



Diseño integral de robot móvil reconfigurable, de tipo modular y multifuncional.

Aberasturi, Ignacio

Beltrán, Juan Tomás

Furlan, Bruno

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
2023

Diseño integral de robot móvil reconfigurable, de tipo modular y multifuncional.

Aberasturi, Ignacio

Beltrán, Juan Tomás

Furlan, Bruno

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al
título de:

Ingeniero/a Mecánico/a

Director/a:

Ing. Matías Nacusse, Ing. Martin Crespo, Ing. Guillermo Rolle, Ing. Pablo Gallucci,
Ing. Guillermo Rodríguez, Ing. Sergio Junco.

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
2023

A nuestras familias, por apoyarnos en todo este camino transitado por la carrera de Ing. Mecánica.

A todos los profesores y profesionales que nos ayudaron con su saber para realizar este proyecto.

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Rosario (Santa Fe, Argentina) por formarnos como profesionales y como personas. En especial a la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura que nos acompañó en esta trayectoria y nos brindó la posibilidad de realizar este proyecto.

A los Ing. Matías Nacusse, Ing. Martin Crespo, Ing. Guillermo Rolle, Ing. Sergio Junco e Ing. Pablo Gallucci, quienes nos dieron la oportunidad de desarrollar el presente proyecto de investigación. También por el apoyo y las facilidades brindadas a lo largo de la elaboración de este proyecto

Al Ing. Guillermo Rodríguez, nuestro tutor, cuyas recomendaciones y observaciones nos guiaron a lo largo del desarrollo de este proyecto de investigación.

Resumen

El desarrollo de robots automáticos es uno de los ámbitos de investigación de los sistemas flexibles de manufactura, donde el objetivo fundamental es la realización de tareas en el área de logística, disminuyendo la intervención humana.

El objetivo de este proyecto es el diseño de un robot móvil multifuncional, donde se busca satisfacer y facilitar el traslado de personas o equipamiento con un esfuerzo físico mínimo.

Desde el lado de la ingeniería mecánica el desarrollo consiste en diseñar la estructura considerando el cálculo de los esfuerzos físicos, como así también el espacio que va a ocupar los módulos eléctricos y la ubicación de los mismos. Además, se busca que sea de fácil adaptabilidad ante las distintas formas que pueda adoptar el robot debido a los distintos requerimientos de uso.

Se diseñan los módulos de tracción y dirección analizando en primera medida los equipos con los que ya contamos en el laboratorio de ingeniería (motores, baterías, cableado, etc.) permitiendo que sean como se mencionó anteriormente de fácil montaje y desmontaje.

Por último, se diseña la estructura teniendo en cuenta la adaptabilidad al tipo de carga a transportar, ubicación de los módulos, equipos electrónicos, distribución y ubicación de las ruedas.

Palabras clave: robots, multifuncional, módulos, adaptabilidad, estructura.

Abstract

The development of automatic robots is one of the research areas of flexible manufacturing systems, where the fundamental objective is to carry out tasks in the logistics area, reducing human intervention.

The objective of this project is the design analysis of a multifunctional mobile robot, which seeks to satisfy and facilitate the transfer of people or equipment with minimal physical effort.

From the mechanical engineering side, the development consists of designing the structure considering the calculation of the physical efforts, as well as the space that the electrical modules will occupy and their location. In addition, it is sought that it be easily adaptable to the different forms that the robot can adopt due to the different requirements of use.

The traction and steering modules are designed by first analyzing the equipment that we already have in the engineering laboratory (motors, batteries, wiring, etc.), allowing them to be easy to assemble and disassemble, as mentioned above.

Finally, the structure is designed taking into account the adaptability to the type of load to be transported, location of the modules, electronic equipment, distribution and location of the wheels.

Keywords: robots, multifunctional, modules, adaptability, structure.

Contenido

Agradecimientos	4
Resumen.....	5
Abstract	6
Contenido	7
Índice de figuras.....	9
Índice de tablas	11
Introducción	12
Objetivos.....	16
Objetivos generales	16
Objetivos específicos.....	16
Capítulo 1: Marco introductorio	17
1.1. ¿Qué es un AGV?	17
1.2. ¿Para qué sirve un AGV?.....	17
1.3. ¿Cómo funciona un AGV?.....	18
1.4. Algunas características de funcionamiento	18
1.5. Componentes de los AGV	20
1.6. Reconfigurable, de tipo modular y escalable	21
1.7. Ventajas de los AGV	22
1.8. Desventajas de los AGV.....	23
Capítulo 2: Marco teórico	24
2.1. Historia.....	24
2.2. Estudio del arte	24
2.3. AGV en la actualidad	28
2.4. Campos de aplicación	28
Capítulo 3: Metodología de diseño y modelo conceptual	30
3.1. Diseño Mecatrónico	30
3.2. Modelo funcional y conceptual	31
Capítulo 4: Diseño del robot reconfigurable	33
4.1. Diseño de chasis.....	34
4.2. Módulo de tracción.....	42
4.3. Módulo de dirección	51
4.4. Ensamblajes de componentes	65
4.4.1. Modelo Triciclo.....	65
4.4.2. Modelo Omnidireccional	66
4.4.3. Modelo de Tracción diferencial	68
Capítulo 5: Validaciones de la solución.....	70

5.1. Chasis	70
5.2. Módulo de tracción – dirección	79
5.3. Ensamblaje	82
5.3.1. Modelo triciclo.....	82
Conclusiones y recomendaciones.....	85
Conclusiones	85
Recomendaciones	85
Bibliografía	86
Anexo	89
Anexo A: Elementos comerciales seleccionados	89
Anexo B: Planos de desarrollo.....	89

Índice de figuras

<i>Figura 1-1: Configuraciones de los prototipos.</i>	22
<i>Figura 2-1: Vehículo motorizado personalizado FD15 de la plataforma Alibaba.</i>	25
<i>Figura 2-2: Robot Q3-600C de la plataforma Alibaba.</i>	26
<i>Figura 2-3: SEER AGV SLAM AGV de la plataforma Alibaba.</i>	26
<i>Figura 2-4: AGV P800 de la plataforma Alibaba.</i>	27
<i>Figura 2-5: Tendencia de crecimiento de los AGV en el mercado.</i>	28
<i>Figura 4-1: Diagrama de flujo del diseño de un robot reconfigurable.</i>	33
<i>Figura 4-2: Primer esquema del chasis.</i>	35
<i>Figura 4-3: Chapas cortadas que forman parte del chasis.</i>	37
<i>Figura 4-4: Chapas plegadas que forman parte del chasis.</i>	37
<i>Figura 4-5: Segundo esquema del chasis.</i>	37
<i>Figura 4-6: Problemática de colocar el motor directriz por encima de la rueda.</i>	38
<i>Figura 4-7: Chapa cortada que forman parte del chasis.</i>	39
<i>Figura 4-8: Chapa plegada que forman parte del chasis.</i>	39
<i>Figura 4-9: Tercer esquema del chasis.</i>	39
<i>Figura 4-10: Base del chasis.</i>	40
<i>Figura 4-11: Ensamblaje del chasis del prototipo final.</i>	41
<i>Figura 4-12: Motor PMSM in-wheel.</i>	46
<i>Figura 4-13: Rueda motriz seleccionada.</i>	46
<i>Figura 4-14: Ingeniería conceptual en la vinculación entre el chasis y el módulo de tracción.</i>	47
<i>Figura 4-15: Vinculación entre el chasis y el módulo de tracción.</i>	47
<i>Figura 4-16: Corte del vínculo entre el chasis y el módulo de tracción.</i>	48
<i>Figura 4-17: Segundo diseño del módulo de tracción.</i>	48
<i>Figura 4-18: Problemática de colocar el motor directriz por encima de la rueda.</i>	49
<i>Figura 4-19: Vinculación final entre el chasis y el módulo de tracción.</i>	50
<i>Figura 4-20: Corte del vínculo entre el chasis y el módulo de tracción.</i>	50
<i>Figura 4-21: Diseño final del módulo de tracción.</i>	50
<i>Figura 4-22: Vinculación entre ambos módulos.</i>	55
<i>Figura 4-23: Primer ensamblaje del módulo de dirección.</i>	56
<i>Figura 4-24: Corte del ensamblaje del módulo de dirección.</i>	56
<i>Figura 4-25: Cambio de diseño en el módulo de dirección.</i>	57

<i>Figura 4-26: Cálculo del largo de la correa.</i>	59
<i>Figura 4-27: Selección de la polea comercial.</i>	61
<i>Figura 4-28: Selección de la correa comercial.</i>	62
<i>Figura 4-29: Ensamblaje final acoplamiento módulo de dirección y tracción.</i>	63
<i>Figura 4-30: Cubo mecanizado para el modelo de tracción diferencial.</i>	63
<i>Figura 4-31: Ensamblaje final acoplamiento módulo de dirección y tracción para el modelo de tracción diferencial.</i>	64
<i>Figura 4-32: Vista frontal y trasera del ensamblaje tipo triciclo.</i>	65
<i>Figura 4-33: Vista lateral del ensamblaje tipo triciclo.</i>	65
<i>Figura 4-34: Vista isométrica del ensamblaje tipo triciclo.</i>	66
<i>Figura 4-35: Vista frontal del ensamblaje tipo omnidireccional.</i>	66
<i>Figura 4-36: Vista lateral del ensamblaje tipo omnidireccional.</i>	67
<i>Figura 4-37: Vista isométrica del ensamblaje tipo omnidireccional.</i>	67
<i>Figura 4-38: Vista frontal del ensamblaje tipo tracción diferencial.</i>	68
<i>Figura 4-39: Vista lateral del ensamblaje tipo tracción diferencial.</i>	68
<i>Figura 4-40: Vista isométrica del ensamblaje tipo tracción diferencial.</i>	69
<i>Figura 5-1: Carga distribuida en chasis.</i>	71
<i>Figura 5-2: Sujeciones fijas simulando ubicación de las ruedas.</i>	71
<i>Figura 5-3: Mallado.</i>	72
<i>Figura 5-4: Resultados de deformación con carga distribuida.</i>	72
<i>Figura 5-5: Distribución de tensiones con carga distribuida.</i>	73
<i>Figura 5-6: Ubicación de carga concentrada lateral.</i>	73
<i>Figura 5-7: Resultados de deformaciones con carga lateral.</i>	74
<i>Figura 5-8: Distribución de tensiones con carga lateral.</i>	74
<i>Figura 5-9: Ubicación de carga concentrada frontal.</i>	75
<i>Figura 5-10: Resultado de deformaciones con carga frontal.</i>	75
<i>Figura 5-11: Distribución de tensiones con carga frontal.</i>	76
<i>Figura 5-12: Ubicación de carga concentrada central.</i>	76
<i>Figura 5-13: Resultado de deformaciones con carga central concentrada.</i>	77
<i>Figura 5-14: distribución de tensiones con carga central concentrada.</i>	77
<i>Figura 5-15: Comparativa de estudios.</i>	78
<i>Figura 5-16: Módulo de tracción – dirección.</i>	79
<i>Figura 5-17: Ubicación de cargas y sujeciones.</i>	79
<i>Figura 5-18: Resultado de mallado.</i>	80

<i>Figura 5-19: Resultado de deformaciones.</i>	80
<i>Figura 5-20: Distribución de tensiones.</i>	81
<i>Figura 5-21: Ensamblaje del modelo “triciclo”.</i>	82
<i>Figura 5-22: Ubicación de cargas y sujeciones.</i>	83
<i>Figura 5-23: Resultado de mallado.</i>	83
<i>Figura 5-24: Resultado de deformaciones.</i>	84
<i>Figura 5-25: Distribución de tensiones.</i>	84

Índice de tablas

<i>Tabla 2-1: Resumen del estudio del arte.</i>	27
---	----

Introducción

La tecnología a nivel mundial está avanzando a grandes pasos, es por esto que los requerimientos en la adquisición de nuevos conocimientos aumentan en todas las áreas de trabajo, permitiendo que las personas busquen universidades que puedan acortar la brecha entre el estudio universitario y el ámbito laboral con elementos diferenciadores que aporten valor agregado a su formación. Es obligación de las universidades actualizarse en temas que puedan aportar tanto a la formación personal como a la educación profesional de sus estudiantes.

La robótica se considera actualmente un área tecnológica muy avanzada ya que es un gran apoyo para el ser humano en distintas disciplinas, desde procesos de manufactura, hasta investigación espacial en otros planetas, pasando por la aplicación en la medicina, en el entrenamiento, en movilidad, etc. Hoy en día los robots están presentes directa o indirectamente en la vida de las personas.

Además, con la creciente complejidad de productos, procesos de fabricación y de operación en diversas áreas de la industria (automotriz, aeroespacial, robótica, procesos de construcción y/o montajes mecánicos, electrónico, industria farmacéutica, etc.) ha surgido una gran integración, tanto a nivel de hardware como de software, entre subsistemas y componentes de los dominios mecánico, eléctrico, electrónico y procesamiento de la información. Esto resulta en sistemas integrados conocidos como sistemas mecatrónicos [1] cuyo diseño requiere principalmente el concurso de las siguientes áreas de la Mecánica, Electrónica y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs): elementos mecánicos, mecanismos y máquinas; microelectrónica, electrónica de potencia, y tecnologías de sensores y actuadores; y teoría de sistemas, control y automatización, ingeniería de software e inteligencia artificial [2]. Con el fin de diferenciar a los sistemas multidominio físico con los sistemas mecatrónicos, queremos destacar que, los sistemas mecatrónicos se diseñan con un enfoque de diseño distinto al secuencial, tradicional en los sistemas multidominio, llamado co-diseño, caracterizado por la consideración simultánea de todos los aspectos de la ingeniería desde el mismo inicio del proceso de diseño, lo que permite obtener diseños novedosos, más eficientes y de alta calidad, con menos costos y tiempos de puesta en

mercado. Este enfoque integral conlleva una complejidad intrínseca en el proceso de diseño del sistema [3] [4] [5].

Entendiéndose aquí a la robótica como sub-área de la mecatrónica, este trabajo aborda el diseño de robot móviles con ruedas para ambientes de interiores. En particular, se presenta el diseño de una plataforma mecánica modular para robots móviles con sistemas de locomoción intercambiables que puede funcionar como plataforma de base de Robots de Servicio [6] como de Vehículos de Guiado Automático, también conocidos como Automated Guided Vehicles (AGV) [7]. Estos, son sistemas mecatrónicos complejos y multivariables compuestos por varios subsistemas que presentan una dinámica fuertemente acoplada entre los mismos. Un ejemplo de esto es, por ejemplo, que el almacenamiento de energía, esto es, el estado y capacidad de carga de las baterías, afecta al rendimiento del control y al movimiento del robot móvil. Más aun, el control y el planeamiento de las trayectorias a seguir influye en el consumo de energía y, por tanto, en el almacenamiento de energía. Adicionalmente, la estructura de movilidad, esto es, la disposición y tipología de las ruedas en el chasis del robot móvil, es fuertemente dependiente de la aplicación y no hay una estructura definida para todas las aplicaciones.

En [8] se analizan diferentes configuraciones de robots móviles de servicio que dan lugar a diferentes tipos de modelos para luego ser utilizados en el desarrollo de leyes de control. En [9] se desarrolla un AGV de tipo omnidireccional utilizando ruedas de tipo MY3. En [10] se realiza el diseño mecánico de un AGV con omnidireccional, con ruedas omnidireccionales. En [11] se presenta el diseño mecánico de una plataforma robótica móvil omnidireccional con cuatro ruedas independientes. Cada una de estas ruedas tiene la capacidad de traccionar y de direccionarse independientemente de las otras. En [12] se propone un mecanismo de direccionamiento y tracción para el diseño de un robot móvil omnidireccional. En [13] presentan un robot móvil con dos ruedas motrices con la configuración de dirección de Doble Ackermann Invertido logrando una mejora en las especificaciones de maniobras frente a la configuración Ackermann simple. En [14] presentan el diseño mecatrónico de un robot móvil con cuatro ruedas con dirección diferencial. Este robot tiene la particularidad de que se puede intercambiar entre ruedas convencionales y ruedas omnidireccionales otorgando al robot móvil la capacidad de moverse por diferentes terrenos. En [15] presentan un robot de asistencia a la movilidad de personas de tipo triciclo llamado “Robicle”. En [16] presentan el modelado mecatrónico

de un robot móvil de tipo triciclo con la rueda delantera capaz de traccionar y direccionar de manera simultánea. En [17] presenta el desarrollo de un robot móvil de tracción diferencial utilizando el enfoque de diseño de ingeniería basado en modelos [4].

Por lo tanto, los AGV surgen entonces como dispositivos de transporte, desarrollados para apoyar hoy en día principalmente sistemas de manufactura. En el área de robótica industrial son definidos como vehículos de transporte que admiten diferentes configuraciones mecánicas y conducidos mediante un sistema computarizado. Generalmente son vehículos industriales de diversos tamaños, de tracción eléctrica, sin conductor y con diferentes tipos de dispositivos de manipulación de personal o cargas, usados ampliamente en sistemas de almacenamiento, ensamble y manufactura. Estos vehículos pueden ser considerados como robots móviles que surgieron como una forma de solucionar los problemas de flexibilidad en sistemas de transporte, adaptándose rápidamente a los cambios en la línea de producción.

Debido a ello, la investigación en robótica es de especial interés, ya que permite obtener tecnologías útiles para resolver problemas y hacer más eficientes algunos procesos. Las aplicaciones orientadas al uso de robots móviles involucran aspectos que van desde el diseño mecánico hasta su control, maniobrabilidad, ubicación, interacción y sincronización con otros dispositivos similares.

Los robots móviles son cada vez más utilizados en las empresas para facilitar los trabajos. Hace unos cuantos años atrás únicamente los podíamos encontrar en las grandes empresas, pero en la actualidad es común verlos tanto en el área de salud, como en algunas empresas para el traslado de mercadería de un sector a otro, por ejemplo.

Su objetivo es principalmente disminuir la intervención humana, buscando automatizar labores repetitivas o de mucho esfuerzo para los trabajadores, así como el transporte de los mismos.

Su diseño se clasifica en tres partes principales:

- Sistema mecánico: conformado por el chasis, tracción y plataforma de carga.
- Sistema eléctrico: constituido por circuitos de alimentación.
- Sistema de control: se muestra el método de búsqueda de trayectoria y el control de procesos.

En este trabajo se presenta el diseño de la plataforma mecánica de locomoción de un robot móvil con ruedas para ambientes interiores con pisos lisos y estructurados. Con el fin de lograr diferentes tipos de locomoción y dotar a la plataforma con característica reconfigurable, se define una Unidad de Tracción y Dirección Modular (UTDM). Esta se compone por dos módulos independientes y desacoplables, uno que oficia de accionamiento de tracción, mientras que el otro de accionamiento de dirección. Además de la UTDM, se diseñó la estructura mecánica que hace las veces de chasis, interconectando las ruedas y sirviendo de soporte a las diferentes estructuras de operación (EO).

Un poco de historia:

Estos sistemas son hoy en día una de las áreas de más dinámica en la manipulación de materiales, sin embargo, no son realmente nuevos. Hace treinta años aproximadamente cuando fueron desarrollados eran llamados sistemas sin operador. No obstante, con los años y el avance en la electrónica condujeron a los progresos en vehículos guiados.

Los primeros vehículos guiados automáticamente fueron desarrollados en 1954 por Barrett electronic Corporation, quienes utilizaban un cable elevado para dirigir un vehículo con remolques en un almacén de alimentos. Sin embargo, fue en los años 60's y 70's cuando la evolución de la electrónica permitió un mayor avance en el desarrollo de los AGV's.

Objetivos

Objetivos generales

Desarrollar un robot móvil de bajo costo, reconfigurable, de tipo modular y escalable que permita el agregado de diferentes componentes y estructuras de operación (EO) que le den carácter multifuncional al mismo. El resultado final será la construcción del mismo, comprobando la aprobación de las pruebas correspondientes a los sistemas diseñados, permitiendo el acoplamiento, ensamble, calibración y pruebas de campo.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio de la historia de los AGV.
- Establecer las necesidades que nos demandan este tipo de tecnología.
- Determinar las características físicas del AGV con respecto a las necesidades.
- Modelar y diseñar el AGV de acuerdo a las características solicitadas.
- Realizar un estudio estático del diseño realizado.
- Realizar la fabricación de la misma.

Capítulo 1: Marco introductorio

1.1. ¿Qué es un AGV?

Los vehículos de guiado automático o AGV (Automatic Guided Vehicle) son unos equipos que permiten el transporte de objetos, personas, etc. hasta su ubicación de manera autónoma, sin la intervención de personal que realice las operaciones de manera manual. Este tipo de equipos permiten la automatización de los procesos.

Estos, son ayudados por cámaras de visión, láseres para navegación, bandas magnéticas y ondas de radio.

Estos vehículos de guiado automático llegan al entorno industrial desde finales del siglo XX y aunque ahora cobran más relevancia gracias al empuje de la Logística 4.0, no es una idea del presente.

El primer AGV se lanzó al mercado en torno a 1950. Su propulsor fue Barrett Electronics de Northbrook y en ese momento se trataba de una grúa que seguía un cable colocado en el suelo en lugar de un rail. Este punto de partida fue crucial para el desarrollo de AGV capaces de seguir marcajes UV invisibles en el suelo y el primero en instalarse fue en Willis Tower, en Chicago.

1.2. ¿Para qué sirve un AGV?

Los vehículos sin conductor son plataformas de desarrollo logístico diseñadas para realizar trabajos repetitivos de recogida y transporte de personas, pallets o cajas en un almacén o fábrica. En realidad, son robots colaborativos que pueden llegar a transportar toneladas y son ideales para integrarlos en:

- Soluciones para la distribución y almacenamiento en la logística de un almacén.
- Suministro de material a líneas de ensamblaje de forma autónoma.
- Aplicaciones de sistemas FMS (Sistemas de Manufactura Flexible) dentro de empresas de fabricación flexibles con diferentes estaciones.
- Carga y descarga de gran cantidad de materiales a distancia sin conductor.

- Integrar un brazo robótico industrial sobre el AGV para que se desplace por las estaciones de una cadena de montaje.
- Favorecen el control de los materiales y la trazabilidad del producto.
- Reducen drásticamente los accidentes laborales mejorando la seguridad en la empresa.

1.3. ¿Cómo funciona un AGV?

Es importante conocer el funcionamiento de un vehículo de guiado automático, así como todas las prestaciones con las que cuenta.

Los vehículos de guiado automático o AGV funcionan gracias a un circuito de guiado que se diseña previamente. Siguen el recorrido marcado por el circuito transportando distintos tipos de mercadería o materiales sin necesidad de que haya un conductor en el vehículo.

Pueden llegar a transportar y desplazar grandes cargas. Son utilizados cada vez por más empresas ya que ayudan a facilitar distintos tipos de procesos e incluso a tener más control de los mismos. Se pueden encontrar AGV con distintas adaptaciones o plataformas para poder transportar distintas cargas o mercadería. Esto además de ahorrar costos humanos supone un gran avance y ahorro de tiempo ya que se pueden automatizar todo tipo de procesos.

1.4. Algunas características de funcionamiento

Algunas de las características que hacen al funcionamiento de los robots AGV se definen a continuación:

Guiado: Es la habilidad del vehículo de seguir una ruta predeterminada de acuerdo al flujo de materiales que requiere la aplicación, el control de dirección permite al vehículo físicamente maniobrar por distintos caminos. Hay dos tipos básicos de dirección:

- Control de velocidad diferencial: utiliza dos ruedas fijas de tracción, el sistema varía la velocidad entre las dos ruedas para permitir así el giro del vehículo en cualquier sentido.

- Rueda de control de dirección: este sistema utiliza una rueda en la parte delantera del AGV que gira determinadamente para seguir el trayecto establecido.

