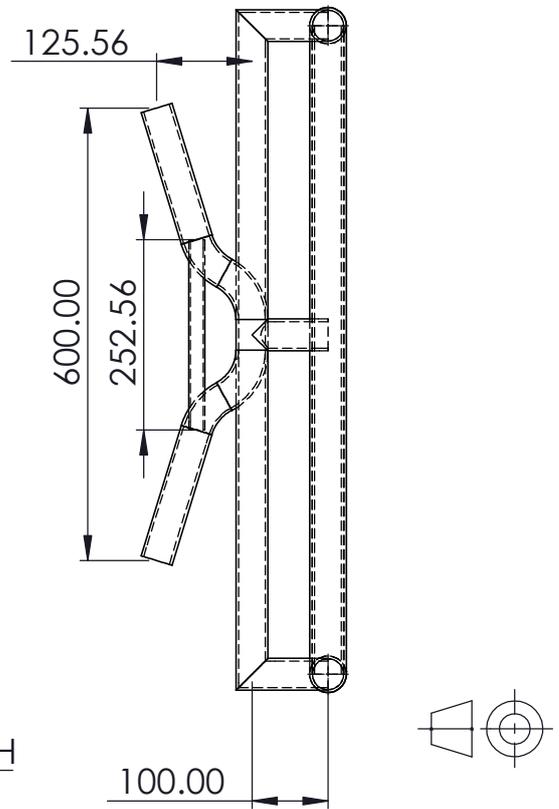
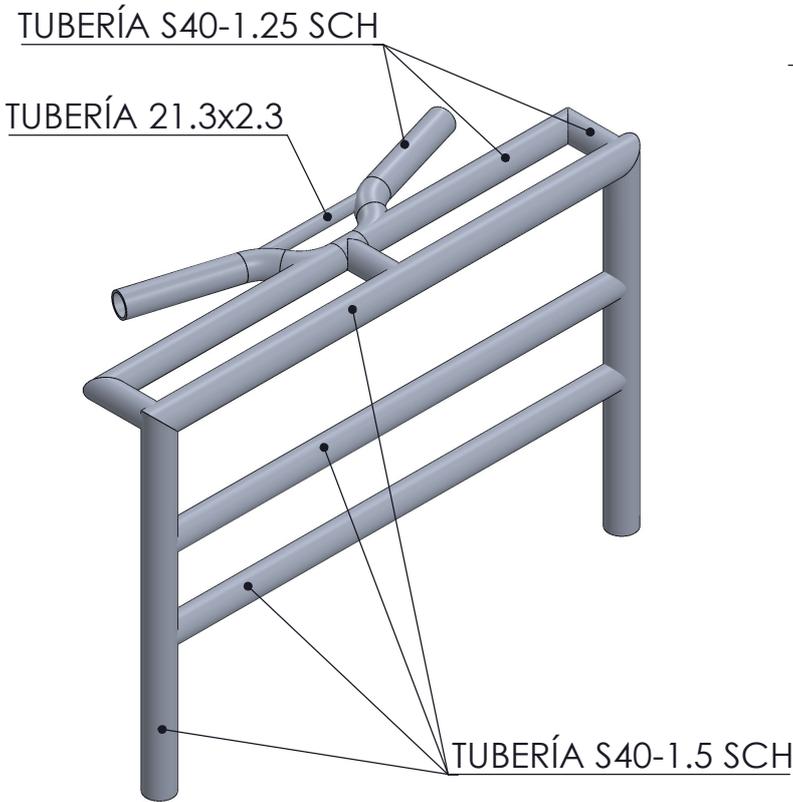
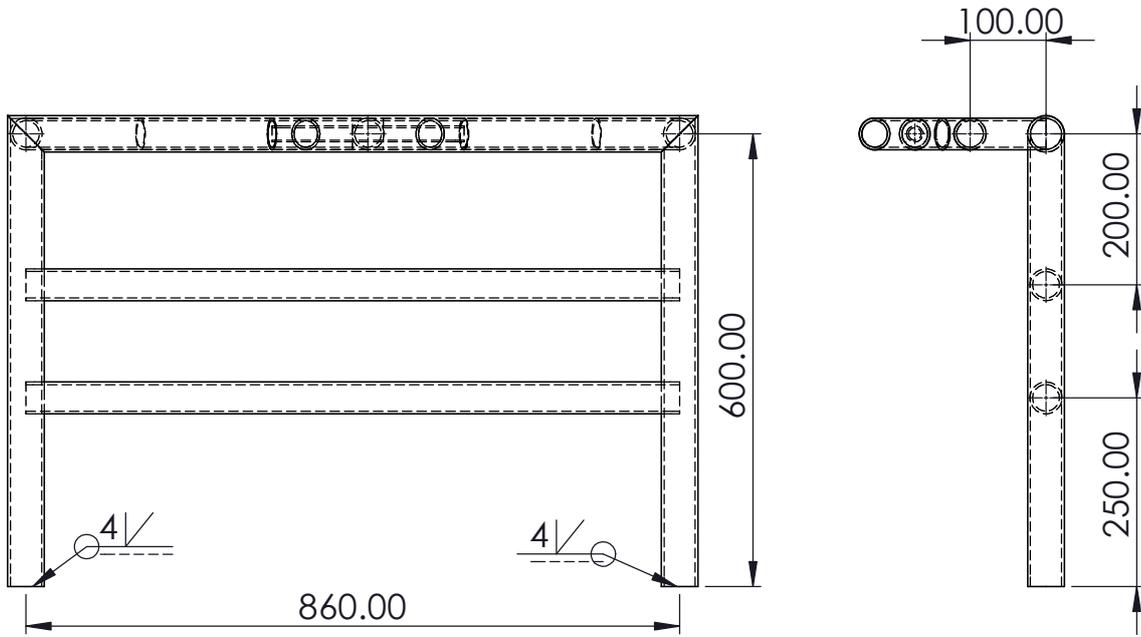


PLACA 900x1100x3

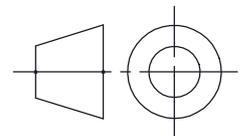
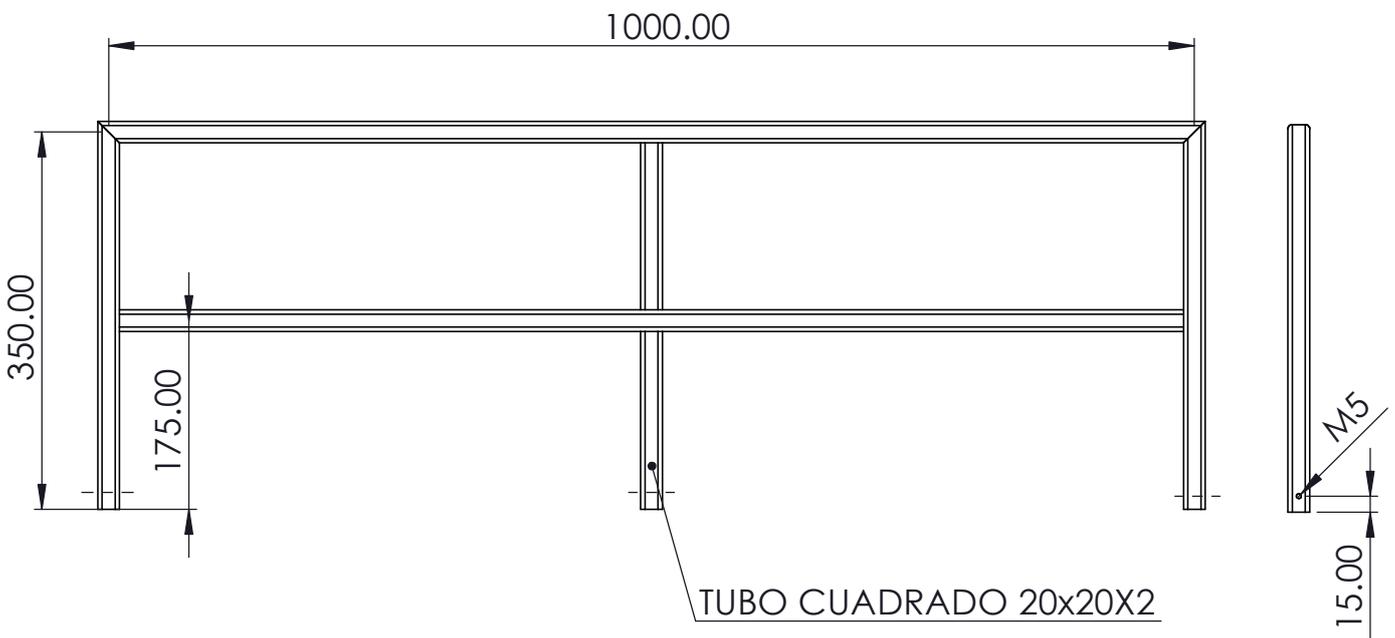
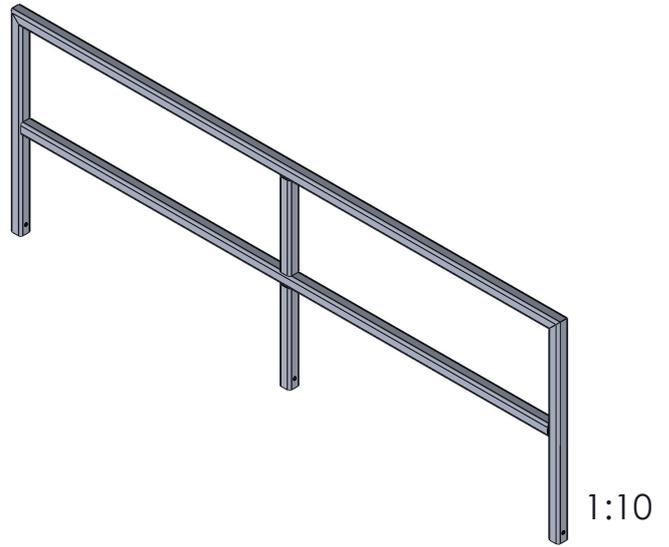
RHS 60x40x3.2



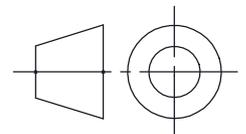
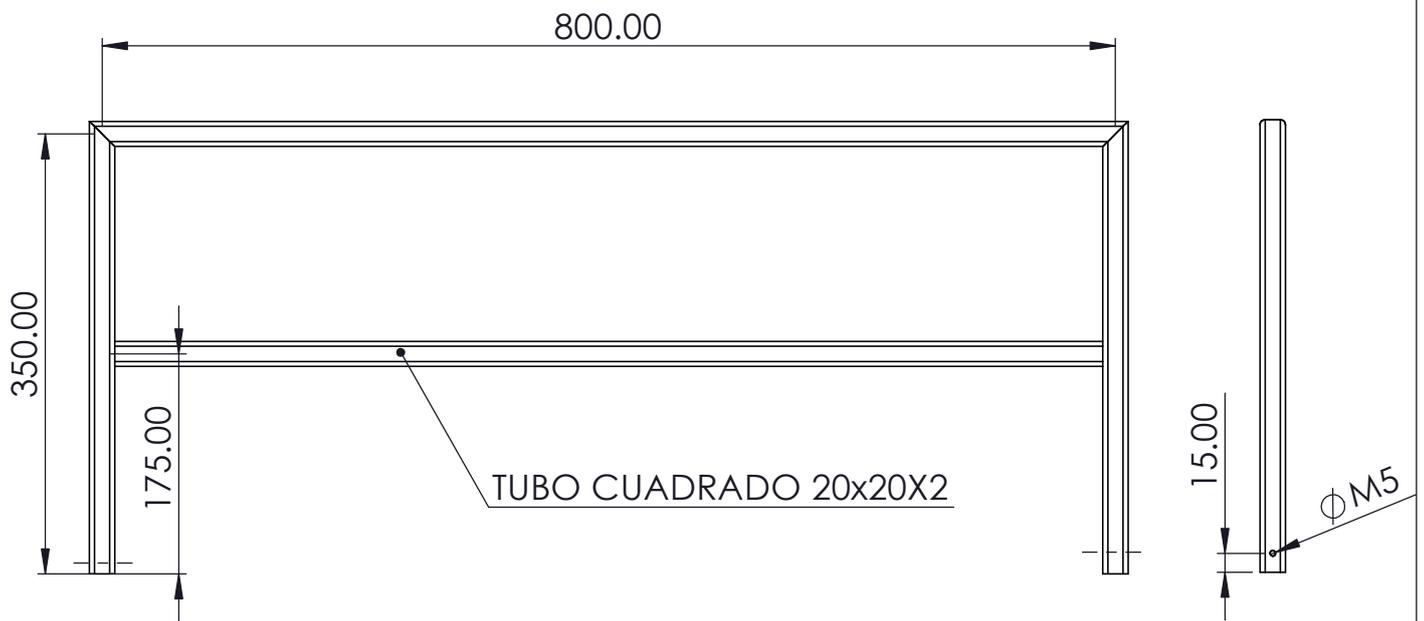
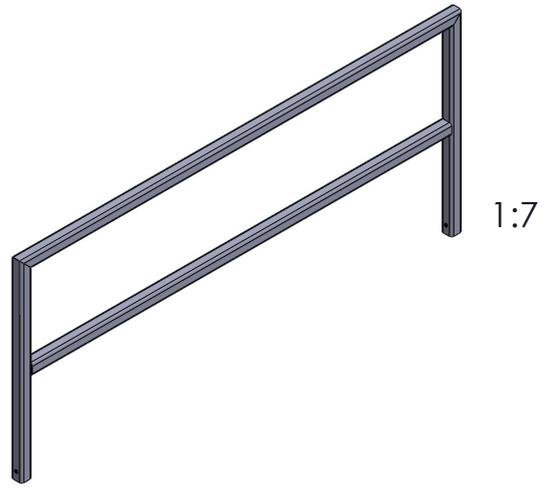
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1	CHASIS	ALUMINIO
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR	 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA: 1:12	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO	CONJUNTO N°:	1.00
	PLANO: CHASIS	PLANO N°:	1.01



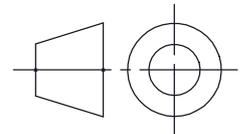
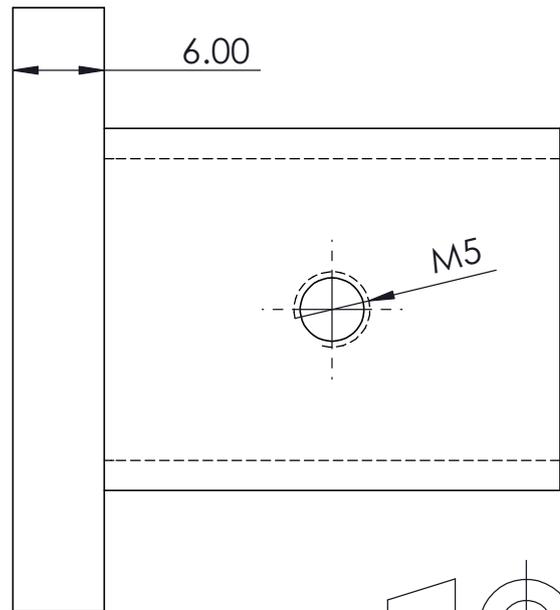
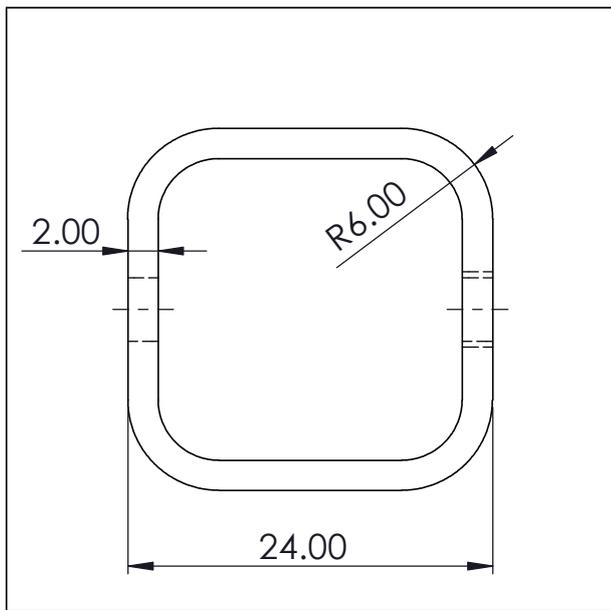