Navegación: Es la habilidad del vehículo para tomar decisiones a lo largo del trayecto que le permitan cumplir con el trabajo deseado. Es decir, es la forma en la que el vehículo interactúa con su contexto para determinar en qué parte del trayecto se encuentra y qué acciones debe realizar. En general hay dos distintos tipos de navegación que pueden utilizar los sistemas AGV:

- Ruta fija: En este método la trayectoria que debe seguir el vehículo es continua y fija, ésta es establecida en el suelo. Hay distintos tipos de tecnologías utilizadas para este tipo de ruta, tales como:
 - Óptica: Utiliza una línea de un color definido pintada en el suelo la cual describe la trayectoria que debe llevar el vehículo, éste se guía gracias a unos sensores ópticos instalados de forma tal que no le permitan salirse de la trayectoria.
 - Línea magnética: Se instala un cable con corriente eléctrica en el suelo y el vehículo por medio de sensores detecta el campo electromagnético producido por el cable el cual debe seguir.
- Ruta abierta: En este método la trayectoria que debe seguir el vehículo es variable, es decir puede ser modificada durante la misma operación del sistema.
 - Láser: Se instalan sensores láser a través de todo el camino que con la ayuda de un sistema de control le indican al vehículo dónde está ubicado y cuál es el siguiente movimiento que debe realizar.
 - Giroscopio: El control se realiza directamente desde un sistema computarizado a bordo, es decir no hay señales en el camino que reconozca el vehículo, sino que se programa por tareas y recorridos asignados.

Sensores: Los sensores permiten la adquisición de información necesaria para el control del robot. Las siguientes características de los sensores, describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir.

- Linealidad: la característica entrada salida es lineal.

- **Histéresis:** la salida del sensor para una determinada entrada varía dependiendo de que la entrada esté aumentando o disminuyendo.
- **Resolución:** es el cambio más pequeño en la entrada que puede ser detectable a la salida.
- **Campo de medida:** es el rango de valores de la magnitud de entrada comprendido entre el máximo y el mínimo detectables por sensor.

1.5. Componentes de los AGV

Los robots AGV se componen, por regla general, de cinco elementos indispensables: un sistema de navegación, componentes de seguridad, una fuente de alimentación, un sistema de movimiento y un controlador del vehículo.

- **Sistema de navegación:** consiste en la parte del robot AGV encargada de recibir y procesar la información para seguir la ruta o dirección predeterminada y conducir el vehículo. Existen múltiples tipos de navegación, como el láser guiado, mediante un hilo conductor o por dirección magnética, entre otros.
- **Componentes de seguridad:** cada robot AGV dispone de sistemas de seguridad adaptados a sus funciones, garantizando que los movimientos se ejecuten en las máximas condiciones de seguridad. Un ejemplo de sistema de seguridad serían los escáneres láser, que frenan el vehículo cuando hay un obstáculo en su ruta.
- **Fuente de alimentación:** los vehículos de transporte autónomos cuentan con una batería que proporciona la energía requerida para el movimiento del equipo. Cada tipo de robot AGV posee una batería y una solución de carga diferente, según las tareas a desarrollar y las necesidades del depósito o centro de producción.
- **Sistema de movimiento:** los robots AGV integran múltiples componentes que permiten el movimiento del vehículo y la ejecución de las tareas. En esta categoría se incluyen desde los motores o las ruedas, hasta el mástil o el sistema hidráulico del que se sirve el robot para elevar la carga.
- **Controlador del vehículo:** el control del robot guiado se realiza mediante un controlador lógico programable (PLC), que articula la información recibida de los softwares informáticos y facilita el movimiento autónomo del vehículo.

En todo caso, el movimiento y el flujo de trabajo de los robots AGV depende de las órdenes de un programa de rango superior como un sistema de gestión de depósitos (WMS), que coordina todo lo que ocurre en el depósito y sincroniza las tareas de los diferentes sistemas automatizados que operan en la instalación.

1.6. Reconfigurable, de tipo modular y escalable

El diseño modular es un enfoque de diseño que subdivide un sistema en partes más pequeñas llamadas módulos, que pueden crearse de manera independiente y luego usarse en diferentes sistemas y de diferentes formas. Escalable se refiere a la posibilidad de adaptar el conjunto de módulos, es decir, el sistema a otras condiciones para las que no fue diseñado el mismo. Y reconfigurable se relaciona a las diferentes configuraciones que podemos realizar con un mismo sistema a partir de los distintos módulos y también a partir de haber adaptado el sistema a otras condiciones.

Para lograr los diferentes tipos de locomoción y dotar a la plataforma con característica reconfigurable, se define una Unidad de Tracción y Dirección Modular (UTDM). Esta se compone por dos accionamientos o módulos desacoplables, uno de tracción y otro de dirección. Estos, permiten una multiplicidad de configuraciones posibles de la plataforma como se muestra en la *Figura 1-1*. De acuerdo a la cantidad de ruedas y el tipo de estas se definen dos índices llamados grado de movilidad (δ_m), definido como el número de grados de libertad que pueden manipularse directamente a partir de las entradas; y grado de direccionalidad (δ_s) que es definido como el número de ruedas que pueden orientarse independientemente para dirigir el robot. Estos índices determinan varios tipos de configuraciones posibles, correspondientes a diferentes pares de valores de (δ_m , δ_s), de robots móviles con ruedas, ver [\[18\]](#), [\[19\]](#).

A continuación, se muestran en la *Figura 1-1* las configuraciones realizadas en el presente proyecto.

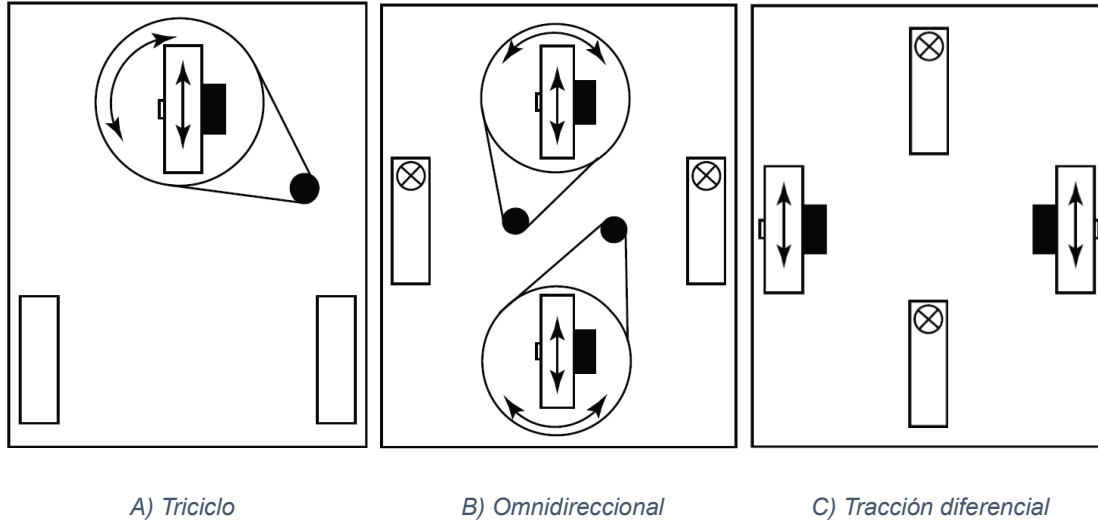


Figura 1-1: Configuraciones de los prototipos.

La *Figura 1-1-A* muestra la aquí llamada configuración tipo Triciclo, configuración tipo (1,1). Esta necesita de una Unidad de Tracción y Dirección Modular (UTDM) y el centro instantáneo de rotación (ICR) se ubica en el eje que conecta las ruedas fijas. La *Figura 1-1-B*, muestra la configuración Omnidireccional que es del tipo (1,2) y presenta dos UTDM. Finalmente, la *Figura 1-1-C* muestra la configuración de Tracción diferencial, configuración tipo (2,0). Esta necesita de dos módulos de tracción que produzcan diferente torque/velocidad para la dirección del mismo. El ICR (centro instantáneo de rotación) se ubica en el eje que conecta las ruedas de tracción.

1.7. Ventajas de los AGV

Los vehículos de guiado automático aportan beneficios para el almacén:

- Garantizan un flujo de mercancías uniforme y su trazabilidad.
- Posibilitan ciclos de trabajo de 24 horas.
- Limitan el riesgo de accidentes: los vehículos de guiado automático cuentan con sistemas de seguridad para moverse por el almacén, evitando la interacción con operarios.
- La optimización del tiempo incide en el aumento de productividad.

- Reducción del costo del proceso.
 - Facilidad de integración en entornos de trabajo colaborativos.
 - Control total de velocidad y precisión en sus movimientos.
 - Personalización (programación de softwares a medida).
 - Identifican autónomamente cuándo necesitan energía y se van a zonas de carga.
- Incluso, hay algunos que se cargan al pasar por ciertos lugares de la planta.

Todos estos factores favorecen a que las empresas inviertan en abandonar las tradicionales máquinas operadas por personas por equipos flexibles y dinámicos preparados para la Automatización Industrial.

1.8. Desventajas de los AGV

Estos equipos, sin embargo, también presentan desventajas:

- Solución poco flexible: la mayoría (excepto aquellos guiados por inteligencia artificial) aún se mueven por sistemas rígidos como el láser guiado o el filoguiado, que requieren de flujos de mercancía uniformes.
- Sistema insuficiente para almacenes de alta densidad: los vehículos de guiado automático son una solución de transporte de carga unitaria, lo que impide que sean útiles en contextos de alta densidad de pedidos.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Historia

Los AGV (Automated Guided Vehicle) tienen sus comienzos cuando A. M. Barrett Jr. (Illinois, U.S.A.) diseñó, casi sin saberlo, el primero de la historia en 1953, un tractor de remolque para una industria de alimentos, que se desplazaba sin conductor por un almacén gracias a los impulsos electromagnéticos que emitía un cable situado en el suelo. A pesar de que aquel vehículo fue un prototipo muy sencillo y rudimentario, la historia lo ha convertido en el primer exponente de los robots móviles, una tecnología que está considerada como una de las protagonistas de la cuarta revolución industrial, al mismo nivel que la Inteligencia Artificial, el Big Data y la Impresión en 3D y 4D.

Sin embargo, el desarrollo de los vehículos automáticos se da entre los años 60 y 70 gracias a la revolución electrónica que permite que estos sigan trayectorias sin la necesidad de que una persona esté a bordo.

Su mayor crecimiento ha sido especialmente importante durante los últimos años, sobre todo a raíz de la aparición de los grandes centros logísticos y de distribución comercial internacionales. De hecho, desde que Amazon compró el fabricante de vehículos AGV Kiva Systems en 2012, la importancia de este sector ha crecido de forma exponencial y hoy en día los analistas lo consideran uno de los mercados con el “crecimiento más rápido de toda la robótica”, con una tasa de crecimiento anual del 35% entre 2015 y 2025.

2.2. Estudio del arte

Para realizar esta etapa de investigación, hay que materializar la información. La ciencia y tecnología se debe desarrollar con seriedad y a partir de las pocas o muchas fuentes serias que tengamos a disposición. Por lo tanto, comenzamos la búsqueda a través de la página oficial del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación [\[20\]](#), en el cual se describe y da acceso a las bases de datos (abiertas o cerradas) en donde residen investigaciones que perfeccionan el estado del arte. Luego de realizar una búsqueda exhaustiva, nos encontramos con que ninguna de las investigaciones ahí presentes se vinculaba de lleno con nuestro proyecto, es decir, todos los artículos con una escasa

vinculación estaban relacionados a la robótica, pero ninguno a la robótica móvil modular o reconfigurable.

Al continuar con la investigación en la robótica móvil de manera general pudimos encontrar mucha información, tanto a nivel industrial como también de uso residencial. Se observó una marcada oferta y demanda a escala industrial.

A continuación, se presentará el estudio del arte detallado de cada una de las máquinas encontradas.

1) Vehículo motorizado personalizado FD15 [21]



Figura 2-1: Vehículo motorizado personalizado FD15 de la plataforma Alibaba.

- Capacidad de carga: 15 Kg
- Dimensiones: 812 mm x 500 mm x 336 mm
- Duración de batería: 8 horas
- Rango de velocidad: 0 – 45m/min
- Origen: China

2) Robot Q3-600C [22]

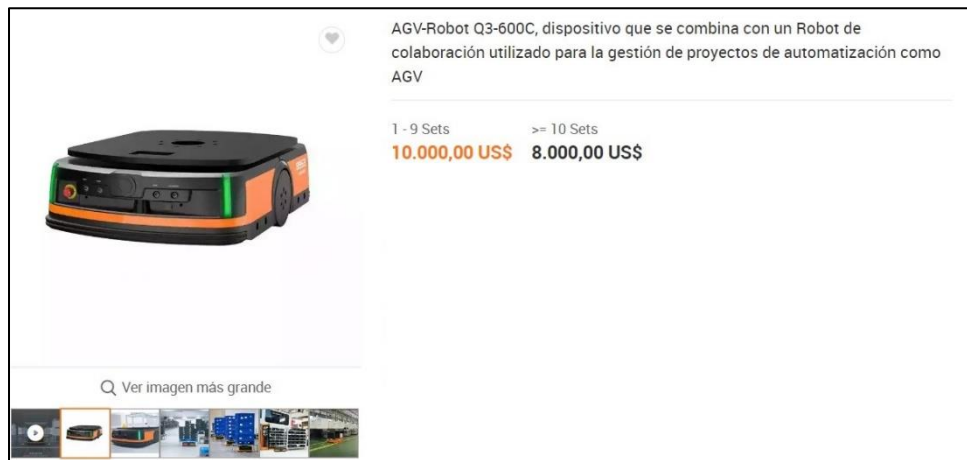


Figura 2-2: Robot Q3-600C de la plataforma Alibaba.

- Capacidad de carga: 600 Kg
- Dimensiones: 940 mm x 650 mm x 253 mm
- Duración de batería: 8 horas
- Origen: China

3) SEER AGV SLAM AGV [23]



Figura 2-3: SEER AGV SLAM AGV de la plataforma Alibaba.

- Capacidad de carga: 155 Kg
- Dimensiones: 800 mm x 560 mm x 200 mm
- Origen: China

4) AGV P800 [24]



Figura 2-4: AGV P800 de la plataforma Alibaba.

- Capacidad de carga: 800 Kg
- Dimensiones: 1040 mm x 820 mm x 280 mm
- Duración de batería: 24 horas
- Rango de velocidad: 1,5 m/s
- Origen: China

A continuación, se muestra en la *Tabla 2-1* el resumen de los robots móviles encontrados en el estudio del arte, que se comercializan en el mercado actualmente. Puede observarse una gran dispersión tanto en los precios como en la capacidad de carga.

Tabla 2-1: Resumen del estudio del arte.

Resumen de Robots en el Mercado						
Opciones	Marca	Orgen	Capacidad de carga	Duracón batería	Velocidad máxima	Precio
1	Huixinghai Technology	China	15 KG	8 hs	0,75 m/seg	US\$ 8.039
2	Hikrobot	China	600 KG	8 hs	-	US\$ 10.000
3	SEER	China	155 KG	-	-	US\$ 18.000
4	Geek +	China	800 KG	24 hs	1,5 m/seg	US\$ 32.000

2.3. AGV en la actualidad

Los AGVs están batiendo récords de venta y lo seguirán haciendo año tras año, creciendo con una tasa del 15,8% anual a nivel mundial hasta 2025.

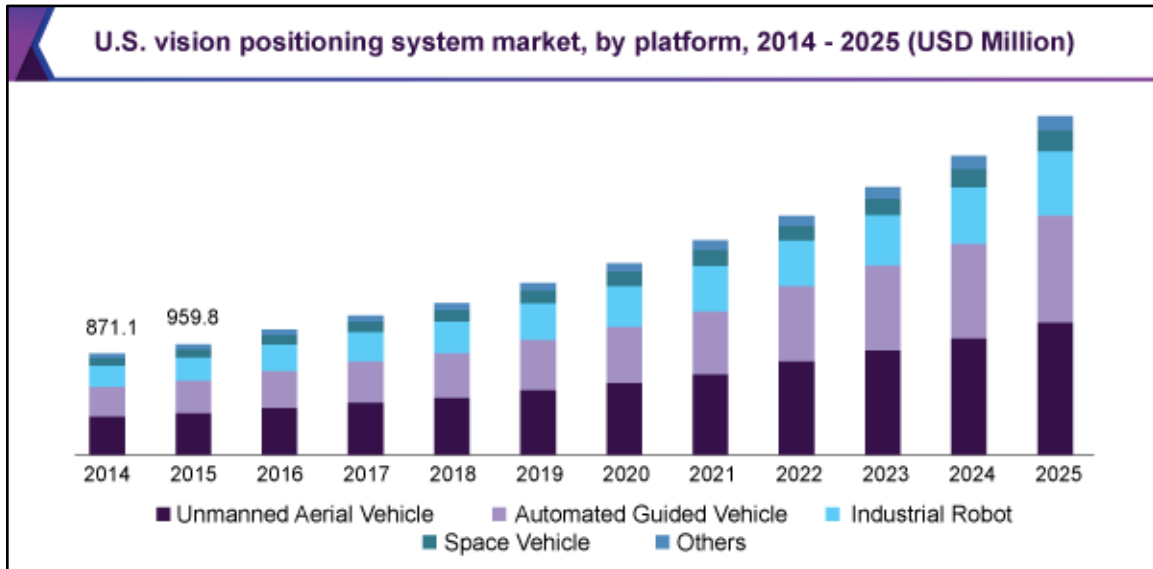


Figura 2-5: Tendencia de crecimiento de los AGV en el mercado.

A pesar de que el alto costo de la instalación pueda suponer una agravante para apostar por ellos, la realidad es que los costos se transforman en un retorno muy alto de la inversión en el largo plazo. Además, según los últimos análisis, la rentabilidad de un AGV comienza a ser positiva en los primeros 15 meses desde su puesta en marcha, lo que arroja unas cifras de amortización superiores a las de cualquier otro robot industrial.

En definitiva, todos ellos son capaces de reconocer objetos, definir patrones de seguridad, activarse o desactivarse en función de la necesidad de la producción, e incluso de acudir de forma autónoma a su centro de carga, por lo que la diferencia de costos será principalmente el factor decisivo a la hora de optar por un tipo de AGV u otro.

2.4. Campos de aplicación

El entorno ideal de los AGVs son plantas de fabricación y almacenes logísticos, ya que permiten aumentar la producción, eficiencia y disminuir el costo y los daños al producto. Pero gracias a su versatilidad, pueden usarse en muchos más sitios:

- Industria automovilística: donde realizan labores de transporte de producto terminado, materia prima, entrega de herramienta especializada, repuestos, piezas, materiales de desecho y embalaje.
- Industria farmacéutica: los grandes almacenes logísticos de este sector son otro lugar apropiado para la implantación de AGVs. Validación de procesos gracias a su almacenamiento de rutas y movimientos.
- Industria alimenticia: para el transporte de pallets de alimentos o materias primas, producto terminado, remolques y más.
- Industria química: el movimiento seguro y sin intervención humana de materiales peligrosos permite evitar accidentes y elevar en gran medida la seguridad de los trabajadores de estas plantas.
- Industria temática o de entretenimiento: uno de los entornos más curiosos donde los AGV trabajan, pues en este caso, transportan seres humanos. En muchos parques temáticos los AGV realizan circuitos de navegación autónoma para pasear a los clientes. También se usan en atracciones donde deben ejecutar diferentes secuencias automáticas y cambios de ruta más o menos aleatorios.

Capítulo 3: Metodología de diseño y modelo conceptual

3.1. Diseño Mecatrónico

Un sistema mecatrónico se caracteriza por una funcionalidad mecánica (entendida “in lato sensu”) alcanzada vía el control de accionamientos (eléctricos, hidráulicos, etc.) mediante la acción de sistemas electrónico-informáticos, cuyo desarrollo emplea técnicas concurrentes en todas las etapas de diseño con el fin de optimizar tanto el proceso de desarrollo como el resultado final merced a los efectos sinérgicos de un enfoque multidisciplinario [25]. La mecatrónica como concepto nuevo, consolidado y en expansión, demanda la necesidad de integración e interacción de los métodos de diferentes áreas de la ingeniería. Un ejemplo de esto es la decisión de no usar frenos mecánicos sino utilizar a los motores de las ruedas como frenos para mantener a la plataforma en posiciones fijas cuando deben compensarse fuerzas externas al robot. Esto requiere obtener en el dimensionamiento y elección de los motores no sólo los valores relacionados con los escenarios de circulación del robot, sino también los valores de par máximo a rotor bloqueado (stall torque) y par máximo permanente, así como los correspondientes valores de corriente. No considerar esto desde un principio puede obligar a poner frenos mecánicos una vez terminada la construcción del robot para no superar los límites térmicos de los arrollamientos, con los consiguientes inconvenientes causados por las modificaciones estructurales que haya que hacer. Los múltiples modos de locomoción planteados para el robot y la extensión de sus funcionalidades mediante la adición de diferentes estructuras de operación (EO) plantean requisitos superiores a los que cualquiera de esa funcionalidad por separado hubiera requerido. Por ejemplo, a los sistemas de microcómputo (MCU) encargados del procesamiento de información, comunicación y ejecución de los algoritmos necesarios para todas las acciones de control, en términos de memoria y velocidad. También, en el plano puramente mecánico, el futuro montaje de una EO que permita la interacción física directa con un ser humano impone necesidad de co-diseño y dimensionamiento. Un ejemplo de ello es el efecto de cargas asimétricas sobre las ruedas generado por la interacción con el usuario. Esto obliga a buscar alternativas para el sistema de transmisión que minimicen los momentos flectores sobre los ejes de las ruedas. Estas alternativas deben ser compatibles con el criterio de

lograr un buen despeje de la base del suelo para que el robot pueda moverse en terrenos con (ligeras) irregularidades. También en la elección de las herramientas de ingeniería a utilizar la elección del enfoque mecatrónico obliga a tomar decisiones. Como ejemplo, debido a la característica de diseño basado en modelos de este enfoque, es decir, su fuerte apoyo en el modelado matemático y la simulación, se eligió un software de diseño mecánico (SolidWorks, CAD para modelado mecánico 2D y 3D; [26]) cuyos modelos pueden ser exportados fácilmente a entornos de simulación dinámica del robot que permiten la integración con algoritmos de control, particularmente ROS y Gazebo-ROS [27] [28]. Todo el procedimiento y desarrollo que se describe a continuación, que puede parecer secuencial en la descripción, contiene numerosos bucles en todos los puntos de decisión del diseño.

3.2. Modelo funcional y conceptual

La plataforma robótica de locomoción con ruedas a diseñar debe moverse en ambientes interiores, pisos lisos con mínimos desniveles tipo rampa, ambientes estructurados y perfectamente conocidos. El requerimiento de ambientes interiores de alguna manera limita las dimensiones de la plataforma ya que esta debe ser capaz de atravesar una puerta, cuyo ancho es típicamente menor o igual a los 0.7 m. El requerimiento de pisos lisos permite diseñar, en esta etapa, una plataforma móvil sin un sistema de suspensión. Por otra parte, como se mencionó anteriormente, se tomó la decisión de no contar con frenos mecánicos y utilizar a los motores de las ruedas como frenos. En esta etapa inicial del diseño se busca llegar a obtener un prototipo que pueda ser completamente funcional en condiciones de laboratorio, lo que equivaldría a un nivel de madurez tecnológica 4.0 [29]. Por esto, no se tienen en cuenta posibles agregados que otorguen seguridad física a los posibles usuarios como, por ejemplo, el agregado de frenos mecánicos de emergencia independientes del sistema de control. Además de lo anterior la plataforma debe ser reconfigurable y permitir diferentes tipos de locomoción, como se mencionó anteriormente, entre los que se encuentran, configuración tipo triciclo, de tracción diferencial y tipo omnidireccional entre otras posibles no detalladas aquí. Entre los tipos de ruedas que se consideran en este trabajo se encuentran: las ruedas de tracción; las ruedas convencionales fijas, y las ruedas tipo caster. En todo lo que sigue, se analiza un mínimo de tres ruedas para garantizar estabilidad frente al volcado y no tener que utilizar

algún mecanismo, como por ejemplo el agregado de un volante de inercia que prevenga el volcado de la plataforma. La plataforma a diseñar debe ser capaz de cargar un peso de 100 kg , para lo cual el proceso de diseño se inicia con un peso total, esto es peso de la plataforma electromecánica más la carga de 150Kg . Esta plataforma debe ser capaz de moverse a una velocidad en línea recta de 1 m/s y de poder acelerar a 1 m/s^2 .