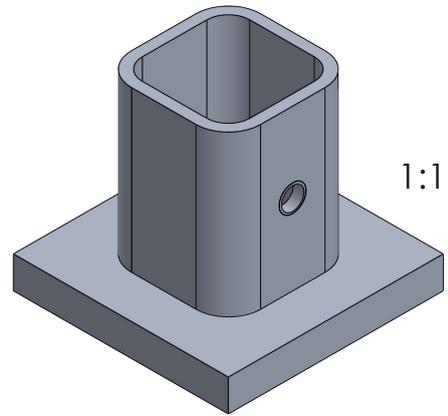
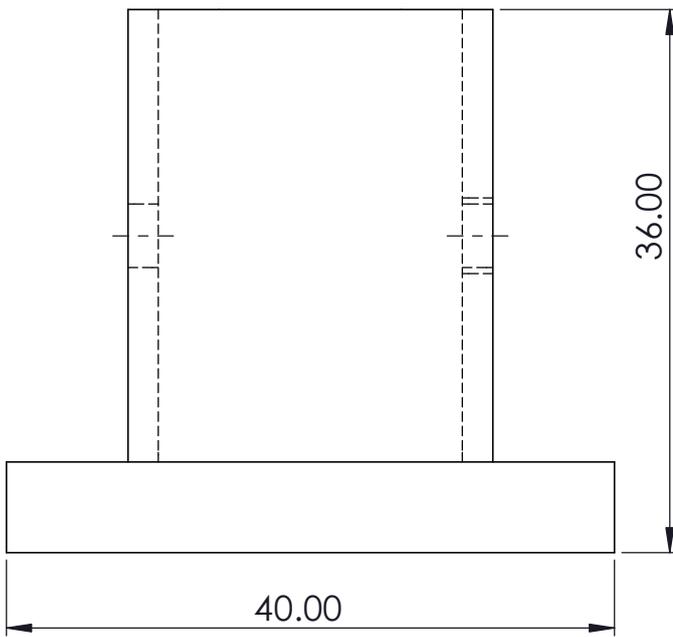
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
2	1	ESTRUCUTRA DE EMPUJE	ALUMINIO
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR		 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA: 1:10	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO		CONJUNTO N°: 1.00
	PLANO: ESTRUCTURA DE EMPUJE		PLANO N°: 1.02



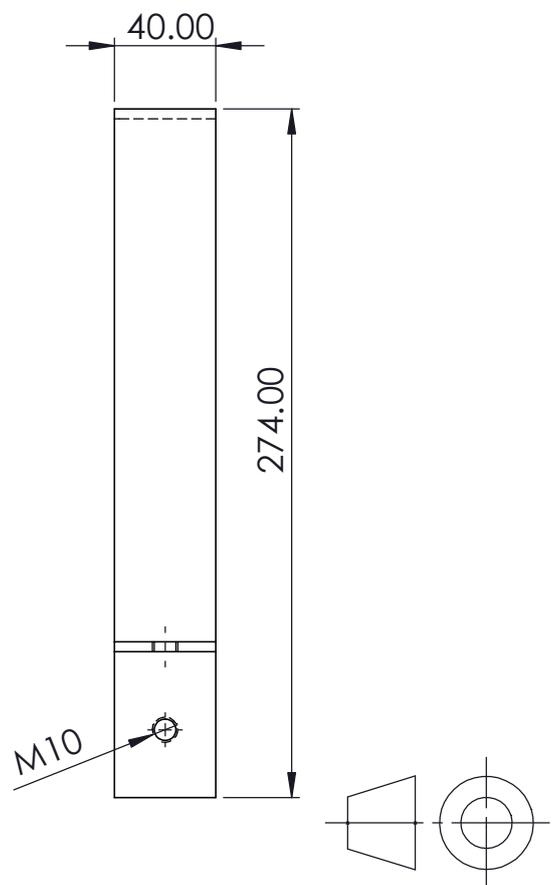