Capítulo 4: Diseño del robot reconfigurable

En este capítulo estaremos desarrollando y planteando las etapas por las que fuimos avanzando para poder llegar al diseño mecánico final del robot reconfigurable. Para comenzar, decidimos realizar un diagrama de procesos de forma tal de ordenar la información recopilada e ir avanzando de forma ordenada sobre el diseño del robot.

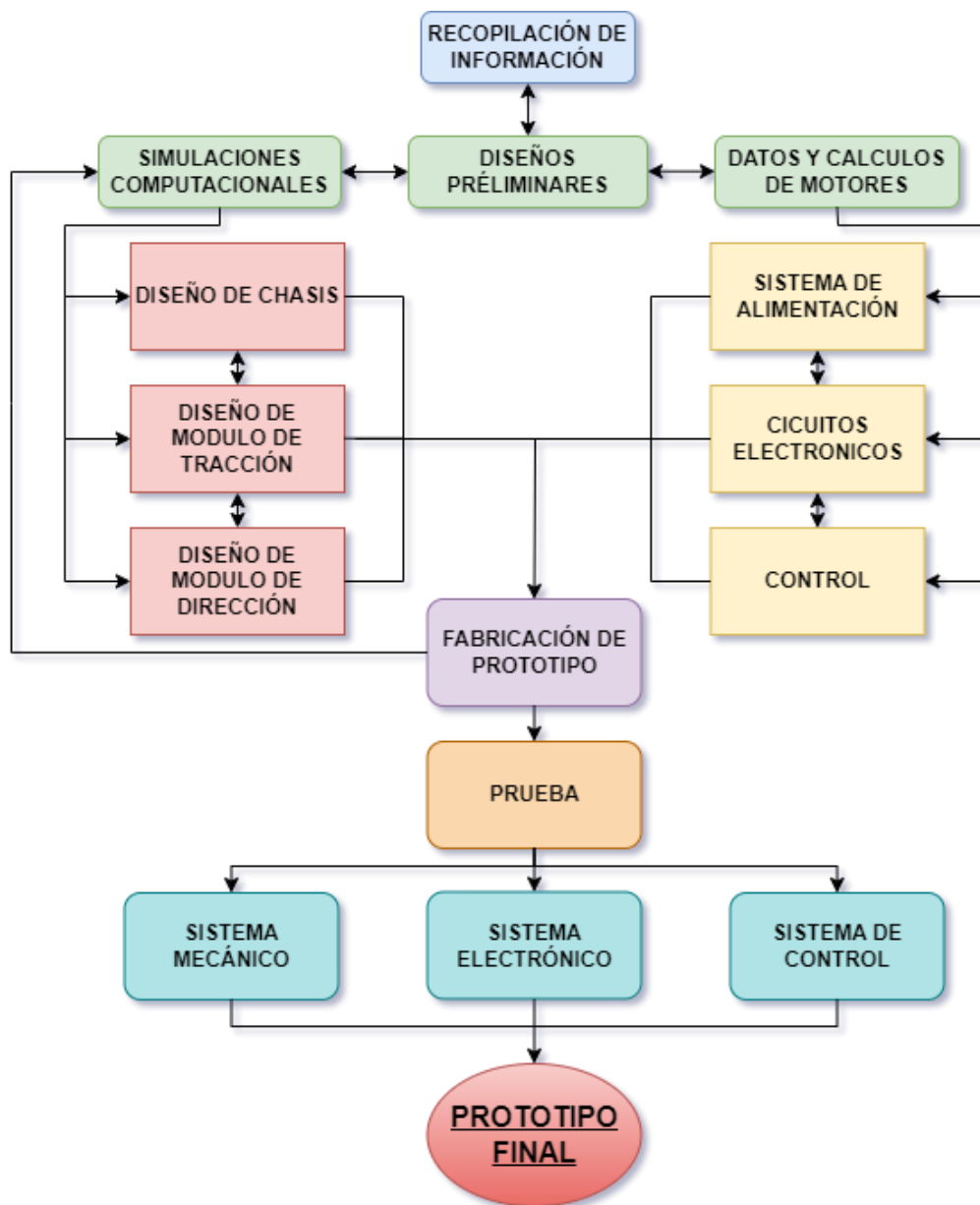


Figura 4-1: Diagrama de flujo del diseño de un robot reconfigurable.

Como puede observarse en el diagrama antes mostrado, se presentan todas las variables que afectan el diseño del mismo, aunque algunas partes no están dentro de nuestro dominio de competencia.

Dentro de nuestro alcance para el presente proyecto, en primer lugar, se desarrolló el chasis, en el cual van a estar vinculado el módulo de dirección y el de tracción. El mismo debe ser una estructura que puede adaptarse a diferentes configuraciones y usos, garantizando la robustez y optimizando su peso. En segundo lugar, se diseñó el módulo de tracción, el mismo permite mover el prototipo. Debe ser robusto, ya que debe soportar el peso del prototipo y la carga que le sea aplicada en la superficie superior. Al ser reconfigurable, se establece que cada rueda tenga su módulo de tracción, trabajando en forma sincronizada, lo cual nos permite desarmar y ensamblar de forma sencilla. Por último, se diseñó el módulo de dirección, en cual nos garantiza que las ruedas del vehículo giren, pudiendo de esta forma realizar maniobras en espacios reducidos.

En el mismo vamos a poder observar cálculos (para así poder seleccionar distintos componentes, en base a lo que nos demanda el mismo diseño), selección de elemento comerciales (la idea es seleccionar la mayor cantidad de elementos comerciales de modo de economizar el diseño), diseño propiamente dicho para poder ensamblar los elementos seleccionados, etc.

Como puede observarse en el diagrama antes mostrados, las distintas etapas se van retroalimentando unas a otras, es decir, en cuanto se avanza con algún diseño, el mismo requiere la modificación de otro diseño ya realizado, retroalimentándose entre ellos. Por lo que las distintas etapas de diseño no son independientes, van todas de la mano.

4.1. Diseño de chasis

Llamaremos chasis al esqueleto, es decir, la estructura interna que aporta sostén, rigidez y forma al prototipo. Es el encargado de conectar el sistema de tracción y el de dirección. Es quien recibe el mayor porcentaje de todas las cargas y esfuerzos. El chasis carga la masa total del prototipo y ubica cada uno de sus componentes en una posición estratégica.

A la hora de pensar el primer diseño se optó por realizar una estructura simple de base rectangular como para darle las primeras dimensiones al modelo y empezar a visualizar más fácilmente el armado de la estructura y los módulos. La misma cuenta con caños estructurales de soporte y chapa fina troquelada para la superficie, ya que la idea principal del robot es que sea modular, y de esta manera podemos ir colocando los módulos sobre la base según la conveniencia de uso de manera rápida y sencilla. La vinculación de la chapa y los caños se realizaría a través de soldadura, por lo estudiado sobre soldadura y la composición de los materiales, y además por la experiencia en la industria, nos lleva a seleccionar como materiales en cuestión aceros de bajo contenido de carbono. Ya que mayor contenido de carbono o aceros de aleación, tienden a formar soldaduras duras que son frágiles y podrían romperse. El aluminio, si bien es un material ideal para estas estructuras por ser un material liviano y resistente, tiene una resistividad eléctrica y una conductividad térmica, que hace imposible poder soldarlo con las herramientas que disponemos hoy en día en la industria.

Este primer modelo nos garantiza la rigidez necesaria, es decir, ante cualquier choque o impacto la superficie no sufriría ninguna alteración. Pero se nos escapa una cuestión no menos importante que es el peso del mismo.

Se muestra en la *Figura 4-2* una ejemplificación de este concepto de ingeniería básica, sobre la parte central se colocaría toda la parte eléctrica.

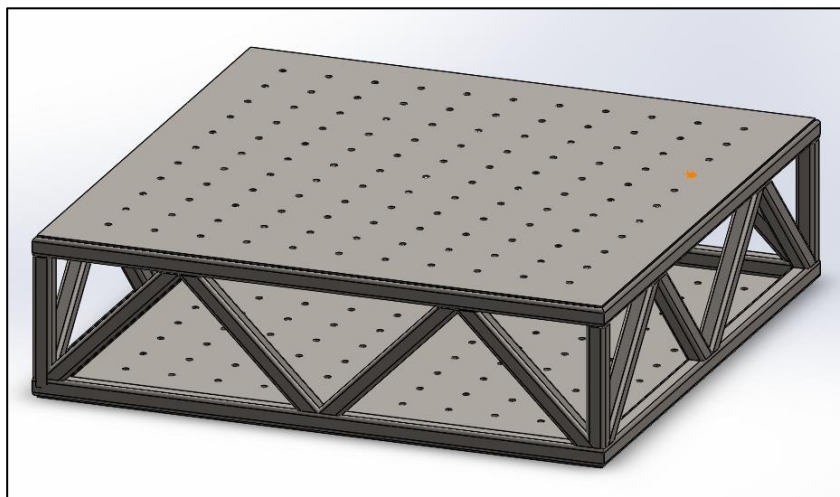


Figura 4-2: Primer esquema del chasis.

Primera mejora de chasis:

En primera instancia se nos propuso desde la cátedra avanzar en el chasis con chapa plegada por disponibilidad y los acuerdos comerciales que mantiene la Universidad con algunas empresas del cordón industrial de Rosario.

La idea de esta mejora a partir de lo solicitado por la cátedra era realizar un tipo de chasis que no sea tan macizo y pesado, es decir, garantizar la robustez del mismo sin que sea una estructura indestructible e inamovible. Por lo que trabajamos con la lógica que se utiliza en la industria automotriz, es decir, garantizar todas las cuestiones de seguridad haciendo uso de materiales capaces de absorber impacto.

Otro de los factores que influyó en esta mejora fue la optimización de espacio necesario para almacenar los componentes eléctricos, ya que con el diseño anterior estábamos innecesariamente holgados.

Además, ya con este diseño se buscó la optimización de espacio y peso del equipo.

Por lo que decidimos realizar el nuevo chasis a partir de chapa cortada y luego plegarla, algo que es relativamente más económico que la estructura antes planteada.

Las dimensiones de chapa para realizar los cortes son:

- Dos chapas de 1/8" de espesor con 600 mm largo x 200 mm de ancho, a las cuales se le agregan ocho agujeros para su posterior ensamblaje a través de bulones.
- Dos chapas de 1/8" de espesor con 600 mm largo x 150 mm de ancho, a las cuales también se les agregan los ocho agujeros. En las mismas se realiza el corte de un redondo de 80 mm de diámetro, en donde a futuro se pensó ensamblar el motor de dirección.

A continuación, se muestran las chapas luego de ser cortadas.

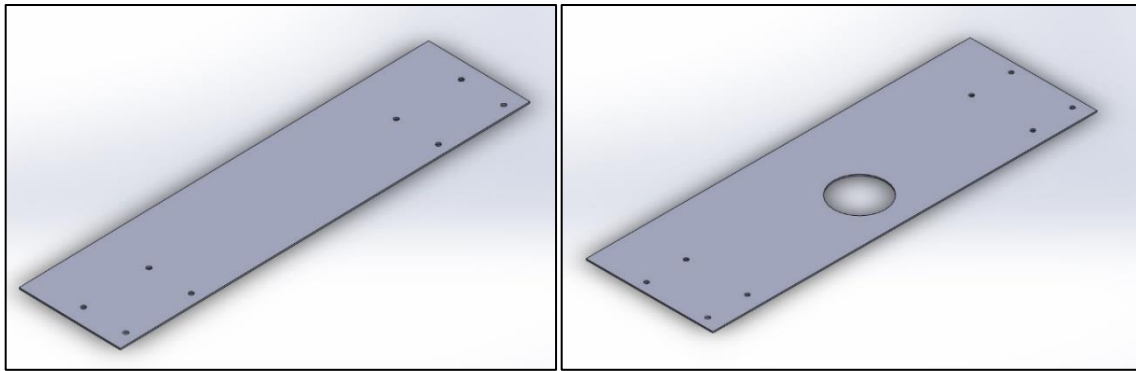


Figura 4-3: Chapas cortadas que forman parte del chasis.

Luego, con un punzón de radio 8 mm se realiza el plegado de la misma a 90°.

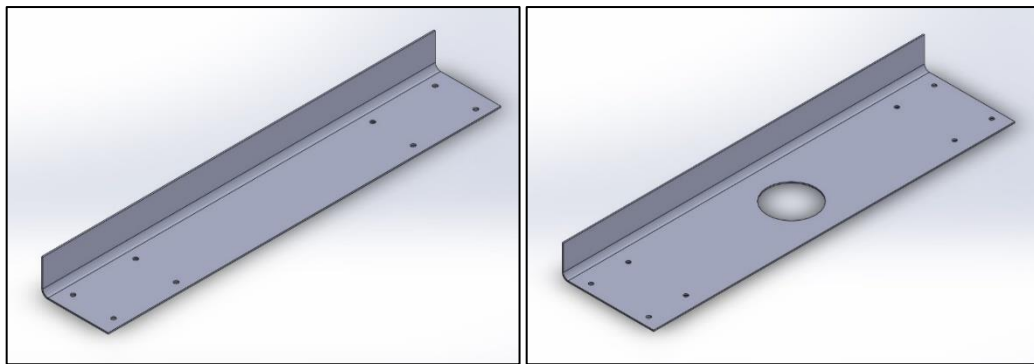


Figura 4-4: Chapas plegadas que forman parte del chasis.

Por último, se lleva a cabo el ensamblaje final de la mejora de chasis, quedando como se muestra en *Figura 4-5* para el caso del omnidireccional y el de tracción diferencial.

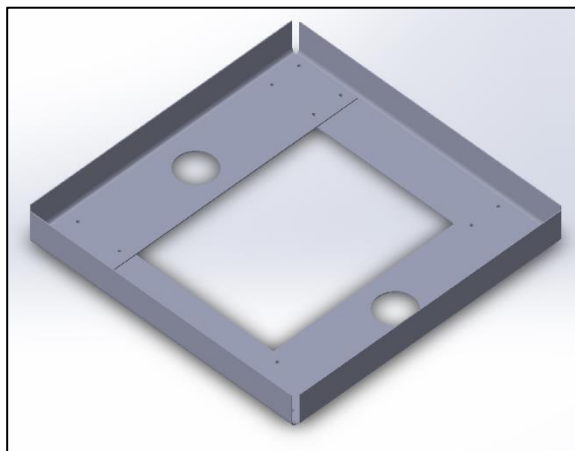


Figura 4-5: Segundo esquema del chasis.

Segunda mejora de chasis:

Para continuar perfeccionando el chasis, observamos que con la idea antes planteada si bien mejorábamos varias cuestiones de importante relevancia, como son los costos, la optimización de espacio y peso del equipo, no fuimos conscientes que la idea de poner el motor direccional arriba no iba a ser factible por el lugar que ocuparía el mismo en dicha posición, como puede verse en la *Figura 4-6*.

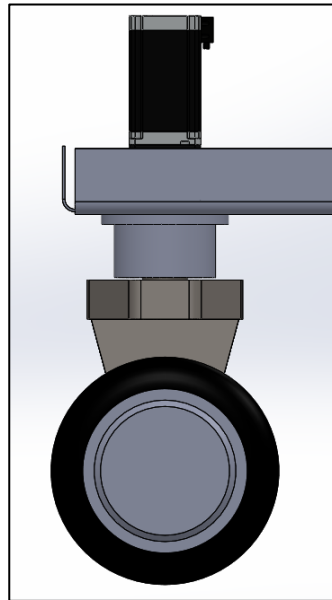


Figura 4-6: Problemática de colocar el motor direccional por encima de la rueda.

Por lo que después de pensar y estudiar varias alternativas para ubicar el motor de dirección, se nos ocurrió colocarlo en la parte posterior de la rueda, ya que de esta forma estaría ocupando un espacio muerto, es decir, un espacio que nosotros considerábamos perdido. Lugo de realizar los cálculos y estudios pertinentes para evitar que las rudas toquen los motores, y que los motores no se toquen entre sí, se modificó el corte de la chapa del chasis que llevara el módulo de dirección.

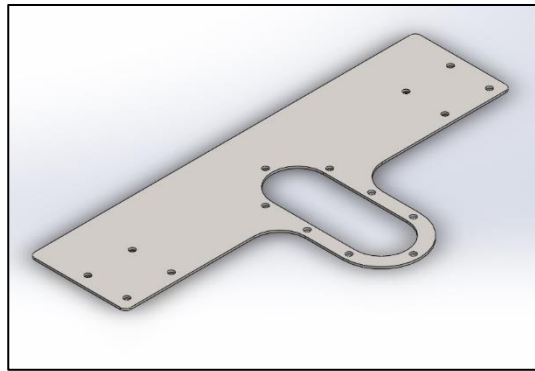


Figura 4-7: Chapa cortada que forman parte del chasis.

Luego, con un punzón de radio 8 mm se realiza el plegado de la misma a 90°.

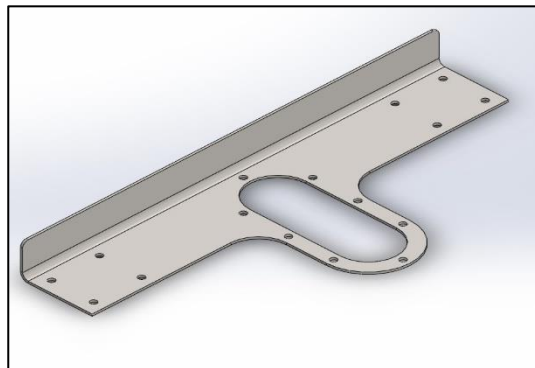


Figura 4-8: Chapa plegada que forman parte del chasis.

Para concluir, se lleva a cabo el ensamblaje final de la nueva mejora, quedando como se muestra en *Figura 4-9* para el caso del omnidireccional y el de tracción diferencial.

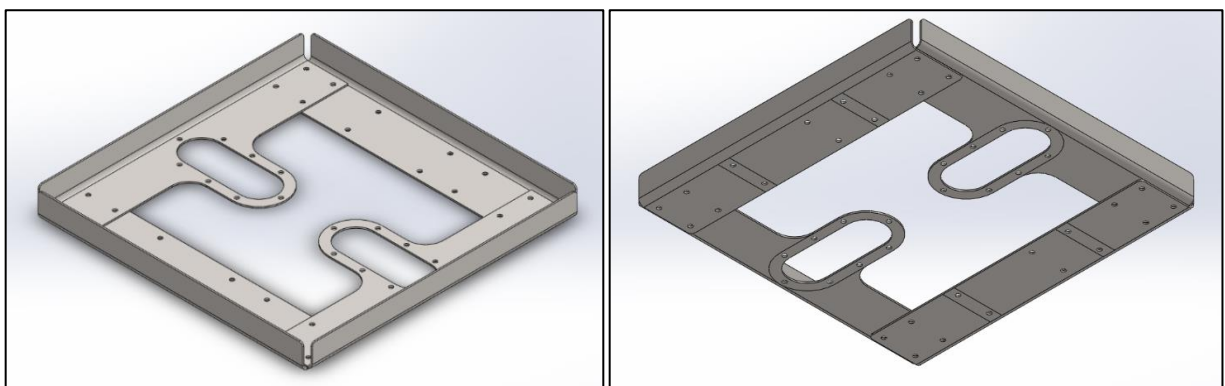


Figura 4-9: Tercer esquema del chasis.

Una vez concluido el diseño del chasis, se procedió a realizar una base del chasis, la cual tiene como función tanto cubrir los componentes eléctricos para que no se dañen, como ser de apoyo para trasladar objetos. La misma se diseñó también con chapa plegada como se muestra a continuación.

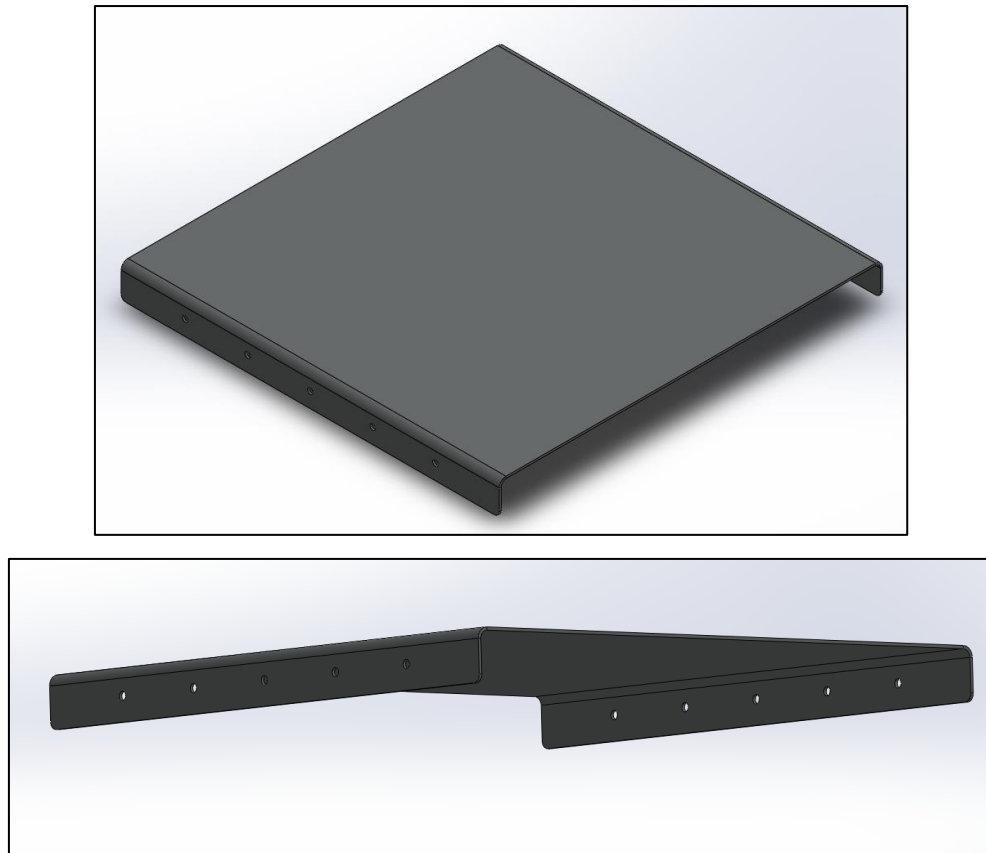


Figura 4-10: Base del chasis.

Para finalizar el diseño del chasis, se mostrará el ensamblaje del prototipo final.

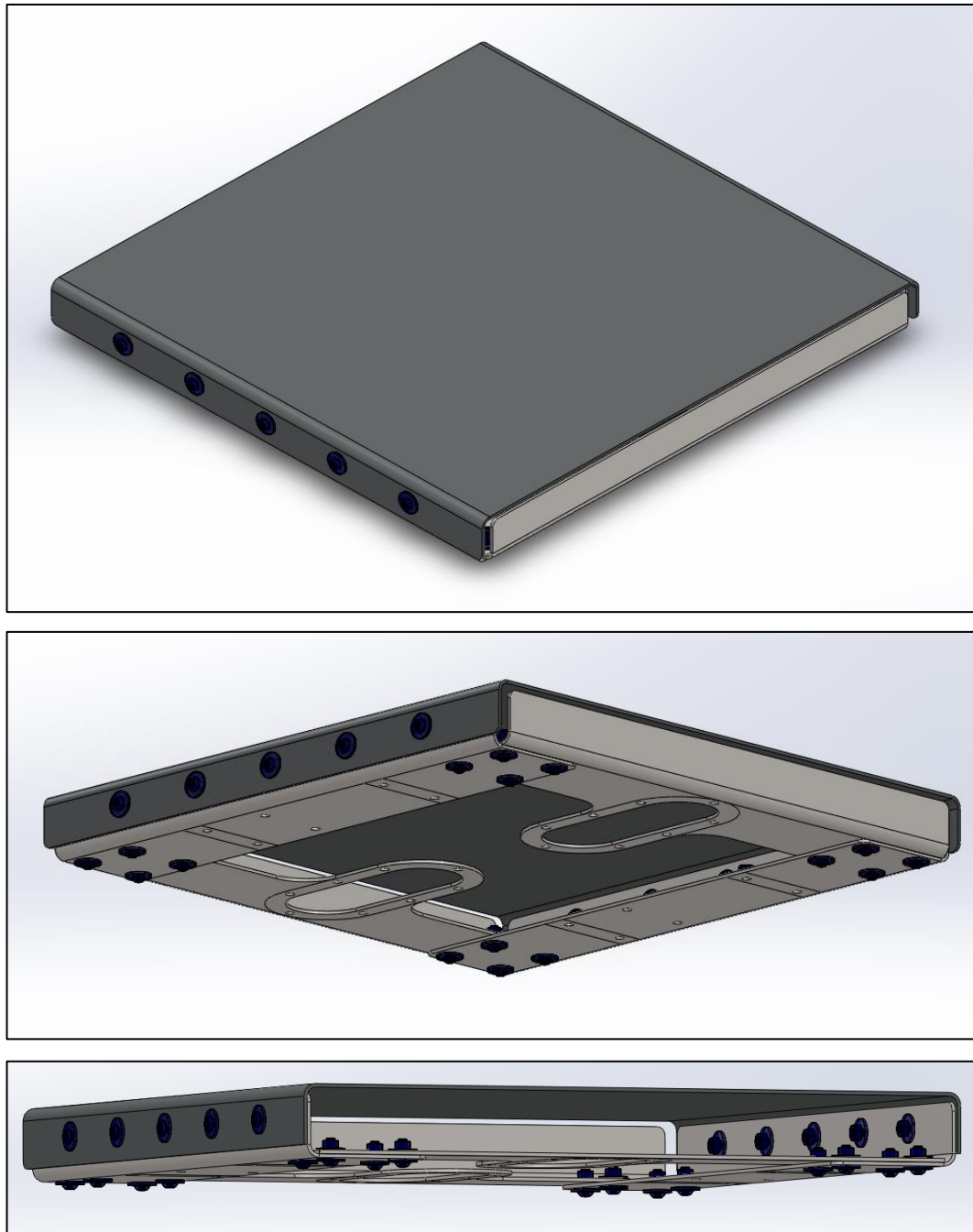


Figura 4-11: Ensamblaje del chasis del prototipo final.

Como puede observarse se buscó la forma más práctica de vincular todos los componentes de manera segura, por lo que procedió a realizarlo con burlonería fina.

4.2. Módulo de tracción

Llamaremos transmisión al conjunto de acoplamientos y/u otros dispositivos que conectan el movimiento de giro del motor con el movimiento final en las ruedas del vehículo.

El sistema de tracción se diseñó para poder mover el vehículo con comodidad tanto en la parte de potencia como en la parte de maniobrabilidad y que soporte las exigencias de las cargas como el buen desempeño en los espacios reducidos.

Para realizar la elección de los componentes que van a formar el módulo de transmisión, realizaremos los siguientes cálculos pertinentes.

Cálculos:

Para dimensionar en forma general el sistema se realizan cálculos con el fin de determinar las características de los elementos principales del AGV. Son denominados elementos principales aquellos que tienen mayor influencia en la forma final y funcionamiento del vehículo. Para este caso son identificados como portadores primarios: motor, controlador y baterías.

Cálculo de motor:

Se busca calcular la potencia necesaria del motor teniendo en cuenta la peor condición, es decir, cuando el AGV está completamente cargado.

Partimos por la ecuación de movimiento:

$$\sum F_x = M \cdot a_x \quad (4.1)$$

$$F_{necesaria} = M_{total} \cdot a_x$$

La masa total es la equivalente a la sumatoria de masas, por lo tanto:

$$M_{total} = M_{carga} + M_{vehículo} \quad (4.2)$$

Optamos por tomar como masa total unos 150 kg. Y definimos la aceleración requerida para el robot de 1 m/s^2 . Por lo tanto, utilizando la ecuación (4.1).

$$F_{necesaria} = M_{total} \cdot a_x$$

$$F_{necesaria} = 150 \text{ Kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

$$F_{necesaria} = \mathbf{150 \text{ N}}$$

Ahora bien, definiendo la velocidad que deseamos para el robot móvil (1 m/s), podemos calcular la potencia mecánica necesaria.

$$P = F_{necesaria} \cdot V \quad (4.3)$$

$$P = 150 \text{ N} \cdot 1 \text{ m/s}$$

$$P = \mathbf{150 \text{ W}}$$

Cálculo de la batería:

Para estos cálculos se toma como parámetro que el vehículo va a estar en funcionamiento continuo como máximo una hora. También tenemos como parámetro el voltaje nominal de la batería tipo que disponemos en el laboratorio, que es de 36 V. Por lo que;

$$P = V \cdot I \quad (4.4)$$

$$150 \text{ W} = 36 \text{ V} \cdot I$$

$$I = 150 \text{ W} / 36 \text{ V}$$

$$I = \mathbf{4,17 \text{ A}}$$

Por lo tanto, la duración de cada batería será de $4,17 \text{ A} \cdot h$. Por lo que, con la batería que disponemos en el laboratorio, la cual fue obtenida de una patineta hoverboard, nuestro motor va a poder funcionar:

$$\frac{4,17 \text{ A} \cdot h}{3,33 \text{ A}} = \mathbf{1.25 \text{ hs}}$$

Esto es igual a aproximadamente a 1 hora 25 minutos. Como nuestro objetivo es que el robot pueda funcionar durante más de una hora seguida, podemos decir que la batería está en condiciones de utilizarse.

Cálculo del torque necesario para la tracción:

A continuación, se calcula la capacidad de torque. Teniendo en cuenta que la fuerza de empuje es de 150 N y el radio de la rueda de 0,09 m.

$$T = F \cdot r \quad (4.5)$$

Donde:

- T: torque necesario del motor
- r: radio de la rueda
- F: Fuerza de empuje

Entonces;

$$T = 150 \, N \cdot 0,09m$$

$$T = 13,5 \, Nm$$

Selección del motor del módulo de tracción:

La selección del motor de módulo de tracción se encontraba entre un motor Brushless DC (BLDCM) o un PMSM in-wheel (hoverboard o monopatín eléctrico).

Ambos motores encuentran aplicación en algunas de las funcionalidades automotrices más importantes, por ejemplo, el PMSM es un motor implementado actualmente en el tren motriz de los vehículos eléctricos.

Ventajas de los motores BLDCM:

- Capacidad para trabajar a mayor velocidad y producir un par constante.
- Durabilidad.
- Eficiencia de casi 85-90%.
- Capacidad de responder a los mecanismos de control a altas velocidades.
- Sin chispas y menos ruido, ya que las escobillas están ausentes.
- Facilidad de control del motor (utilizando soluciones de controlador de motor BLDC).

- Capacidad de autoarranque.
- Se enfría por conducción y no requiere ningún mecanismo de enfriamiento adicional.

Ventajas de los motores PMSM:

- Mayor eficiencia que los motores CC sin escobillas.
- Sin ondulación de par cuando el motor está conmutado.
- Mayor par y mejor rendimiento.
- Más fiable y menos ruidoso que otros motores asíncronos.
- Alto rendimiento tanto en alta como en baja velocidad de operación.
- La baja inercia del rotor facilita el control.
- Disipación eficiente del calor.
- Tamaño reducido del motor.

En un motor BLDC la posición del rotor generalmente se detecta mediante un conjunto de 3 sensores de efecto HALL. La conmutación se logra a través de un proceso de seis pasos. Esto da como resultado pequeñas interrupciones en la conmutación que, a su vez, provoca ondulaciones de par (aumento/disminución periódica en la salida de par del motor) al final de cada paso.

El motivo que hace que los motores PMSM sean más eficientes es la ausencia de ondulación de par.

Los motores Brushless DC son duraderos, bastante eficientes y económicos. Pueden operar a alta velocidad y pueden controlarse electrónicamente. Todos estos atributos hacen que estos motores sean ideales para componentes automotrices que están en funcionamiento de forma continua.

Los motores PMSM, por otro lado, tienen todos los atributos del motor BLDC con la ventaja adicional de un menor ruido y una mayor eficiencia.

En resumen, si bien analizando ambos casos llegamos a la conclusión de que el PMSM es el que mejor se adapta a nuestros requerimientos, además contamos con este motor en el Laboratorio de Automatización y Control de la Escuela de Ingeniería Electrónica

obtenido de un monopatín eléctrico adquirido por la facultad, por lo que avanzaremos con este equipo.

Aprovechando la disponibilidad del motor de la patineta hoverboard que teníamos para usar. Dicho motor sincrónico de imán permanente (PMSM) de tipo in-wheel de 250W con quince pares de polos, con un radio de 0.09 m, cubierta de goma y capacidades nominales de: torque 13 Nm, velocidad 20 rad/s, tensión 36 V y corriente 15 A. El mismo cuenta con tres sensores de efecto hall que permiten la medición del ángulo de rotación. Este motor cuenta con el eje de rotación ubicado en un lado de la rueda. Se prevé un esquema de control por campo orientado de torque para el control del mismo en operación.

A partir de dichas características realizamos la verificación para ver si se adapta a las condiciones a las cuales iba a ser sometido. A continuación, se muestra el motor seleccionado, el cual se encuentra en el interior de la rueda.



Figura 4-12: Motor PMSM in-wheel.

Como corroboramos que cumplía con las condiciones decidimos utilizarla para nuestro diseño. Se realizó el dibujo de la misma en SolidWorks.

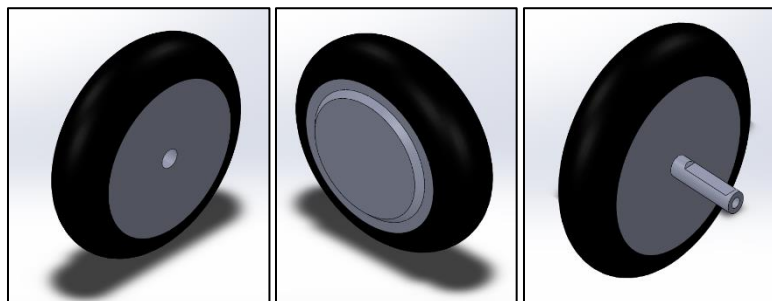


Figura 4-13: Rueda motriz seleccionada.

Luego se pensó de qué forma vincular la rueda con el chasis. La idea fue vincularlo mediante algún tipo de agarre de uno de los lados, debido a que el eje de la rueda solo se encuentra en uno de los dos costados.

A la hora de pensar en el módulo de tracción se realizó un diseño de ingeniería conceptual, donde fuimos pensando en la modularidad y la reconfiguración de la vinculación de los distintos módulos al chasis. Se muestran imágenes ejemplificando dicho diseño.

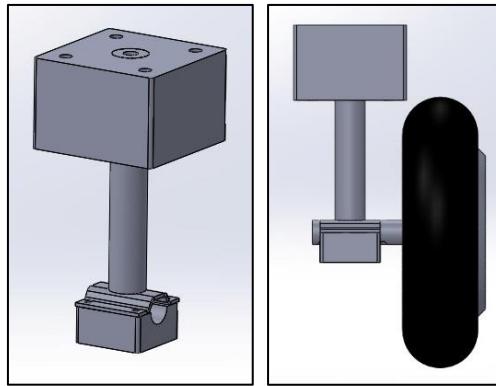


Figura 4-14: Ingeniería conceptual en la vinculación entre el chasis y el módulo de tracción.

Primera mejora del módulo de tracción:

Luego de saber conceptualmente que era lo que debíamos realizar, comenzamos diseñando los vinculo del chasis y módulo de tracción, los mismos los pensamos con chapas cortadas y plegadas, de forma tal de acceder a los mismos de manera sencilla.

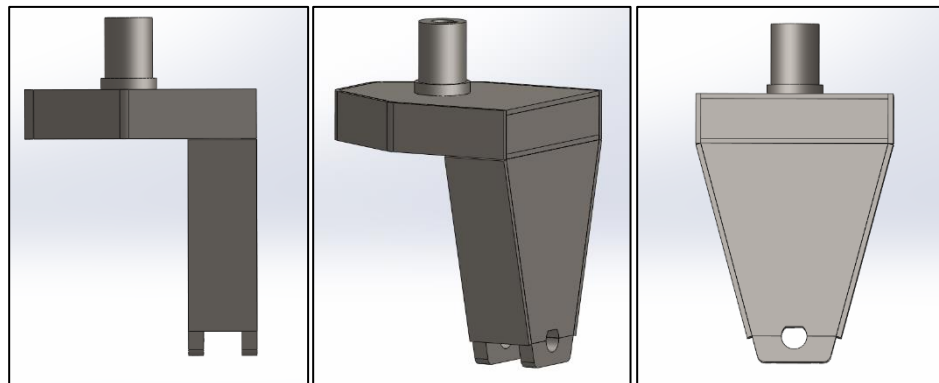


Figura 4-15: Vinculación entre el chasis y el módulo de tracción.

Dicho conjunto antes mostrados tiene como función ser el nexo entre el chasis y la rueda de tracción. Este conjunto, compuesto por chapa plegada y un eje, es en donde se va a hacer luego la vinculación con el módulo de dirección. Al ser ambos componentes de material acero, van a ser soldados a filete. También cuenta con una vinculación entre la pieza de chapa y el eje de la rueda con bulones, permitiendo que pueda ser reconfigurable.

Un detalle no menor es que dicho vínculo en su interior es hueco, como se ve en la siguiente figura. Uno de los factores por los que se realizó de esta forma es evitar un elevado peso del mismo, también realizar el cableado por su interior de las conexiones del motor de tracción a las baterías y además que el vínculo sea lo suficientemente rígido para que soporte el momento que le aplica el motor de dirección.

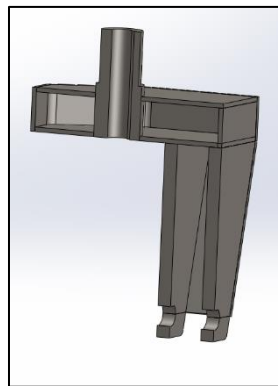


Figura 4-16: Corte del vínculo entre el chasis y el módulo de tracción.

A continuación, se muestra el segundo ensamblaje del módulo de tracción.

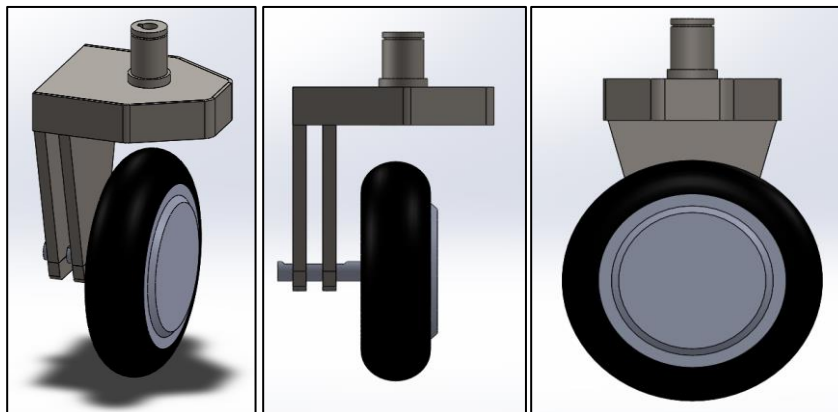


Figura 4-17: Segundo diseño del módulo de tracción.

Segunda mejora del módulo de tracción:

Para continuar perfeccionando el módulo de tracción, observamos que con la idea antes planteada si bien cumplíamos con la vinculación que deseábamos, no fuimos conscientes que la idea de poner el motor direccional arriba no iba a ser factible por el lugar que ocuparía el mismo en dicha posición, como puede verse en la *Figura 4-6*.

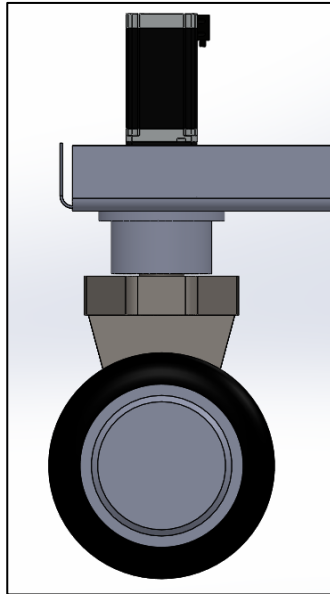


Figura 4-18: Problemática de colocar el motor directriz por encima de la rueda.

Por lo que después de pensar y estudiar varias alternativas para ubicar el motor de dirección, se nos ocurrió colocarlo en la parte posterior de la rueda, ya que de esta forma estaría ocupando un espacio muerto, es decir, un espacio que nosotros considerábamos perdido.

Para realizar dicha modificación debimos cambiar el tipo de vinculación que iba a tener el motor direccional con el módulo de tracción. Si bien hubo varias ideas, como se detallará en la etapa de diseño del módulo de dirección, decidimos remplazar el eje hueco por un eje macizo en donde va a ir enchavetada la polea dentada conducida.

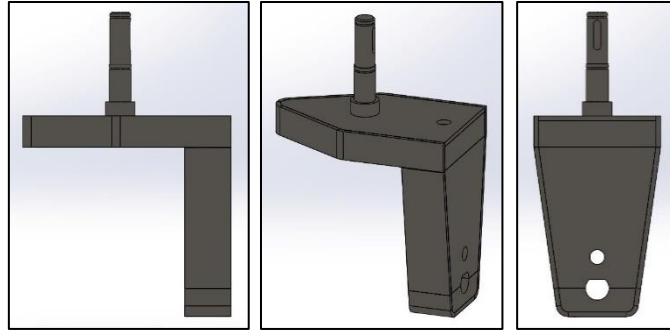


Figura 4-19: Vinculación final entre el chasis y el módulo de tracción.

Se continuó con la idea de realizar su interior hueco, para evitar un elevado peso del mismo y también para realizar el cableado.

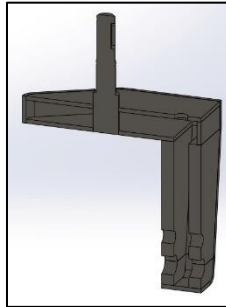


Figura 4-20: Corte del vínculo entre el chasis y el módulo de tracción.

También a la hora de realizar el ensamblaje final de los componentes que forman el módulo de tracción, se observó que la altura entre el chasis y el piso era mayor a la pretendida, por lo que se decidió modificar la altura del vínculo achicándolo para que el chasis del robot quede más cerca del piso, como puede observarse en la distancia entre el vínculo y la ruda.

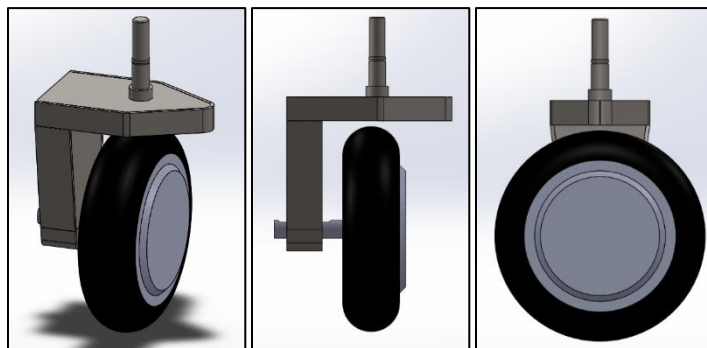


Figura 4-21: Diseño final del módulo de tracción.

4.3. Módulo de dirección

Llamaremos dirección al conjunto de eje, rodamientos y/u otros dispositivos que conectan el movimiento de giro del motor con el movimiento direccional en las ruedas del vehículo.

A partir de un estudio realizado, encontramos que existen en la actualidad principalmente tres sistemas de dirección en los robots AGV. Los mismos se describen a continuación.

- Direccionamiento rueda libre:

En este tipo de sistema el movimiento hacia adelante, se hacen girar los dos motores en la misma dirección hacia delante (sentido horario) creando un movimiento rectilíneo suponiendo que los dos motores son exactamente iguales. Y para el movimiento hacia atrás se invierte solamente el giro de los motores. En el movimiento de giro a la derecha, se hacen girar el motor izquierdo en sentido horario (hacia delante) y el motor de la derecha en sentido antihorario (hacia atrás). Dicha combinación de movimientos estimula un movimiento de giro a la derecha de la estructura. Movimiento de giro a la izquierda, se hacen girar el motor izquierdo en sentido antihorario (hacia atrás) y el motor de la derecha en sentido horario (hacia adelante) esto provoca un movimiento de giro a la izquierda de la estructura. El movimiento de giro completo sobre su propio eje, abarca una superficie muy grande que no hace la estructura muy adecuada para moverse en recintos muy pequeños, como podría ser el caso de movimientos en pruebas de laberintos.

- Direccionamiento diferencial:

Uno de los múltiples sistemas que pueden ser utilizados para el desplazamiento de un robot según las características de trabajo a realizar, cada uno maneja un tipo de habilidad diferente. Viene dado por la diferencia de velocidades de las ruedas laterales, la tracción se consigue con estas mismas ruedas y existe una o más ruedas para soporte. El movimiento es el resultado de cambiar las velocidades de las ruedas de la izquierda con las de la derecha. El diseño diferencial es uno de los menos complicados sistemas de locomoción. El robot puede ir recto, girar sobre sí mismo y trazar curvas.

- Sincronizado:

En este diseño todas las ruedas (generalmente tres) son tanto de dirección como motrices, las ruedas están enclavadas de tal forma que siempre apuntan en la misma dirección. Para cambiar de dirección el robot gira simultáneamente todas sus ruedas alrededor de un eje vertical, de modo que la dirección del robot cambia.

Como se mencionó anteriormente, estos son los modelos más comúnmente utilizados, en nuestro caso adaptamos a cada configuración un modelo que se adecue. En las configuraciones Triciclo y Omnidireccional decidimos optar por el modelo sincronizado, pero con una adaptación a nuestras necesidades y recursos, que consiste básicamente en tener en el caso del Triciclo solo una rueda y en el caso del Omnidireccional dos ruedas compuestas por ambos módulos (dirección y tracción). Para la configuración Tracción Diferencial, decidimos optar por un modelo que comparte movimientos tanto el modelo de direccionamiento de rueda libre como el direccionamiento de rueda diferencial.

Para realizar la elección de los componentes que van a formar el módulo de dirección, se hicieron los siguientes cálculos.

Cálculos:

Cálculo del torque necesario para la dirección:

A continuación, se presenta el cálculo del torque necesario para el módulo de dirección aplicando el mismo a una sola rueda, en una configuración tipo triciclo, por eso se considera el peso de 50 Kg.

Teniendo en cuenta que el coeficiente de rozamiento entre la goma y el cemento es igual a 1.

$$\text{Huella de la rueda} = 50\text{mm} \cdot 50\text{mm} = 0,0025 \text{ m}^2 \text{ (peor condición)}$$

Estando en la peor condición y considerando un peso de 50 Kg por rueda, el toque necesario para girar la rueda en un punto de contacto es:

$$F = 500\text{N} \text{ (considerando 50 Kg por rueda)}$$

$$T = F \cdot r \quad (4.6)$$

$$t = 500 \, N \cdot 0,05 \, m$$

$$t = 25 \, Nm$$

Como se indicó, este cálculo está basado en la posible deformación máxima de la rueda, pero en condiciones reales entendemos que no va a sufrir dicha deformación, es por eso que consideramos una nueva huella de la rueda para condiciones más reales.

$$\textbf{Huella de la rueda} = 5mm \cdot 5mm = \mathbf{0,00025 \, m^2} \text{ (condición más real)}$$

Entonces, el torque necesario para girar la rueda en una condición más real, aplicado a un punto fijo, es:

$$t = 500 \, N \cdot 0,005 \, m$$

$$t = 2,5 \, Nm$$

Es conveniente notar que en condiciones de movimiento el motor de dirección debe ser capaz de sostener picos de torque de variada intensidad debido a las cargas dinámicas que ocurren cuando la plataforma intenta girar a una determinada velocidad.