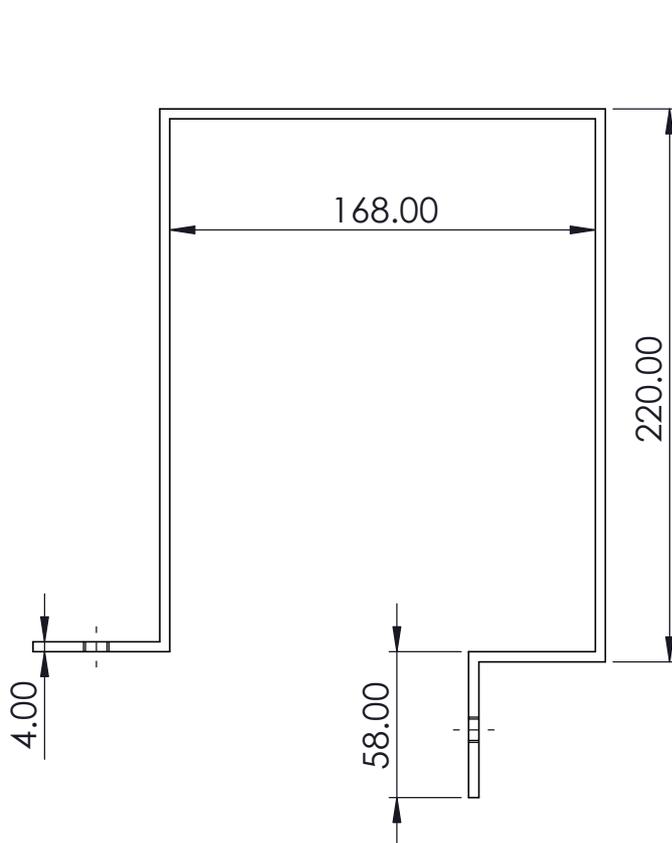
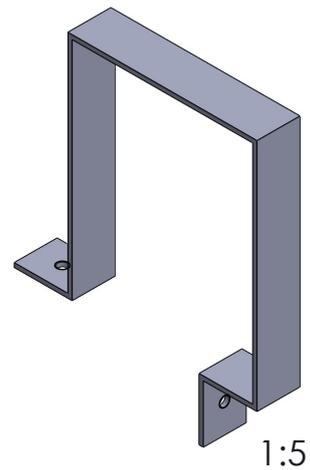
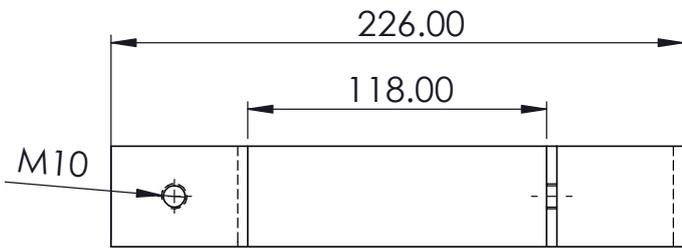
3	2	BARRERA LATERAL	ALUMINIO
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR		ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA: 1:7	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO		CONJUNTO N°: 1.00
	PLANO: BARRERA LATERAL		PLANO N°: 1.03