Selección del motor del módulo de dirección:

A la hora de seleccionar el motor del módulo de dirección, teniendo en cuenta los cálculos de torque realizados recientemente, estábamos entre un motor universal, un motor de corriente alterna, un motor de corriente continua o un motor paso a paso. Para su selección, se investigó cada tipo de motor en profundidad y se sacaron conclusiones al respecto.

- **Motores universales:**

En los motores universales tenemos la desventaja que no son de uso continuo, es decir, que su diseño no soporta grandes periodos de actividad y también generan mucho residuo. Por otro lado, como ventaja tenemos que pueden alimentarse con

corriente continua o alterna, y también, que tienen una gran velocidad con cargas de potencias débiles.

- Motores de corriente alterna:

Los motores de corriente alterna (AC) son robustos y requieren menos mantenimiento debido a la ausencia de escobillas o conmutadores. También son muy eficientes en términos de consumo de energía. Pero una de las principales desventajas de estos motores es que requieren un inversor para convertir la corriente continua (DC) de la batería del vehículo en corriente alterna (AC), por lo que este componente adicional puede aumentar el costo y la complejidad del sistema. Además, presentan poca potencia (menor a 3 kW) y no poseen arrancadores.

- Motor de corriente continua:

Por su lado, los motores de corriente continua (DC), poseen un mayor desgaste que los AC y tienen poca precisión en el arranque y la parada. Como ventaja de estos últimos podemos rescatar que tienen un mayor control sobre la velocidad (resistencias variables en el inductor) y es posible cambiar el sentido de rotación invirtiendo la polaridad.

- Motor paso a paso:

Por último, el motor paso a paso, el cual tiene mayor precisión en los desplazamientos, son motores con excitación independiente, la alimentación del inductor se realiza a partir de una fuente de alimentación externa. Para variar la velocidad basta con modificar y controlar la corriente de excitación. También poseen mayor exactitud en posición y repetitividad de los movimientos, perfecta respuesta de arranque y parada, son confiables y duraderos, ya que no existe contacto entre las escobillas.

A partir de la información relevada, notamos que el motor que mejor se adaptaba a las condiciones que nuestro diseño requiere es el motor paso a paso, ya que como se mencionó anteriormente, las ventajas analizadas superan ampliamente a las otras opciones, pero principalmente porque estos motores ofrecen una mayor precisión en aplicaciones que requieren de largos periodos de trabajo donde se producen muchas

paradas y arranques. Y también ofrecen una importante precisión en los desplazamientos.

Se realizó una preselección de un motor paso a paso bipolar NEMA 23 [30] con una caja reductora de tipo planetaria de relación 47:1 que soporta un torque de 25 Nm a 5 rpm . Su peso, incluyendo la caja de engranajes, es de 1.7 Kg . A este motor se le realizará una modificación que permita agregar un encoder de tipo absoluto para el control preciso y sin pérdida de pasos de la posición angular de la dirección.

Por otro lado, debíamos estudiar como queríamos ensamblar los componentes del módulo de dirección, en primera instancia debíamos vincular el eje del motor al eje directriz, dicha vinculación la pensamos a través de una chaveta y un chavetero, de forma tal de clavar el eje del motor al eje de dirección. Luego vinculamos los módulos, tanto de tracción como de dirección, con rodamientos rígidos de bola SKF [ver [Anexo A](#)], de forma tal de permitir el giro de los componentes. La idea es colocar dos, uno opuesto al otro y clavados en el cubo. Dicho cubo tiene la función recubrir los rodamientos para evitar que a los mismos entre suciedad y también contener el lubricante de los mismos. Además, se va a colocar un anillo seeger superior funcionando como tope sobre la pista interior del rodamiento superior y también se colocaría un anillo seeger para retener la pista externa del rodmiento inferior. Obviamente, también este cubo se vincularía con la plataforma a través de tornillos en la parte superior, dejando girar al eje direccional libremente.

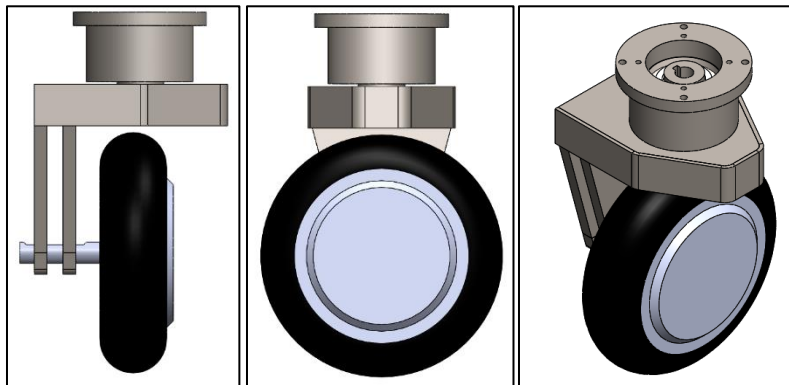


Figura 4-22: Vinculación entre ambos módulos.

A continuación, se muestran los primeros ensamblajes del módulo de dirección.

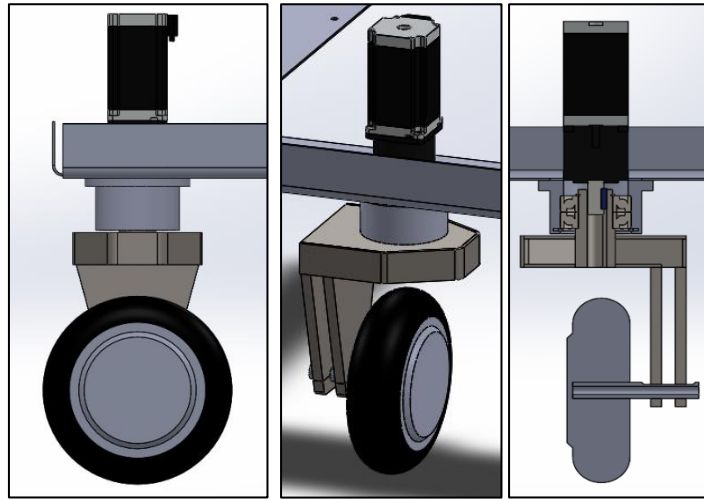


Figura 4-23: Primer ensamblaje del módulo de dirección.

Para analizar en detalle la vinculación del módulo de dirección, se realiza un zoom al corte de la *Figura 4-23*.

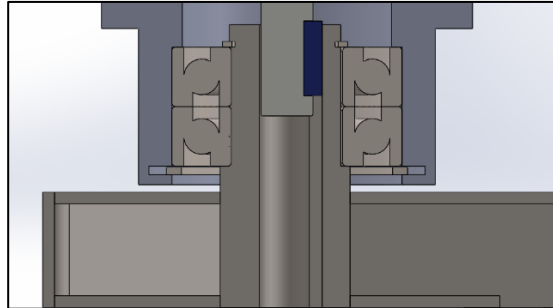


Figura 4-24: Corte del ensamblaje del módulo de dirección.

Primera mejora del módulo de dirección:

Como se mencionó anteriormente en la segunda mejora de chasis, observamos que con la idea antes planteada si bien mejorábamos varias cuestiones de importante relevancia, como son los costos, la optimización de espacio y peso del equipo, no fuimos conscientes que la idea de poner el motor direccional arriba no iba a ser factible por el lugar que ocuparía el mismo en dicha posición, como puedo verse en la *Figura 4-23*.

Por lo que después de pensar y estudiar varias alternativas para ubicar el motor de dirección, se nos ocurrió colocarlo en la parte posterior de la rueda, ya que de esta forma

estaría ocupando un espacio muerto, es decir, un espacio que nosotros considerábamos perdido. Se realizaron los cálculos y estudios pertinentes para evitar que las rudas toquen los motores, y que los motores no se toquen entre sí, para el caso omnidireccional.

Para realizar dicha modificación debimos cambiar el tipo de vinculación que iba a tener el motor direccional con el módulo de tracción. Para realizar la misma, decidimos remplazar el eje hueco por un eje macizo en donde va a ir alojado el sistema de vinculación que elijamos.

El cubo con los rodamientos y los anillos seeger quedaría de la misma forma para este nuevo diseño.

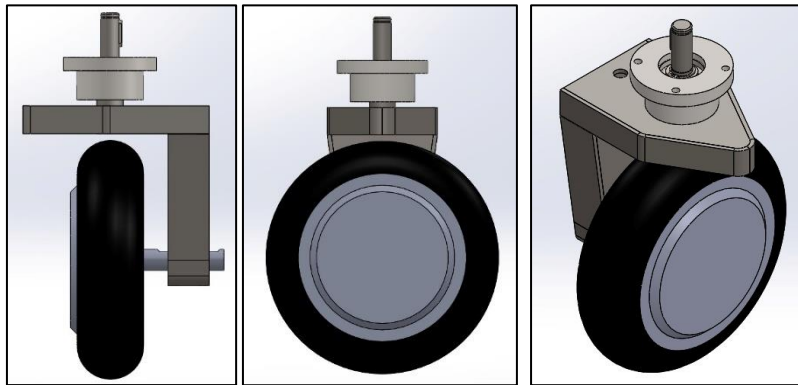


Figura 4-25: Cambio de diseño en el módulo de dirección.

Ahora bien, la vinculación entre el motor paso a paso y el eje directriz ya deja de poder realizarse a través de un chavetero, por lo que se pensaron algunas alternativas, como podían ser: sistemas de rudas de fricción, sistema de engranajes, sistemas de poleas con correas y sistema de engranajes con cadenas. A continuación, se detalla en que consiste cada uno de estos sistemas mencionados anteriormente.

- Sistemas de rudas de fricción:

Este mecanismo de transmisión circular consiste en dos o más ruedas que se tocan entre sí montadas sobre ejes paralelos, de modo que, mediante la fuerza que produce el rozamiento entre ambas, es posible transmitir el movimiento giratorio entre los ejes, modificando, no sólo las características de velocidad, sino también el sentido de giro. Este sistema tiene un inconveniente, solamente se puede usar cuando se transmiten pequeñas potencias, pues, por deslizamiento existe una pérdida de velocidad.

Además, el uso continuo lleva al desgaste de las ruedas, a pesar de que las ruedas están revestidas de un material especial. Sin embargo, presenta dos claras ventajas. Por una parte, el bajo costo que supone la fabricación del mecanismo y, por otro lado, es un mecanismo que ocupa poco espacio.

- Sistema de engranajes:

Los engranajes son ruedas dentadas que encajan entre sí, de modo que unas ruedas transmiten el movimiento circular a las siguientes. El tamaño de los dientes de todos los engranajes debe ser igual. Los más pequeños giran a mayor velocidad, de modo similar a las ruedas y a las poleas. Existen distintos tipos de engranajes en función de la forma de sus dientes. La transmisión de movimiento por engranajes es adecuada para transmitir grandes fuerzas porque los dientes de los engranajes no deslizan entre sí, por el contrario, en la transmisión por ruedas de fricción y poleas con correa se produce un deslizamiento, aunque en ocasiones puede ser beneficioso para absorber cambios bruscos de velocidad como acelerones o frenadas.

- Sistemas de poleas con correas:

El sistema de poleas con correa más simple consiste en dos poleas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto del rozamiento de una correa con ambas poleas. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. Las hendiduras de ambas poleas tienen el mismo tamaño y la correa entre ambas debe tener la tensión adecuada para que se transmita el movimiento. Existen multitud de tipos de correas siendo las más comunes la plana, cilíndrica, trapezoidal y dentada. La eficiencia en correas planas y dentadas puede ser de 0.98 y en correas trapeziales de 0.94 a 0.96. En este caso, la relación de transmisión en función de los diámetros de las mismas es igual que es el caso de las ruedas de fricción. Usualmente, las transmisiones por correas se emplean cuando se necesita altas velocidades de rotación, rigurosas exigencias de suavidad de trabajo, distancias entre centros relativamente grandes, transmisiones con bajo costo de inversión y mantenimiento.

- Sistema de engranajes con cadenas:

Este es un mecanismo de transmisión circular que consta de una cadena sin fin (cerrada) cuyos eslabones engranan con ruedas dentadas (piñones) que están unidas

a los ejes de los mecanismos conductor y conducido. Se comportan como las transmisiones mediante poleas y correa, pero con la ventaja de que, al ser las ruedas dentadas, la cadena no corre peligro de deslizarse. Además, la relación de transmisión se mantiene constante, precisamente, porque no existe deslizamiento y por si fuese poco tiene otra gran ventaja: la transmisión de grandes potencias (al contrario que el sistema de poleas con correas), lo que se traduce en una mayor eficiencia mecánica. Sin embargo, este mecanismo tiene inconvenientes frente al sistema de poleas: es más costoso, más ruidoso y necesita lubricación, por no hablar de la imposibilidad de invertir el giro de los engranajes. Este mecanismo es un método de transmisión muy utilizado porque permite transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes paralelos, que estén bastante separados. Es el mecanismo de transmisión que utilizan las bicicletas y motocicletas, y en muchas máquinas e instalaciones industriales.

Luego de describir las características de los cuatro posibles sistemas de vinculación entre el motor paso a paso y el eje directriz, decidimos seleccionar para nuestro caso el sistema de poleas con correa, en particular poleas y correas dentadas. Su elección se debe principalmente a que tiene una marcha silenciosa, no necesita de lubricación, desacoplamiento sencillo y bajo costo. Por lo que se optó por seleccionar los componentes que mejor se adapte a nuestros requerimientos de catálogos comerciales.

Para realizar su selección, se hicieron algunos cálculos preliminares teniendo en cuenta el diseño que se le hizo al chasis en donde va a estar alojada dicha vinculación. En primer lugar, la distancia mínima de entre centros de ejes es de 116 mm y las poleas según los calculo realizados para que no choquen ningún componente y se alojen correctamente pueden variar entre 50 mm y 80 mm su diámetro.

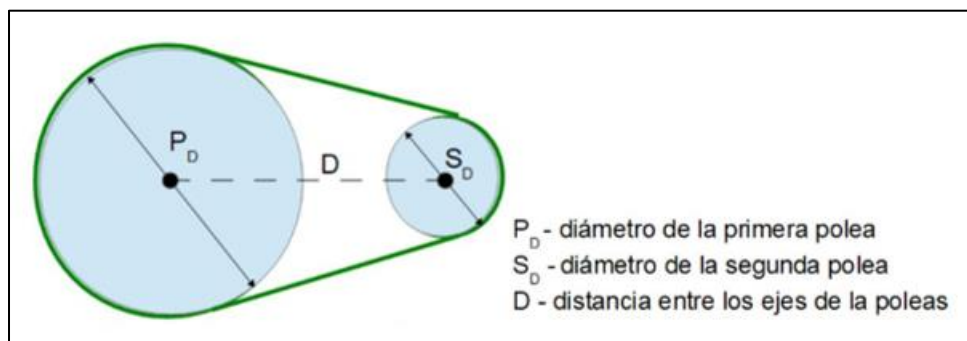


Figura 4-26: Cálculo del largo de la correa.

Para lo cual la ecuación es:

$$Largo\ correas = (P_D + S_D) \cdot \frac{\pi}{2} + (L \cdot 2) + \left(\frac{(P_D - S_D)^2}{L \cdot 4} \right) \quad (4.7)$$

Por lo que, al ser las poleas iguales el ultimo termino es cero, quedando la ecuación de la siguiente forma.

$$Largo\ correas = (P_D + S_D) \cdot \frac{\pi}{2} + (L \cdot 2)$$

Ahora bien, como tenemos un diámetro de polea máximo y otro mínimo, podemos obtener los largos de la correa para ambas condiciones. Empezamos con el máximo.

$$Largo\ correas_{MÁXIMO} = (P_D + S_D) \cdot \frac{\pi}{2} + (L \cdot 2)$$

$$Largo\ correas_{MÁXIMO} = (80\ mm + 80\ mm) \cdot \frac{\pi}{2} + (116\ mm \cdot 2)$$

$$Largo\ correas_{MÁXIMO} = 251,33\ mm + 232\ mm$$

$$\mathbf{Largo\ correas_{MÁXIMO} = 483,33\ mm}$$

Luego, el mínimo.

$$Largo\ correas_{MÍNIMO} = (P_D + S_D) \cdot \frac{\pi}{2} + (L \cdot 2)$$

$$Largo\ correas_{MÍNIMO} = (50\ mm + 50\ mm) \cdot \frac{\pi}{2} + (116\ mm \cdot 2)$$

$$Largo\ correas_{MÍNIMO} = 157,08\ mm + 232\ mm$$

$$\mathbf{Largo\ correas_{MÍNIMO} = 389,08\ mm}$$

Por lo que la longitud de la correa debería estar entre:

$$Largo\ correas_{MÍNIMO} < \mathbf{Largo\ correas} < Largo\ correas_{MÁXIMO}$$

$$389,08\ mm < \mathbf{Largo\ correas} < 483,33\ mm$$

En tanto el diámetro de la polea debería estar entre:

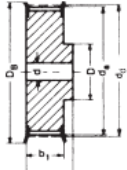
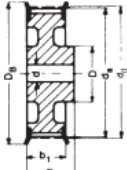
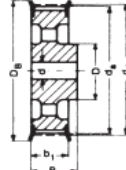
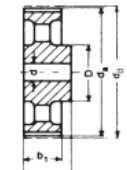
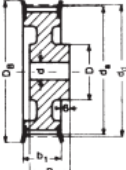
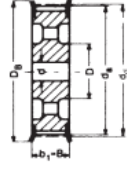
$$\varnothing POLEA_{MÍNIMO} < \varnothing POLEA < \varnothing POLEA_{MÁXIMO}$$

$$50 \text{ mm} < \varnothing POLEA < 80 \text{ mm}$$

Por lo que ambos componentes los seleccionamos del catálogo comercial de la marca Optibelt [ver [Anexo A](#)], la cual comercializa Rosario Agro Industrial S.R.L.

Los elementos seleccionados fueron:

- POLEA 22 L 075

					
Type 6F	Type 6WF	Type 6AF	Type 6A	Type 6CWF	Type 10AF

Type L – Pitch 9,525 mm for belt width 075														
Part No.	No. of teeth	Type	Material	d _d (mm)	d _a (mm)	D _B (mm)	b ₁ (mm)	B (mm)	D (mm)	Pilot bore d (mm)	Finished bore d _{max} (mm)	Weight (= kg)	Euro each	£ each
10 L 075	10	6F	St	30.32	29.59	36	25	32	22	6	13	0.15		
12 L 075	12	6F	St	36.38	35.62	42	25	32	28	8	17	0.23		
13 L 075	13	6F	St	39.41	38.65	44	25	32	30	8	19	0.26		
14 L 075	14	6F	St	42.45	41.68	48	25	32	33	8	20	0.32		
15 L 075	15	6F	St	45.48	44.72	51	25	32	36	8	23	0.35		
16 L 075	16	6F	St	48.51	47.75	54	25	32	38	8	23	0.42		
17 L 075	17	6F	St	51.54	50.78	57	25	32	40	10	24	0.45		
18 L 075	18	6F	St	54.57	53.81	60	25	32	40	10	24	0.51		
19 L 075	19	6F	St	57.61	56.84	60	25	32	40	10	24	0.57		
20 L 075	20	6F	St	60.64	59.88	66	25	32	46	10	28	0.63		
21 L 075	21	6F	St	63.67	62.91	71	25	32	46	10	28	0.70		
22 L 075	22	6F	St	66.70	65.94	75	25	32	50	10	30	0.75		
24 L 075	24	6F	St	72.77	72.00	79	25	32	50	12	30	0.85		
26 L 075	26	6F	St	78.83	78.07	87	25	32	50	12	30	1.00		
28 L 075	28	6F	St	84.89	84.13	91	25	32	50	12	30	1.20		

Figura 4-27: Selección de la polea comercial.

▪ CORREA 187L 16 MM

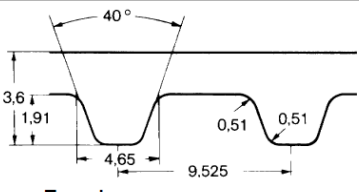
 Type L (nominal dimensions - mm)									
Type L - pitch 9,525 mm									
Belt No.	Pitch length		Number of teeth	1/2" width ≈ 12,7 mm Code No. 050		3/4" width ≈ 19,05 mm Code No. 075		1" width ≈ 25,4 mm Code No. 100	
	(inch)	(mm)		Euro/each	£/each	Euro/each	£/each	Euro/each	£/each
109 L	10,88	276,23	29						
124 L	12,38	314,33	33						
150 L	15,00	381,00	40						
169 L	16,88	428,63	45						
187 L	18,75	476,25	50						
210 L	21,00	533,40	56						
225 L	22,50	571,50	60						
236 L	23,63	600,08	63						
240 L	24,00	609,60	64						

Figura 4-28: Selección de la correa comercial.

A la hora de solicitar la cotización de un presupuesto, notamos que las poleas se iban de presupuesto. Por lo que compramos las correas y decidimos imprimir las poleas en impresión 3D en el Espacio Maker de la facultad, lo cual es más económico. Dicha modificación se realizó debido a que las poleas no van a estar trabajando constantemente, la velocidad de giro no es muy grande, también reducimos el peso de dichos componentes y, sin dejar de lado, las realizadas a través de impresión 3D son más económicas.

Para vincular dicho sistema a nuestro diseño optamos por realizarlo a través de chaveteros, vinculando las poleas a los ejes, tanto del motor paso a paso como del módulo de dirección. A continuación, se muestra el ensamblaje realizado.

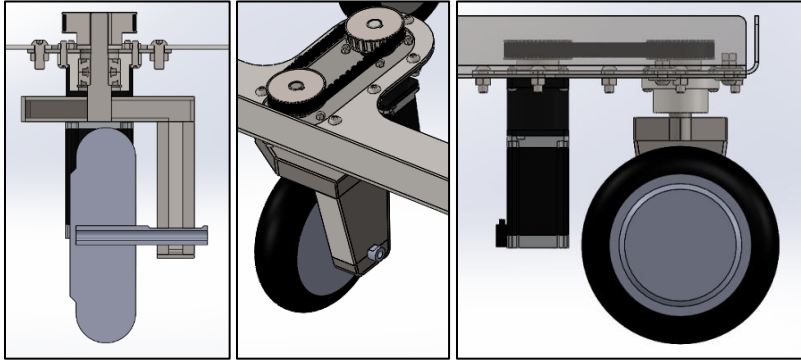


Figura 4-29: Ensamblaje final acoplamiento módulo de dirección y tracción.

Dicho acoplamiento, en principio, fue diseñado para el caso del triciclo y el omnidireccional. Por lo que diseñamos también un vínculo para el caso de tracción diferencial a modo de poder usar los mismos componentes.

La idea era utilizar los mismos materiales que se utilizan en las otras dos configuraciones, por lo que diseñamos una especie de cubo mecanizado que vincula el módulo de tracción al chasis impidiéndole el giro del mismo. Ya que es más preciso y de esta forma evitamos que ante un golpe o un obstáculo la rueda se gire teniendo el motor bloqueado.

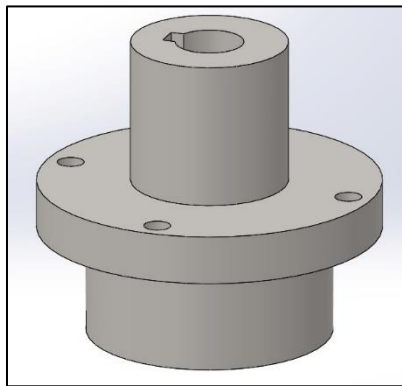


Figura 4-30: Cubo mecanizado para el modelo de tracción diferencial.

Por lo que, al ensamblarlo en el modelo, la vinculación entre el chasis y el módulo de tracción en la configuración de tracción diferencial quedaría de la siguiente forma.

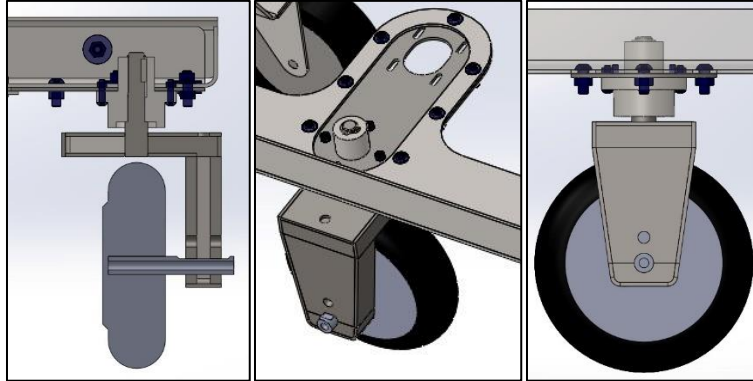


Figura 4-31: Ensamblaje final acoplamiento módulo de dirección y tracción para el modelo de tracción diferencial.

4.4. Ensamblajes de componentes

4.4.1. Modelo Triciclo

A continuación, se muestran unas imágenes representativas del prototipo tipo triciclo.

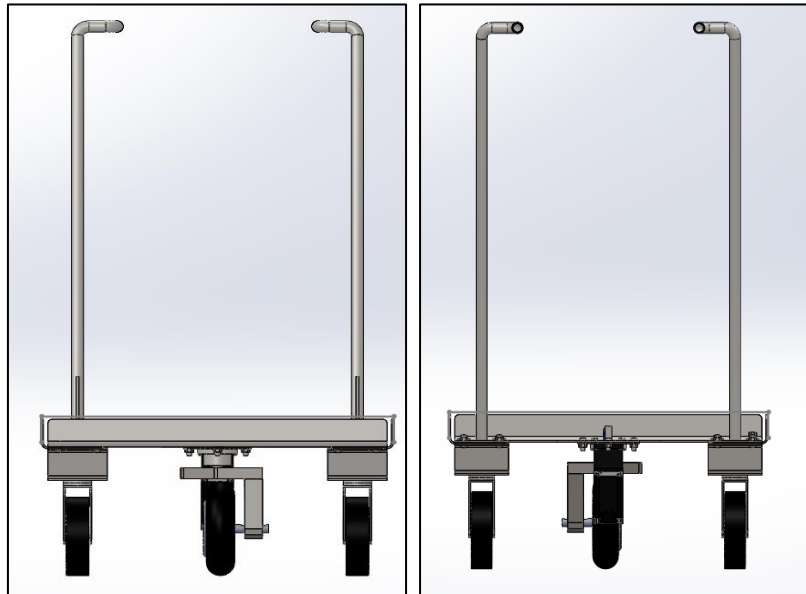


Figura 4-32: Vista frontal y trasera del ensamblaje tipo triciclo.

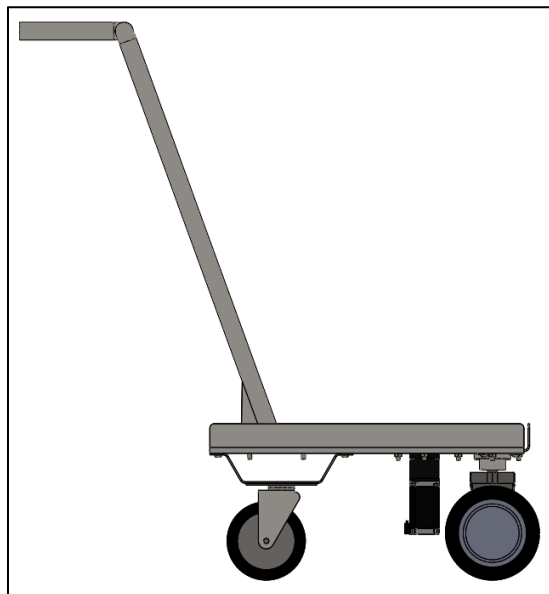


Figura 4-33: Vista lateral del ensamblaje tipo triciclo.

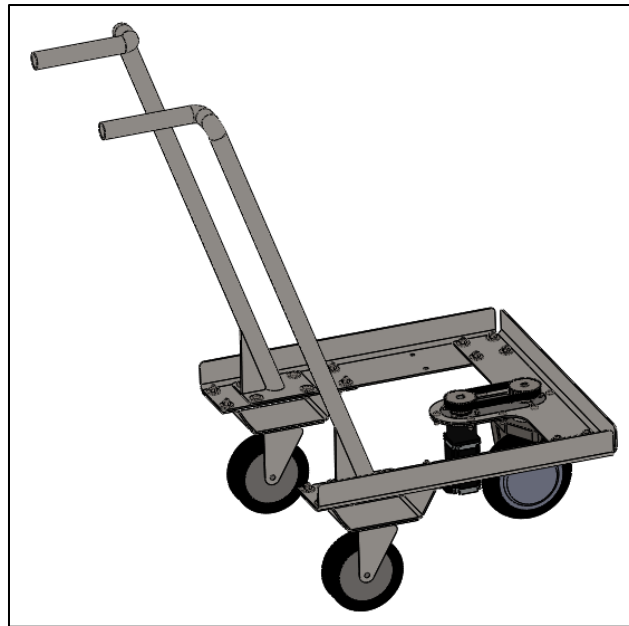


Figura 4-34: Vista isométrica del ensamblaje tipo triciclo.

4.4.2. Modelo Omnidireccional

A continuación, se muestran unas imágenes representativas del prototipo omnidireccional.

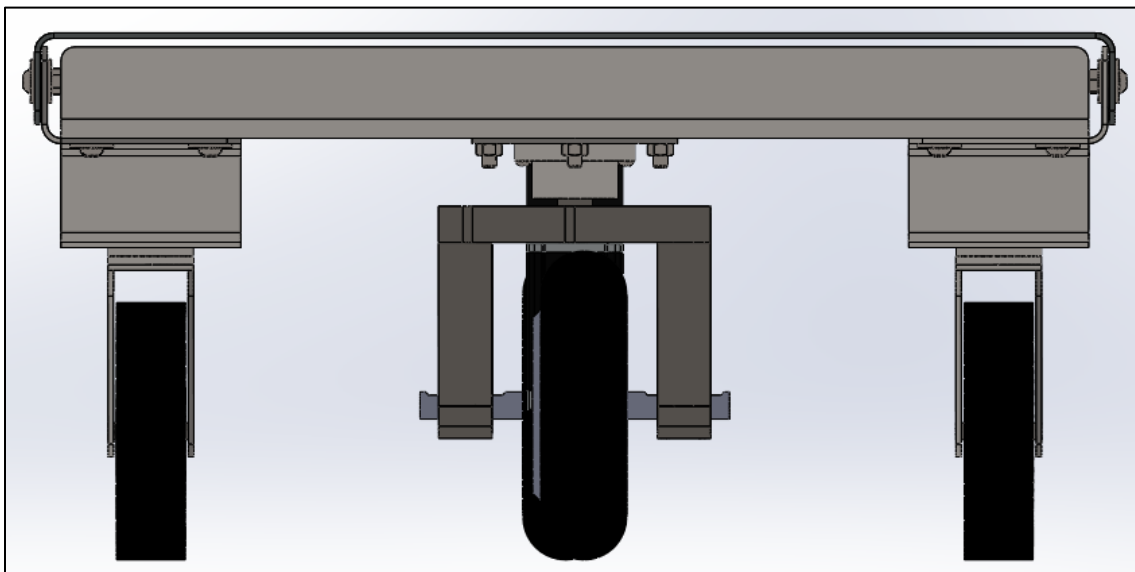


Figura 4-35: Vista frontal del ensamblaje tipo omnidireccional.

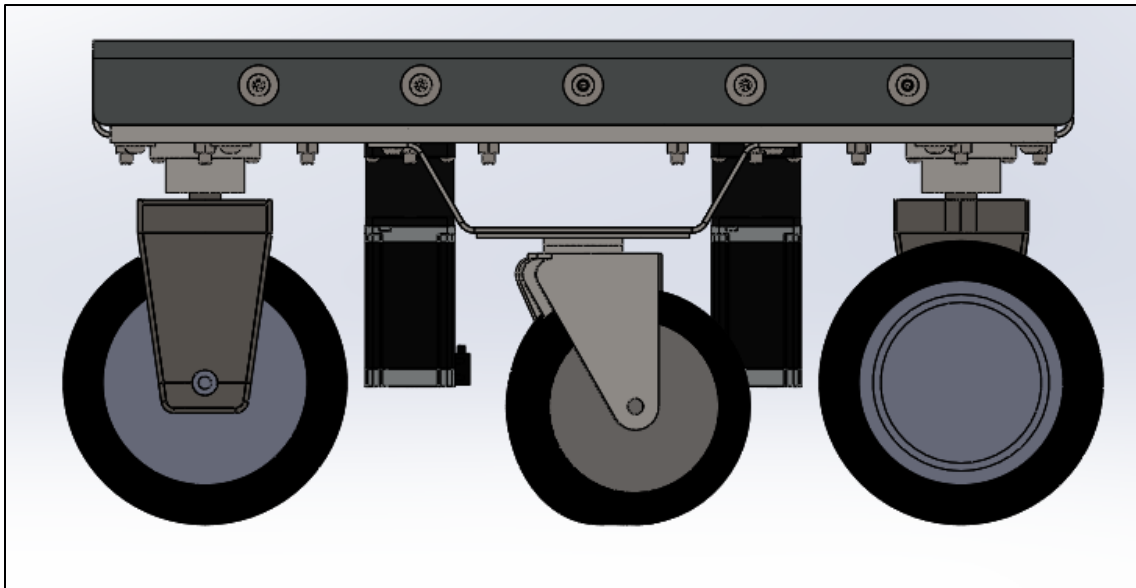


Figura 4-36: Vista lateral del ensamblaje tipo omnidireccional.

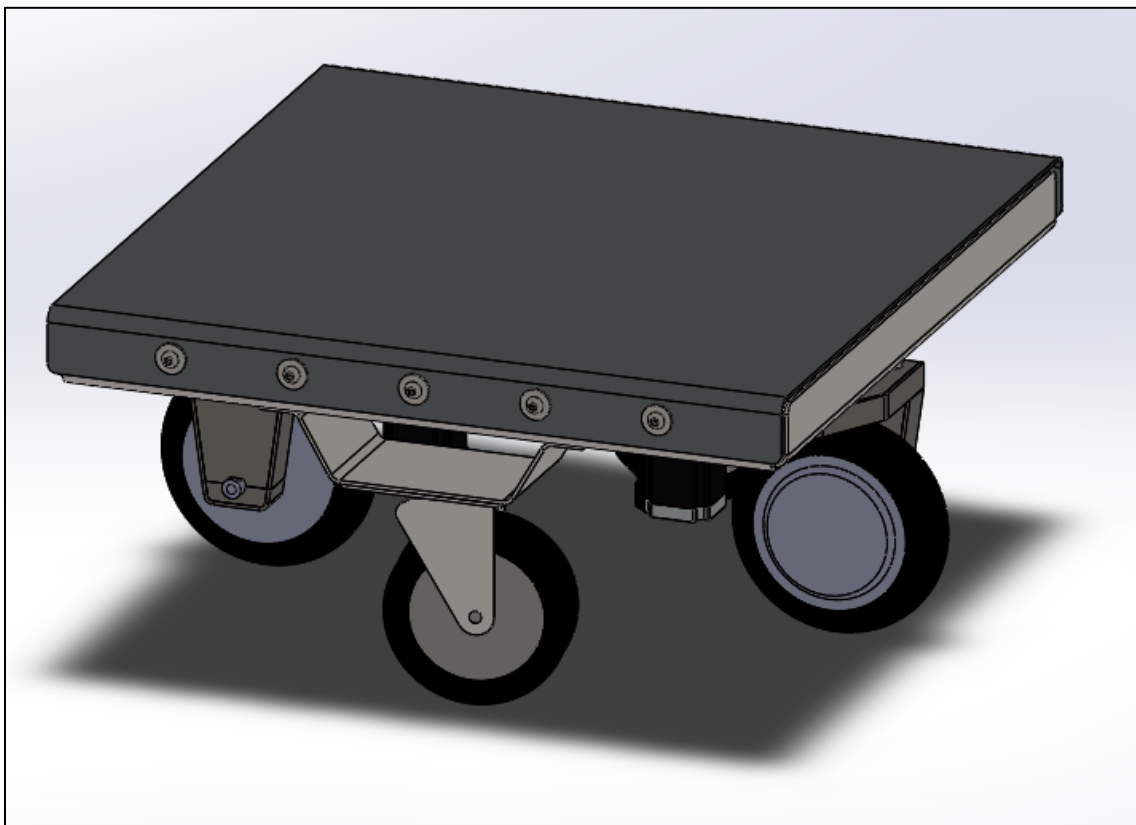


Figura 4-37: Vista isométrica del ensamblaje tipo omnidireccional.

4.4.3. Modelo de Tracción diferencial

A continuación, se muestran unas imágenes representativas del prototipo omnidireccional.

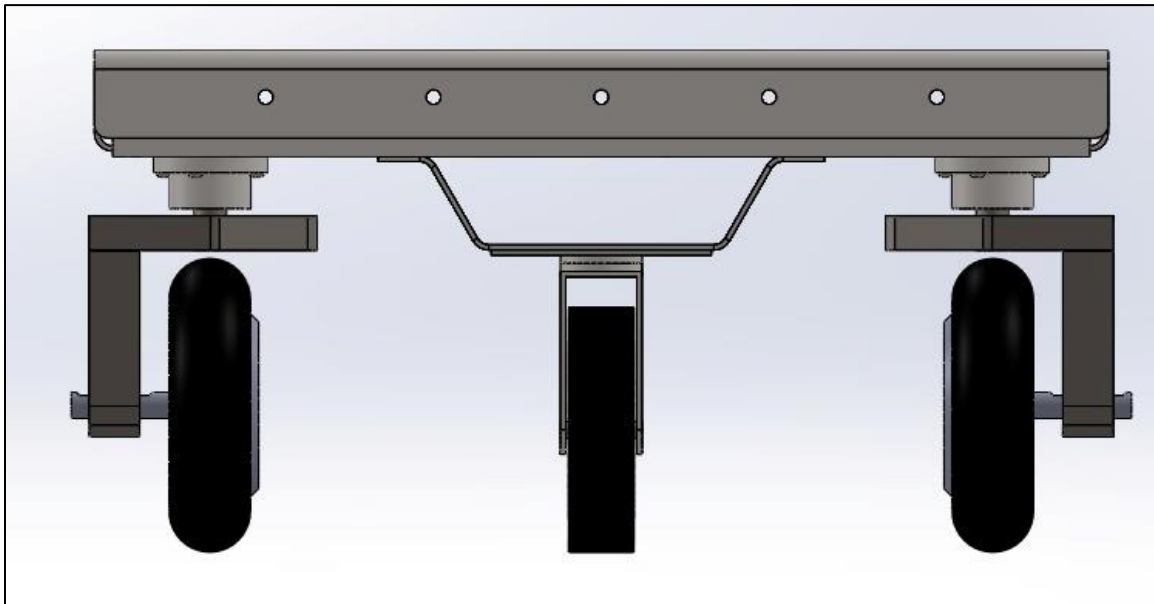


Figura 4-38: Vista frontal del ensamblaje tipo tracción diferencial.

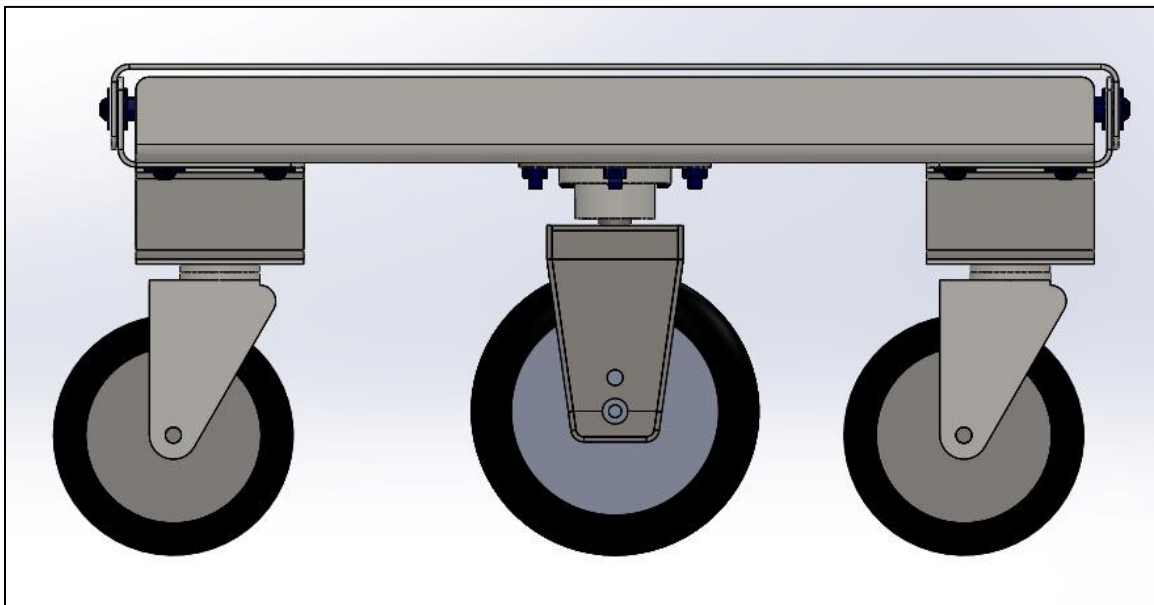


Figura 4-39: Vista lateral del ensamblaje tipo tracción diferencial.

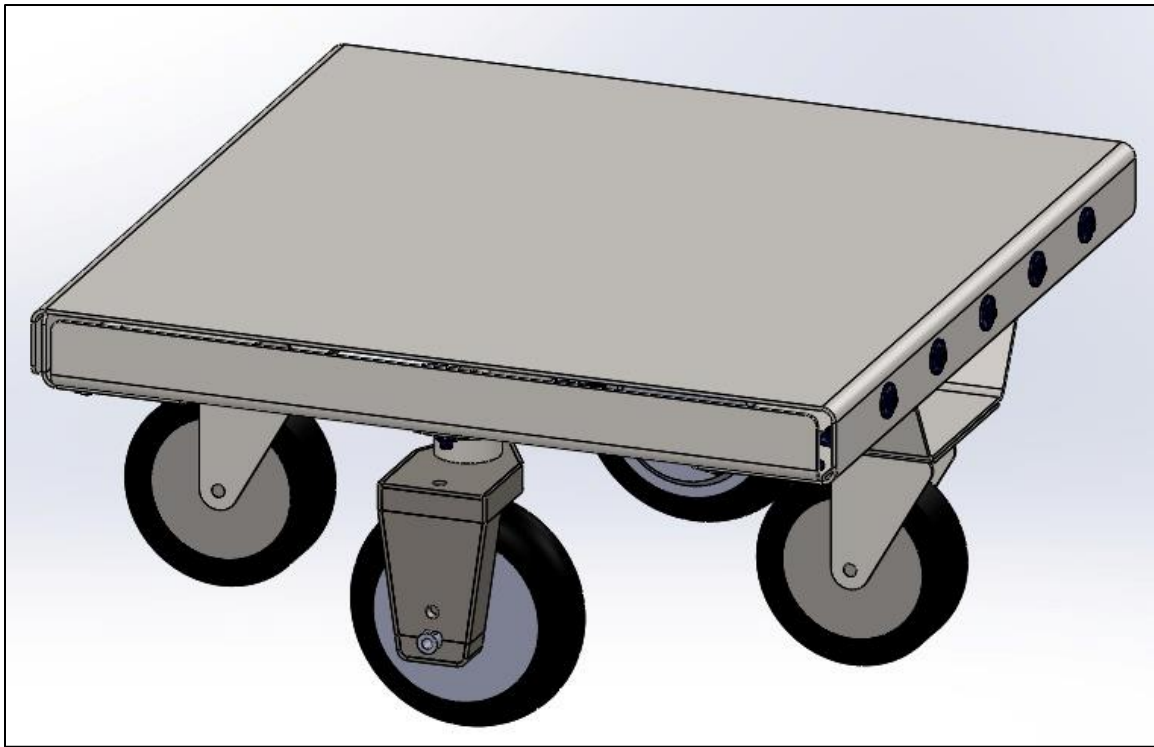


Figura 4-40: Vista isométrica del ensamblaje tipo tracción diferencial.

Capítulo 5: Validaciones de la solución

Para poder realizar una validación del diseño adoptado, se plantean simulaciones estáticas, para ello se implementó el software SolidWorks.

A la hora de realizar las simulaciones estáticas de los prototipos diseñados anteriormente, nos encontramos con un error a la hora de correr la simulación. Se realizaron varias modificaciones tanto en los parámetros de mallado como en el ensamblaje para evitar dicho error, pero sin embargo el mismo seguía estando y no nos permitía realizar la misma. Por lo que decidimos llevar a cabo la simulación en varias etapas. En primer lugar, realizamos la simulación sobre el chasis y aplicando como fuerzas esos resultados obtenidos realizamos la del módulo de tracción – dirección, como se describe a continuación.

5.1. Chasis

En primera instancia se procede a simular las condiciones de carga del modelo omnidireccional (dos ruedas de tracción y dirección, y dos ruedas libres). Se optó por aplicar una carga en toda la base del modelo simulando el peso de un objeto, y también aplicarla en zonas puntuales llevando las simulaciones a la peor condición posible.

A continuación, se muestran los parámetros que se setearon para realizar la primera simulación que corresponde a la de “carga distribuida”. En los próximos estudios los parámetros son iguales exceptuando la ubicación de la carga por lo que se muestran los resultados en un cuadro comparativo.

Carga distribuida

En dicho estudio se aplica la carga en toda la superficie.

Fuerza aplicada en toda la superficie: 100 kgf.

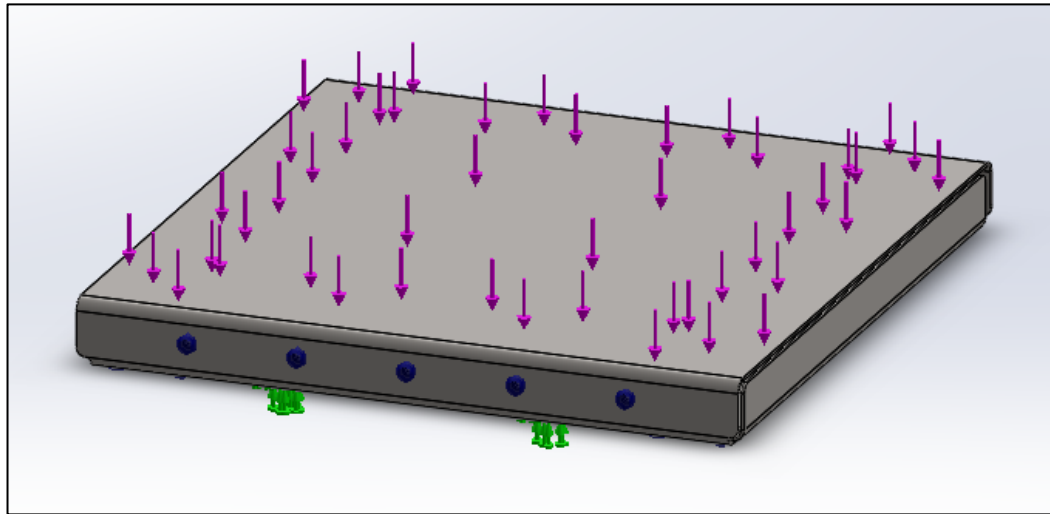


Figura 5-1: Carga distribuida en chasis.

Sujeciones: Se procede a realizar una geometría fija simulando la sujeción de las ruedas como se muestra en la *Figura 5-2*.