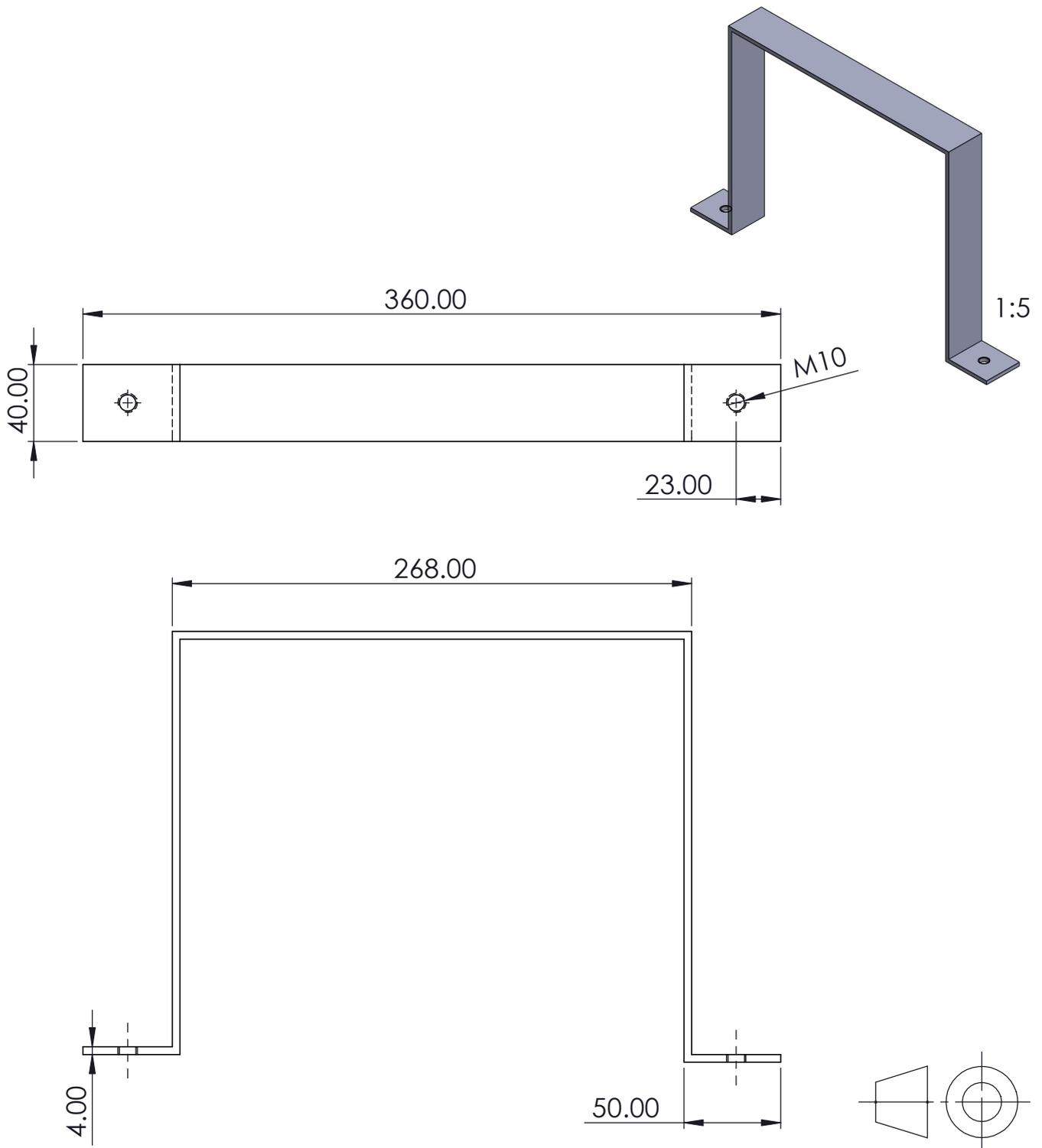
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
4	1	BARRERA LATERAL	ALUMINIO
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR		 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA:	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO		CONJUNTO N°: 1.00
1:6	PLANO: BARRERA FRONTAL		PLANO N°: 1.04



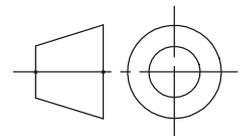
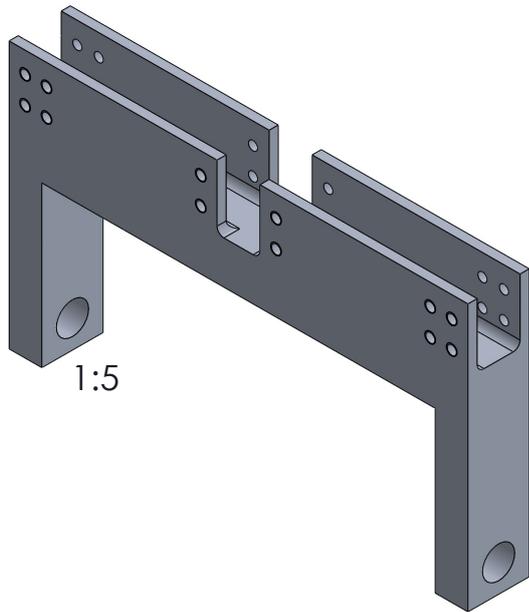