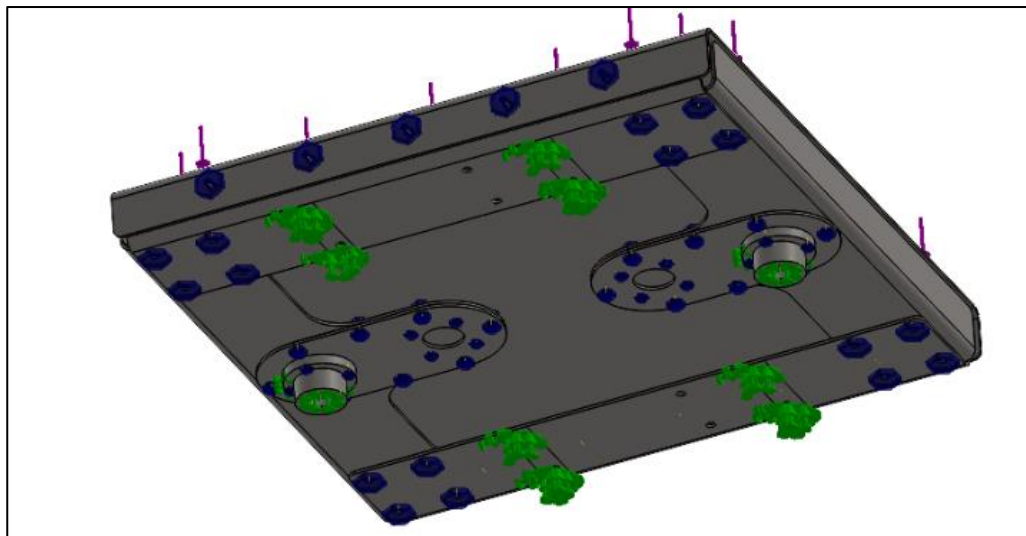


Figura 5-2: Sujeciones fijas simulando ubicación de las ruedas.

Mallado: Se muestra una imagen del mismo con la densidad seteada.

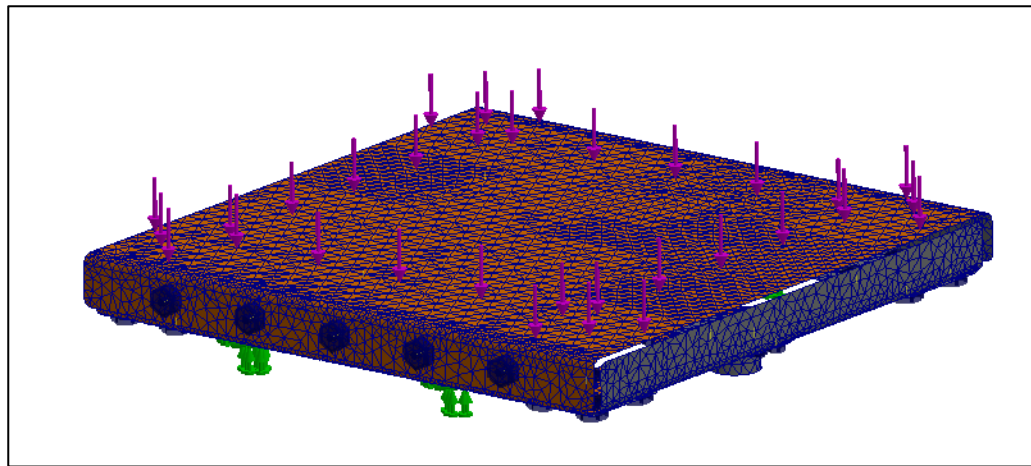


Figura 5-3: Mallado.

Resultados obtenidos:

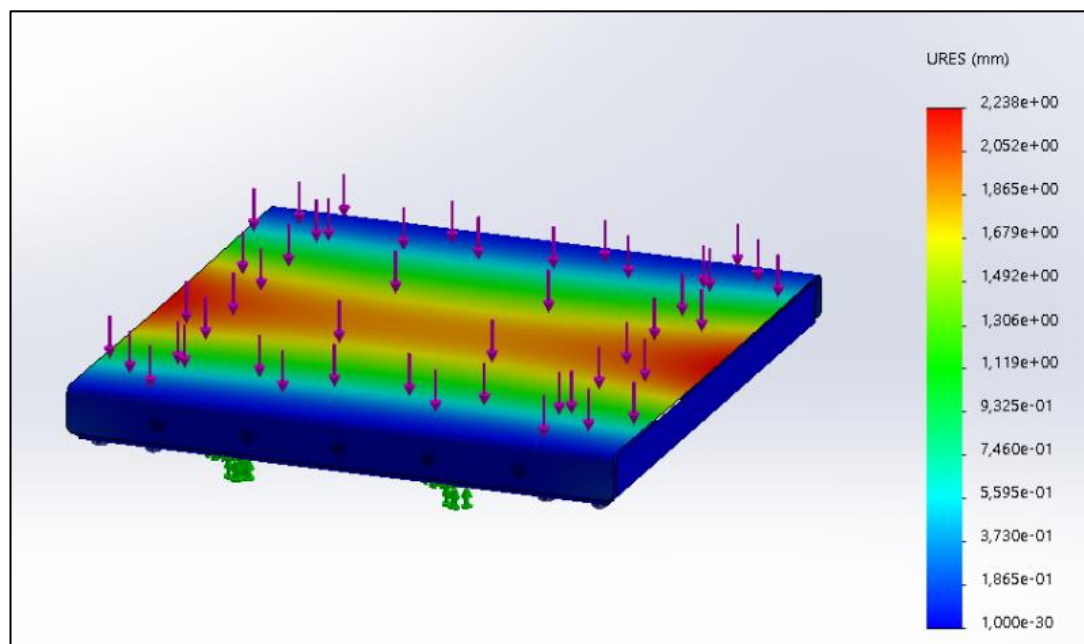


Figura 5-4: Resultados de deformación con carga distribuida.

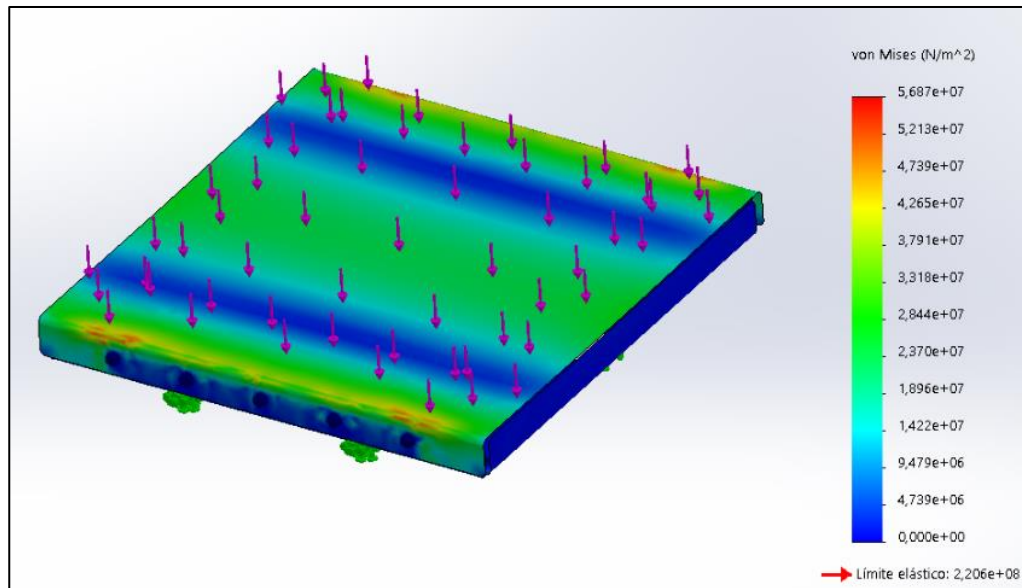


Figura 5-5: Distribución de tensiones con carga distribuida.

Los resultados de deformaciones tanto como de distribución de tensiones para el caso de carga distribuida nos otorgan valores aceptables en cuanto a la resistencia y al límite elástico del material.

Carga concentrada en el lateral

Para este caso se analiza la situación en la que toda la carga de 100 kgf. está concentrada en un lateral de la base.

El área seteada es de 250 mm x 250 mm.

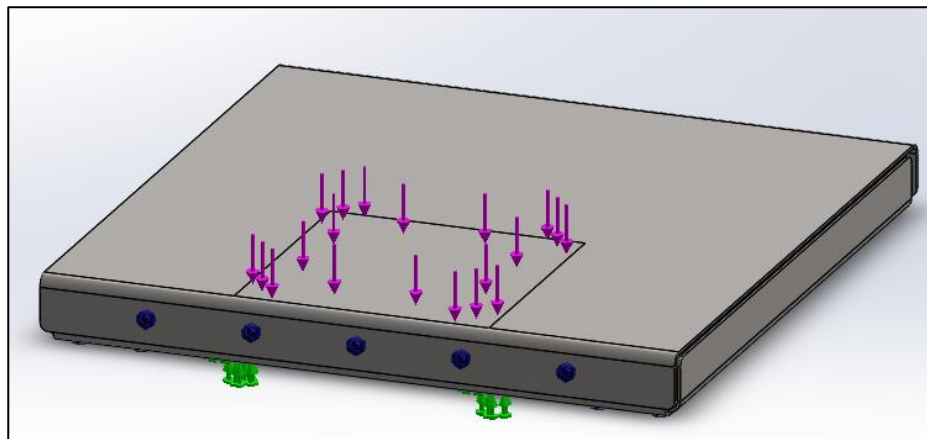


Figura 5-6: Ubicación de carga concentrada lateral.

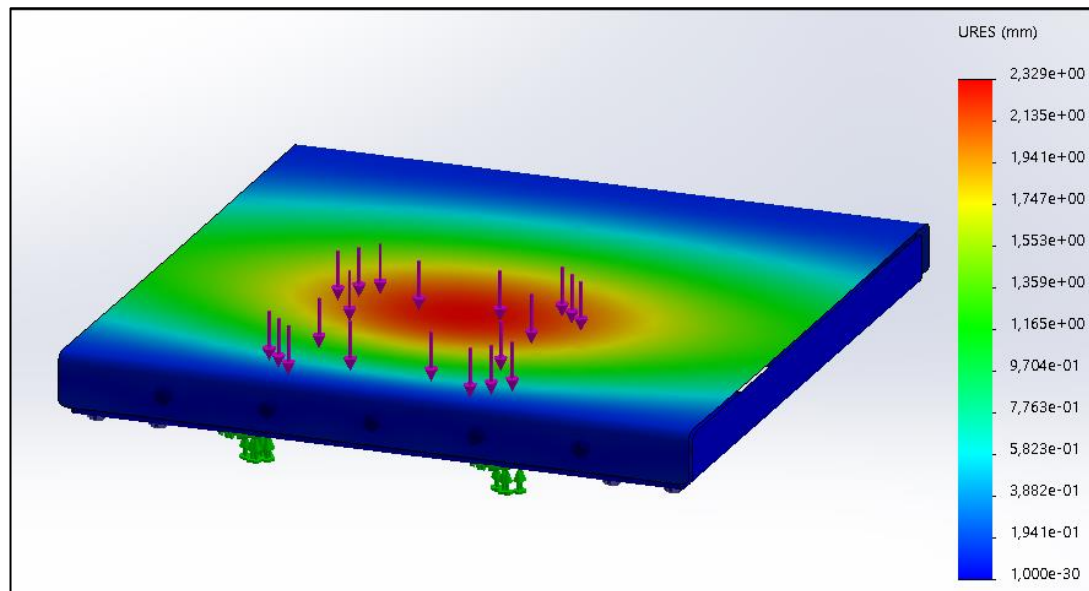
Resultados obtenidos:

Figura 5-7: Resultados de deformaciones con carga lateral.

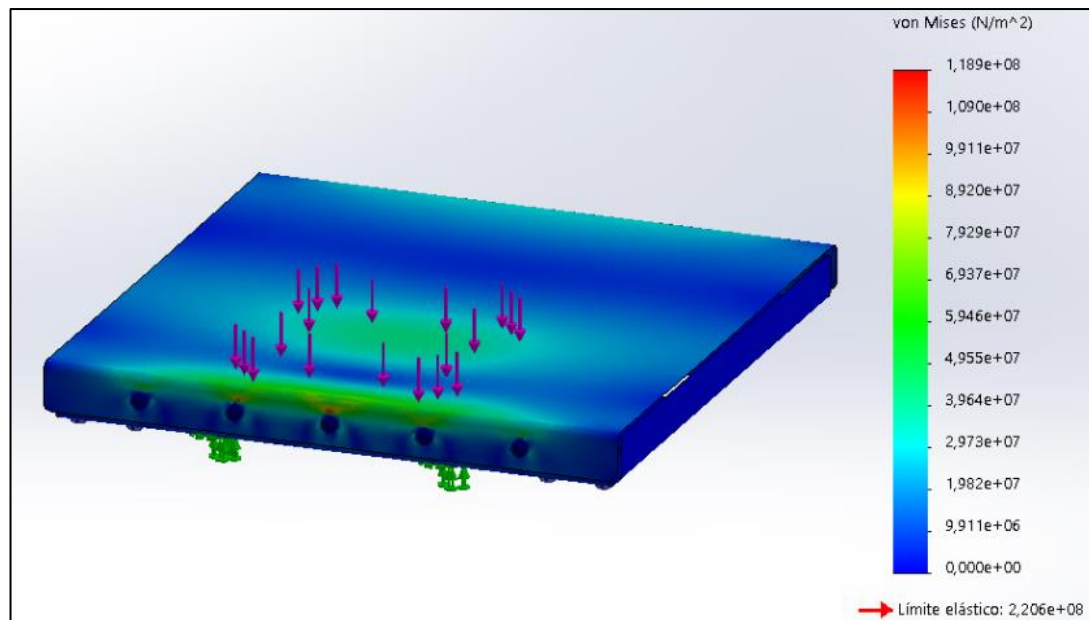


Figura 5-8: Distribución de tensiones con carga lateral.

Los resultados de deformaciones tanto como de distribución de tensiones para el caso de carga concentrada lateral, también nos otorgan valores aceptables en cuanto a la resistencia y al límite elástico del material.

Carga concentrada frontal

Para este caso se analiza la situación en la que toda la carga de 100 kgf. está concentrada en la parte frontal de la base.

El área seteada es de 250 mm x 250 mm.

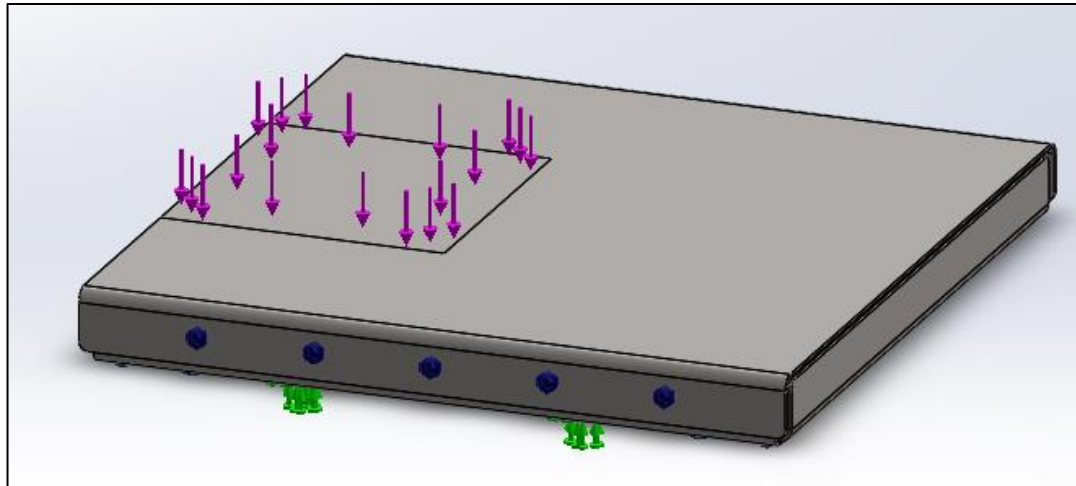


Figura 5-9: Ubicación de carga concentrada frontal.

Resultados obtenidos:

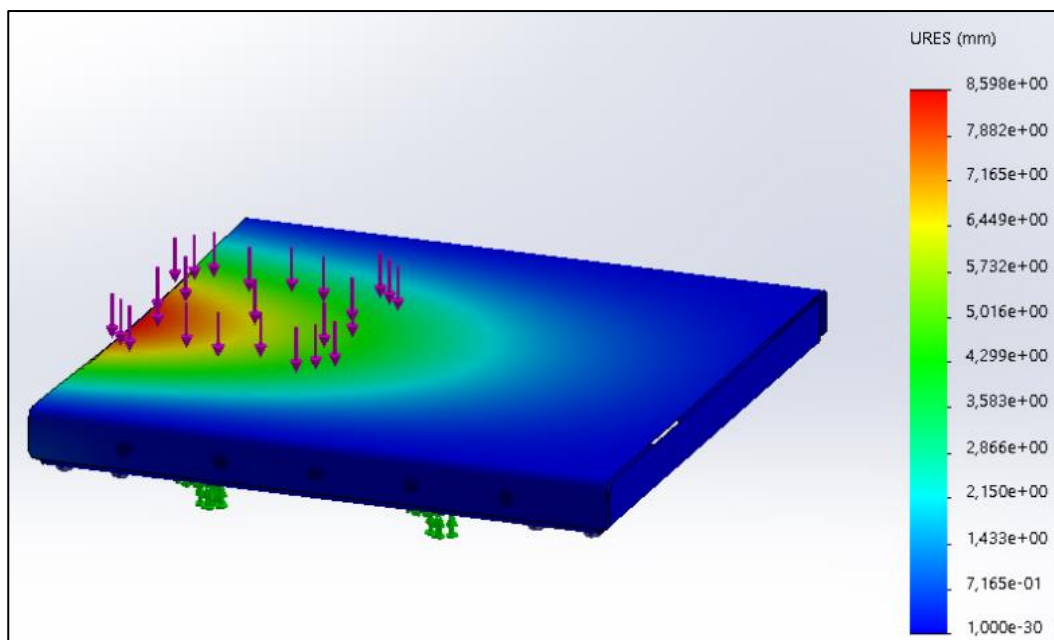


Figura 5-10: Resultado de deformaciones con carga frontal.

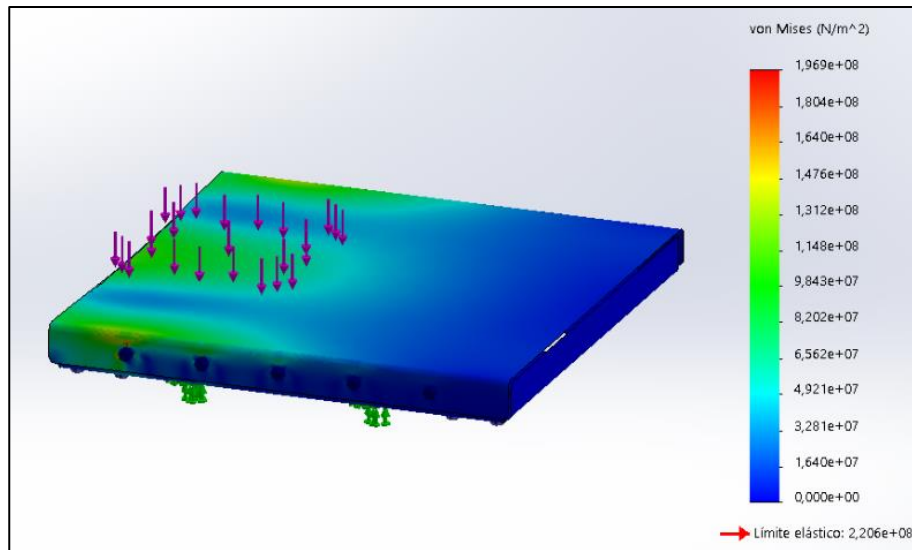


Figura 5-11: Distribución de tensiones con carga frontal.

Los resultados de deformaciones tanto como de distribución de tensiones para el caso de carga concentrada frontal, también nos otorgan valores aceptables en cuanto a la resistencia y al límite elástico del material.

Carga concentrada central

Para este caso se analiza la situación en la que toda la carga de 100 kgf. está concentrada en el centro de la base.

El área seteada es de 250 mm x 250 mm.

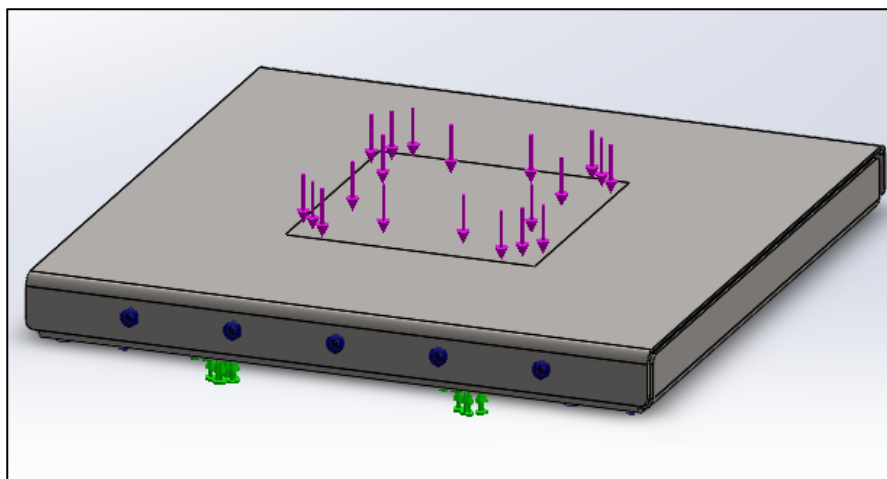


Figura 5-12: Ubicación de carga concentrada central.

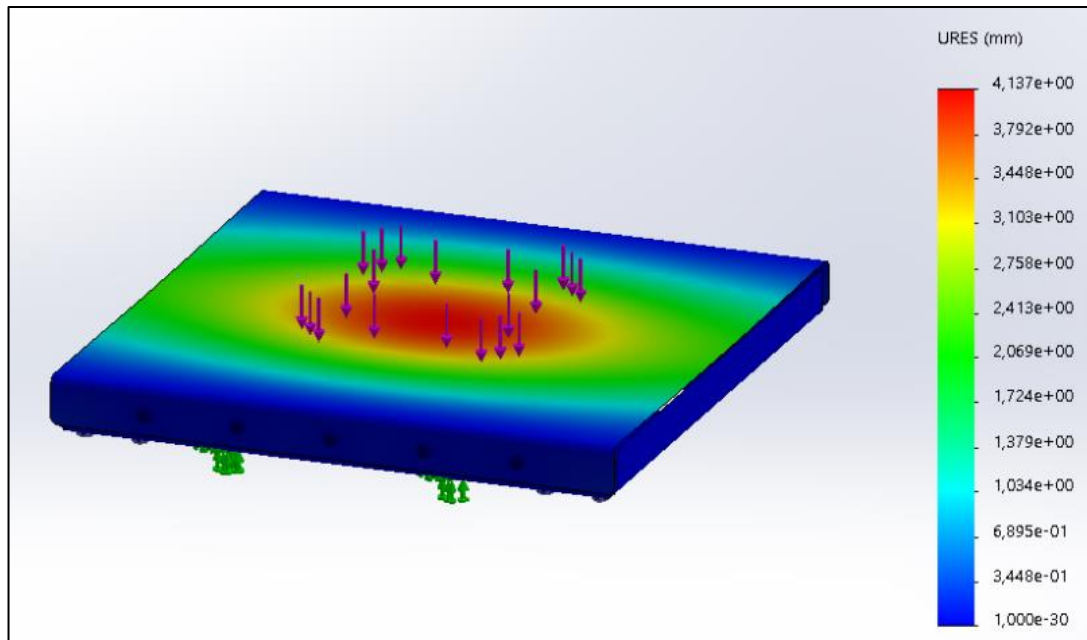


Figura 5-13: Resultado de deformaciones con carga central concentrada.