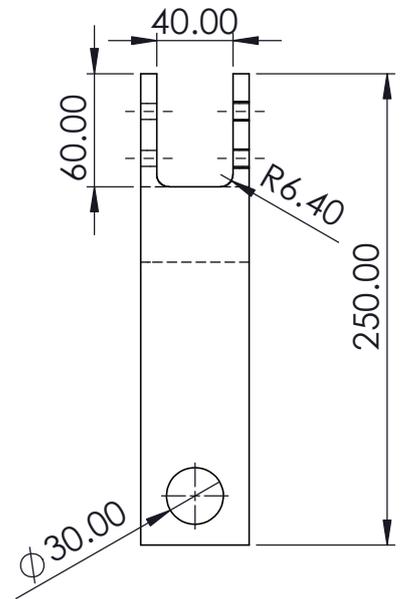
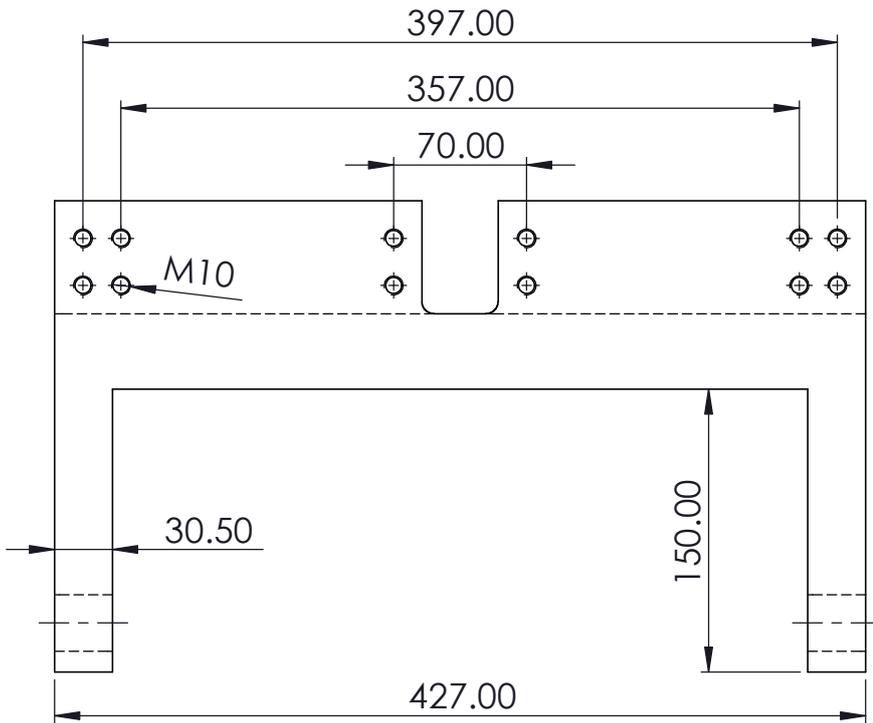
5	8	ANCLAJE DE BARRERA	ALUMINIO
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR		 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA:	CONJUNTO:	CONJUNTO N°:	1.00
2:1	PLANO:	PLANO N°:	1.05
	CARRO MOTORIZADO		
	ANCLAJE DE BARRERA		



6	1	UNIÓN HORIZONTAL - BATERÍA	ALUMINIO
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR	 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA:	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO	CONJUNTO N°:	1.00
1:3	PLANO: UNIÓN HORIZONTAL - BATERÍA	PLANO N°:	1.06



7	1	UNIÓN VERTICAL - BATERÍA	ALUMINIO
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR		 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA: 1:3	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO		CONJUNTO N°: 1.00
	PLANO: UNIÓN VERTICAL - BATERÍA		PLANO N°: 1.07



8	1	UNIÓN MOTOR	ALUMINIO
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
DISEÑO DE CARRO MOTORIZADO PARA TRANSPORTE DE AGUA			
FECHA	AUTOR	 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
JULIO, 2023	ALBERTO COBIELLA GARCÍA ALU0101243313		
Id. s. normas	-		
ESCALA:	CONJUNTO: CARRO MOTORIZADO	CONJUNTO N°:	1.00
1:4	PLANO: UNIÓN MOTOR	PLANO N°:	1.08