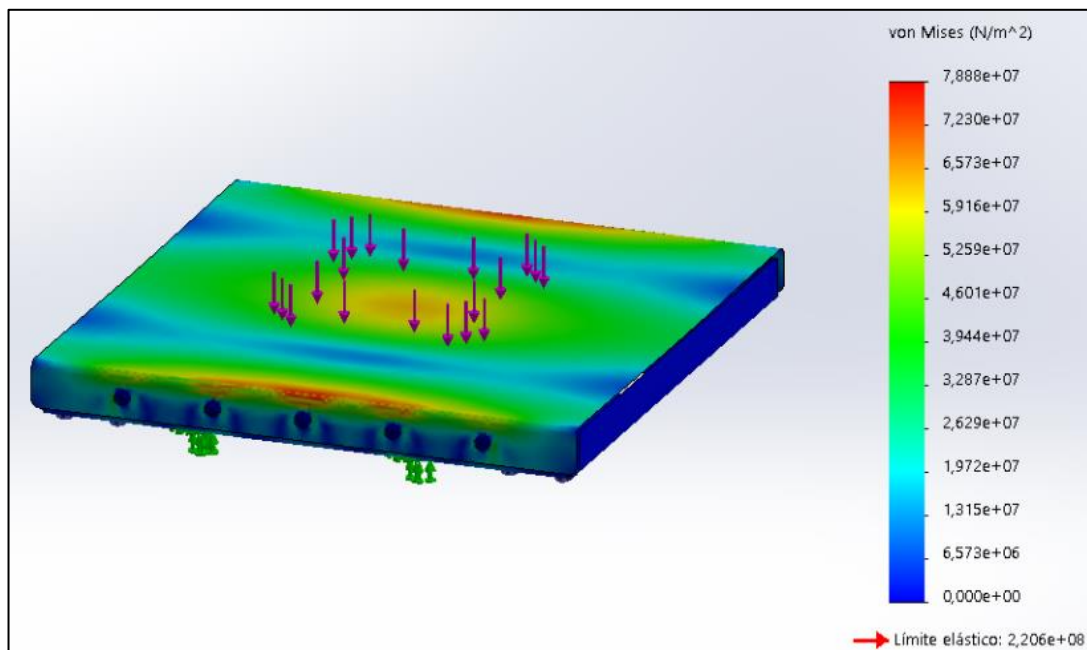


Figura 5-14: distribución de tensiones con carga central concentrada.

Los resultados de deformaciones tanto como de distribución de tensiones para el caso de carga concentrada central, también nos otorgan valores aceptables en cuanto a la resistencia y al límite elástico del material.

Resumen de resultados

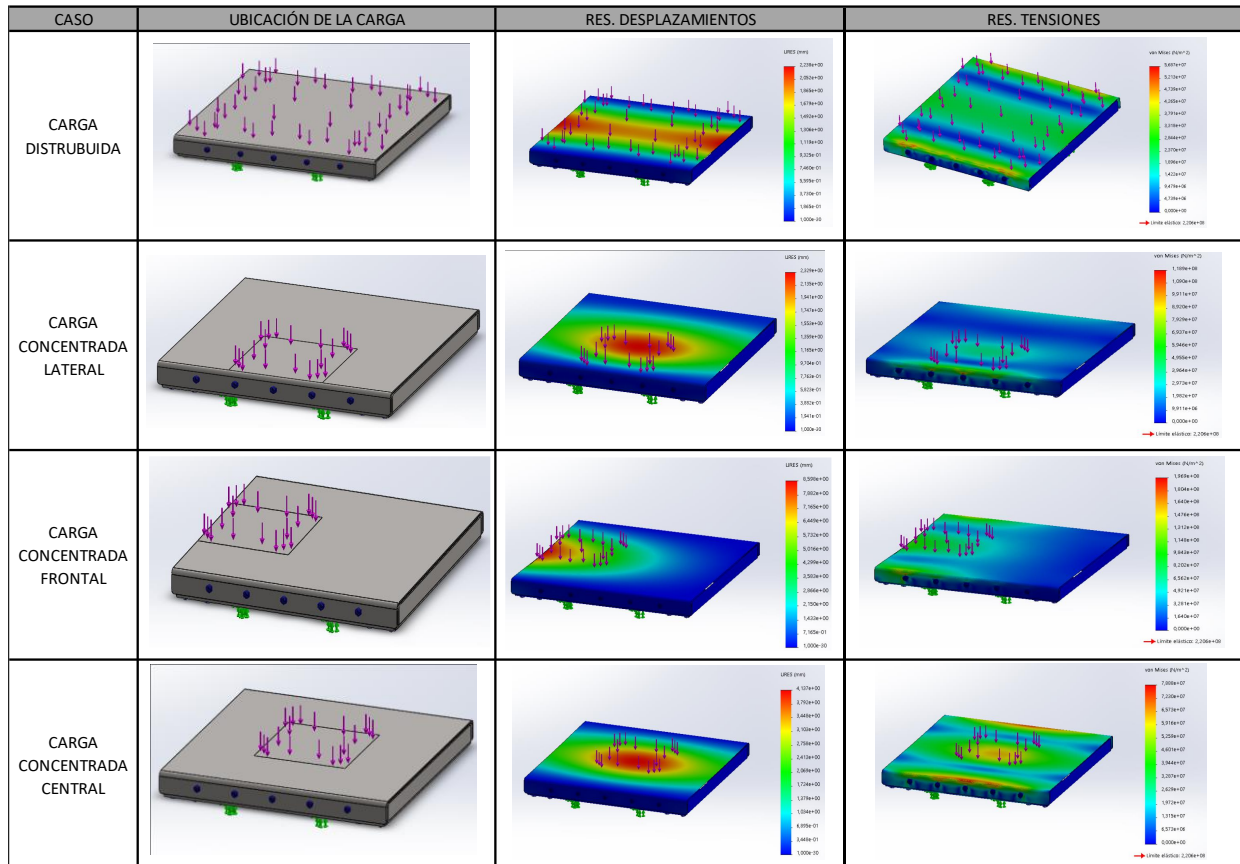


Figura 5-15: Comparativa de estudios.

5.2. Módulo de tracción – dirección

Modelo:

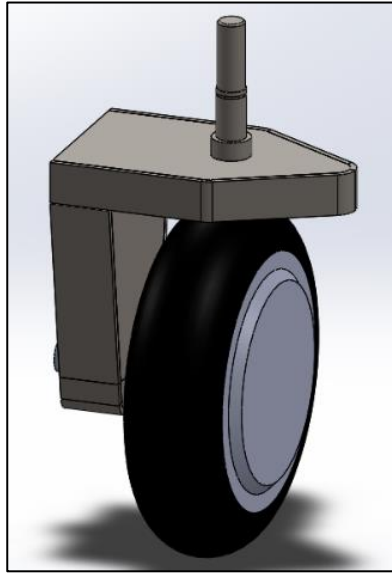


Figura 5-16: Módulo de tracción – dirección.

Condiciones de borde:

- Fuerza: Carga normal de 3,4 kgf. y un torque de 0,14 Nm.
- Sujeciones: Se aplica una restricción fija en el eje de la rueda.

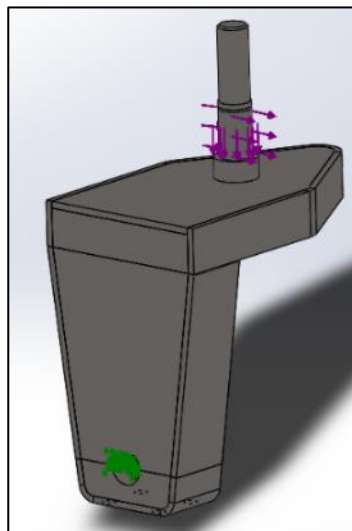
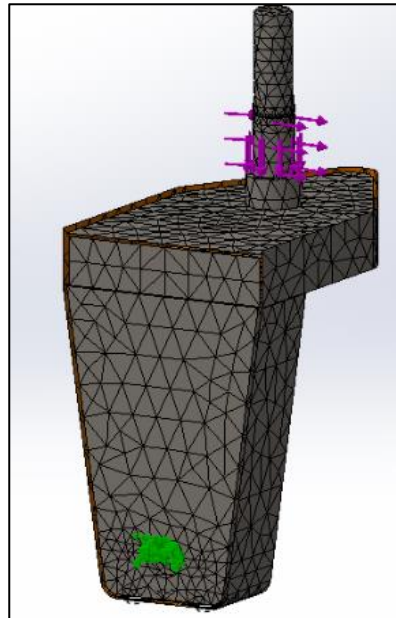
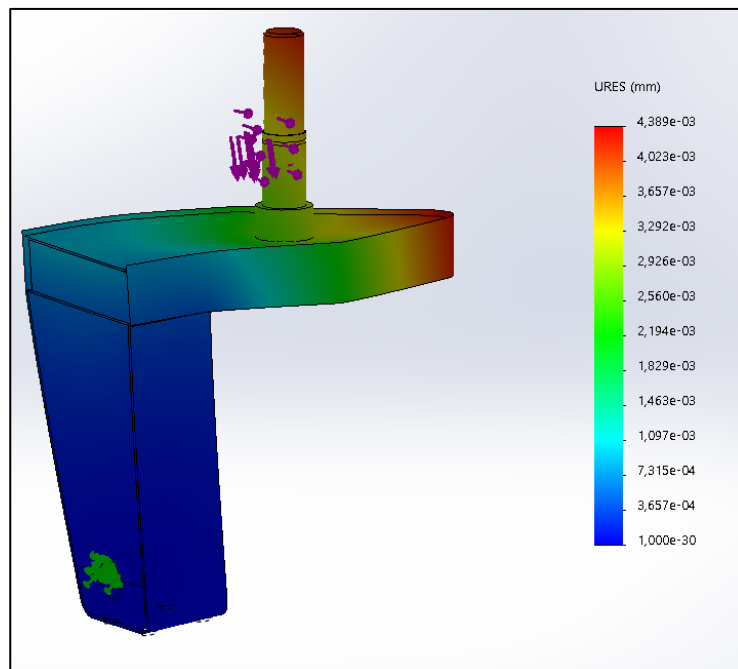


Figura 5-17: Ubicación de cargas y sujeciones.

Mallado:*Figura 5-18: Resultado de mallado.*

Desplazamientos: Se obtiene un máximo de 0,004389 mm en la zona más comprometida lo cual entendemos que está dentro de los parámetros aceptables.

*Figura 5-19: Resultado de deformaciones.*

Tensiones: La máxima es de $2,1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ siendo considerablemente inferior al límite elástico del material.

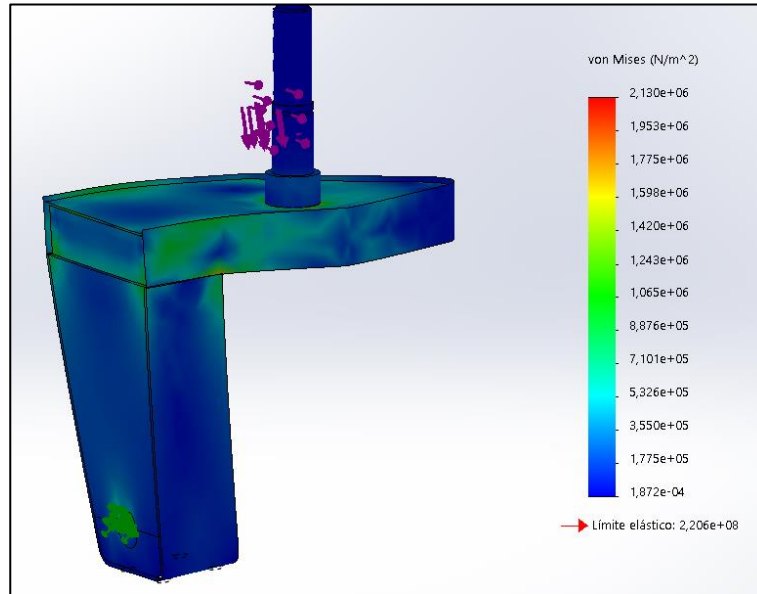


Figura 5-20: Distribución de tensiones.

Por lo tanto, los resultados de deformaciones tanto como de distribución de tensiones para el módulo de tracción – dirección, nos otorgan valores aceptables en cuanto a la resistencia y al límite elástico del material.

5.3. Ensamblaje

5.3.1. Modelo triciclo

A continuación, procedemos a simular la versión llamada “triciclo”.

Esta versión, como se explicó anteriormente tiene la rueda delantera compuesta por ambos módulos, de tracción y dirección, y dos ruedas de acompañamiento laterales fijas.

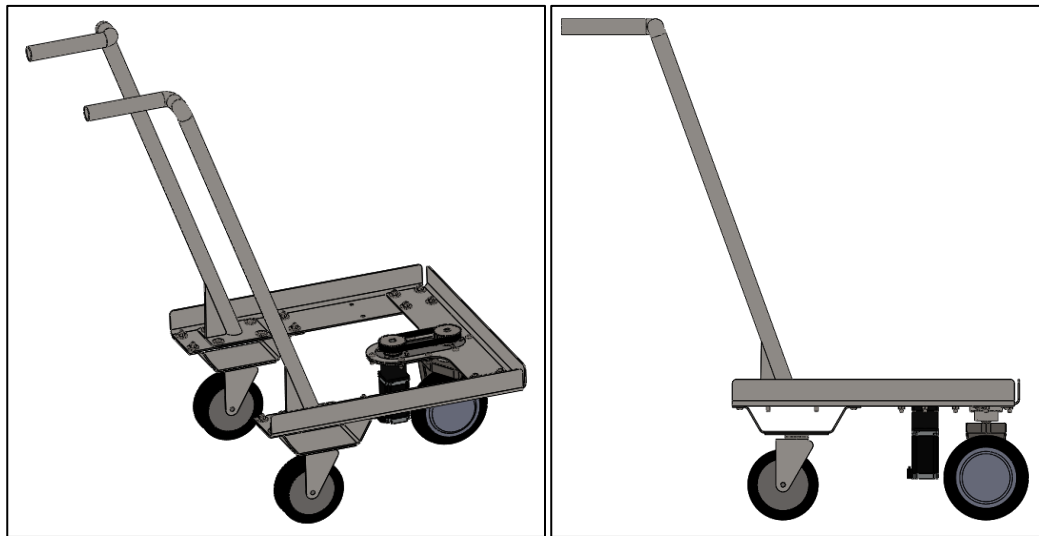


Figura 5-21: Ensamblaje del modelo “triciclo”.

Condiciones de borde:

- Fuerza: 30 kg.
Se considera en este caso un estimativo del peso que puede aplicarle una persona promedio, teniendo en cuenta que solo se apoya en los brazos del prototipo.
- Sujeciones: Se aplican sujeciones fijas en la ubicación teórica de las ruedas laterales.

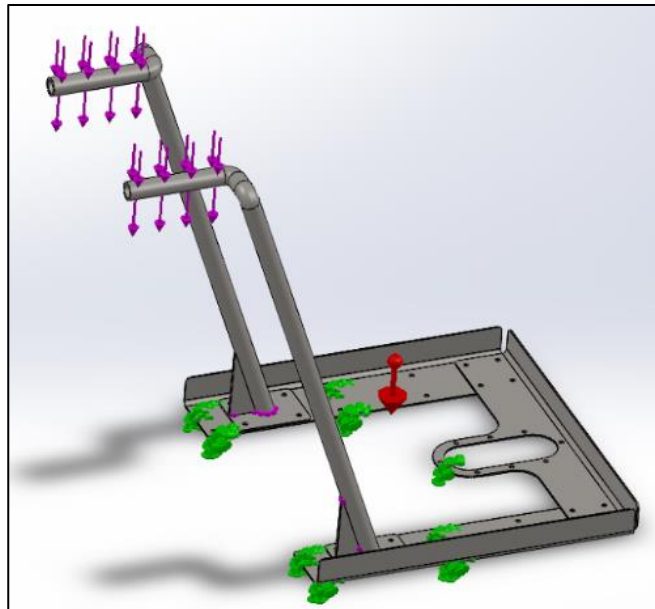


Figura 5-22: Ubicación de cargas y sujeciones.

Mallado:

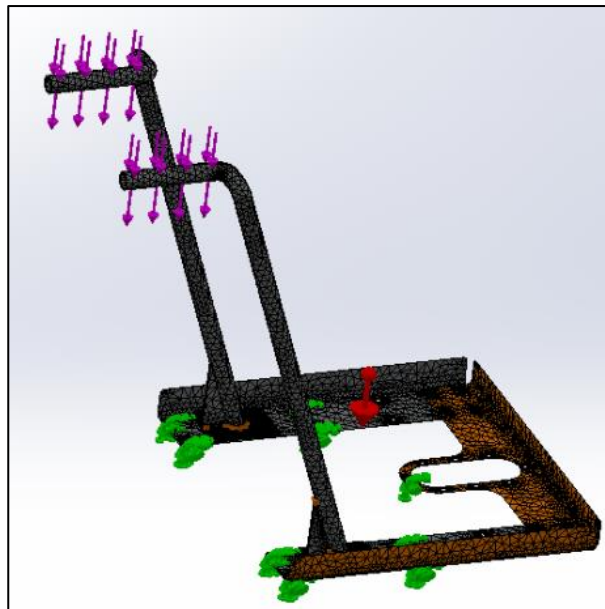


Figura 5-23: Resultado de mallado.

Resultados:

Desplazamientos: Como vemos se da un máximo de 7,4 mm en la zona de agarre lo cual entendemos que está dentro de los límites admisibles.

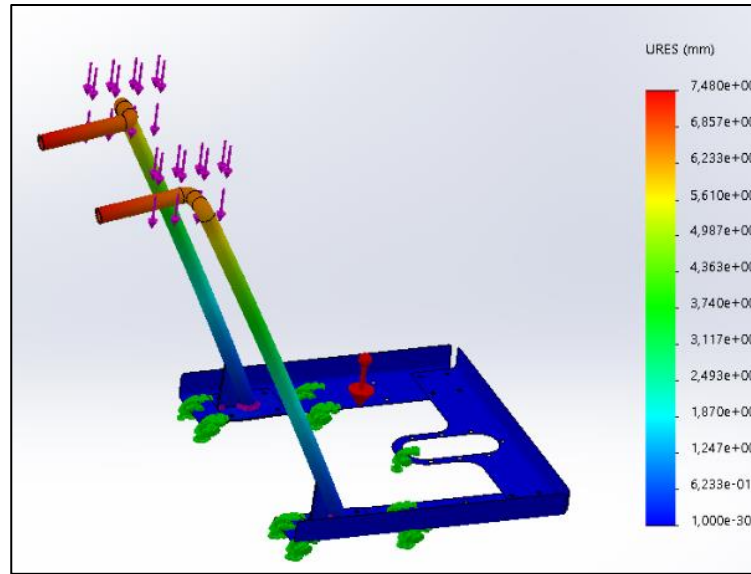


Figura 5-24: Resultado de deformaciones.

Tensiones: Se observa en este caso que se tienen tensiones máximas de aproximadamente $1,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ estando las mismas por debajo del límite elástico.

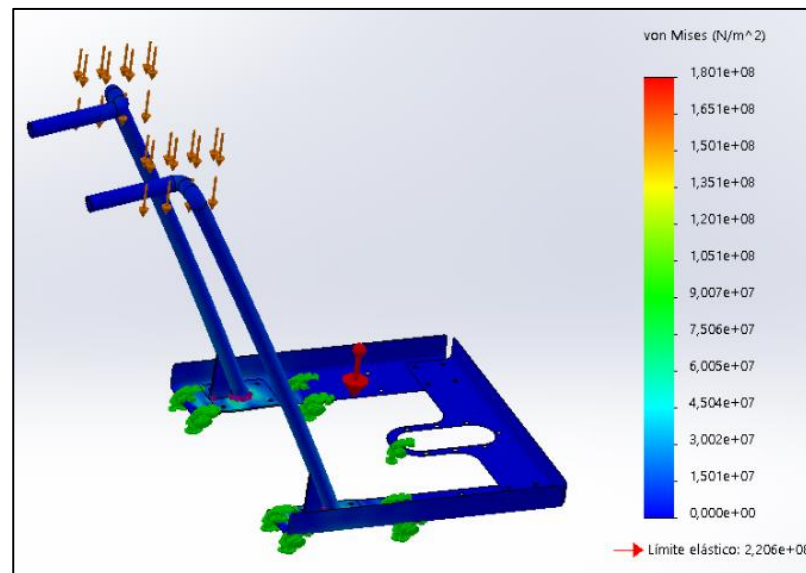


Figura 5-25: Distribución de tensiones.

Por lo tanto, los resultados de deformaciones tanto como de distribución de tensiones para el modelo triciclo, nos otorgan valores aceptables en cuanto a la resistencia y al límite elástico del material.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En este trabajo se presentó la primera etapa del desarrollo de una plataforma mecánica móvil de tipo modular con sistema de locomoción por rueda intercambiables. Para lograr diferentes tipos de locomoción y dotar a la plataforma con característica reconfigurable, se definió una UTDM (Unidad de Tracción y Dirección Modular) compuesta por dos módulos desacoplables, uno de tracción y otro de dirección. El módulo de tracción está compuesto por un motor sincrónico de imán permanente PMSM de tipo “in-wheel”, mientras que el módulo de dirección está compuesto por un motor paso a paso. Además de la UTDM se diseñó la estructura mecánica del chasis, que interconecta las ruedas y sirve de soporte a las diferentes EO (Estructuras Operacionales). Se mostraron ensayos de tensiones y desplazamientos de los componentes diseñados y de una configuración con una EO de tipo andador.

Recomendaciones

A futuro se fabricará el prototipo. En base a los resultados que se obtengan en las pruebas, se harán correcciones sobre el diseño para concluir en el prototipo final. Una vez finalizado el mismo habiendo pasado las pruebas de validación, alumnos de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR desarrollarán el sistema de control y electrónico. Obteniendo de esta forma el robot móvil reconfigurable, de tipo modular y multifuncional.

Bibliografía

- [1] 2005 Mechatronics. IFAC TC. Int. Fed. of Automatic Control. [Online]. <http://tc.ifac-control.org/4/2/scope>
- [2] R. Isermann, "Mechatronic Systems – A Short Introduction," in *Springer Handbook of Automation*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [3] Barbieri, G. and Fantuzzi, C. and, Borsari, R., "A model-based design methodology for the development of mechatronic systems," *Mechatronics*, vol. 24, pp. 833-843, 2014.
- [4] J. Estefan, Survey of Candidate Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies rev. B, February 2008, Seattle, WA, USA.
- [5] T. Hultdt and I. Stenius, "State-of-practice survey of model-based systems engineering," *Systems Engineering*, vol. 22, pp. 134-145, 2019.
- [6] In Lee, "Service Robots: A Systematic Literature Review," *Electronics*, vol. 10, 2021.
- [7] F. Espinosa, C. Santos, and J. E. Sierra-García, "Transporte multi-AGV de una carga: estado del arte y propuesta centralizada," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 18, pp. 82–91, 2020.
- [8] A. Moshayedi, R. Shuvam, S. Sambo, Y. Zhong, and L. Liao, "Review On: The Service Robot Mathematical Model," *EAI End. Trans. AI and Robotics*, vol. 1, Feb. 2022.
- [9] Yu, S. and Ye, Ch and Liu, H. and Chen, J, "Dev. of an omnidirectional Automated Guided Vehicle with MY3 wheels," *Perspectives in Science*, vol. 7, pp. 364-368, 2016.
- [10] M. Lamy, "Mechanical development of an automated guided vehicle," KTH, Machine Design (Dept.), Master's thesis 2016.
- [11] Hua, F and Li, G. and Liu, F. and Liu, Y., "Mech. design of a four-wheel independent drive and steering mobile robot platform," in *IEEE 11th Conf. on Ind. Elect. and App. (ICIEA)*, 2016.
- [12] Ryoo, Y. and Park, S and Lee, Y. and Byun, K., "Active Steerable Driving Mechanism Using Two In-Wheel Motors for Omnidirectional Motion of Robotic

- Mobile Platform," in *8th Int. Conf. on Soft Comp. and Int. Sys. (SCIS) and 17th Int. Symp. on Adv. Int. Sys. (ISIS)*, 2016.
- [13] A. M. Karim, B. Setiawan, and I. Siradjuddin, "Design locomotion for automatic guided vehicles using double ackerman inverted method (2WD-4WS-1A)," *IOP Conf. Series: Materials Science and Eng.*, vol. 1073, February 2021.
- [14] Crenganis, M. and Biris, C. and Girjob, C., "Mechatronic Design of a Four-Wheel drive mobile robot and differential steering," *MATEC Web Conf.*, vol. 343, p. 08003, 2021.
- [15] Jo, G. and Ryoo, Y. and Im, D. and Cha, H, "Electric driven three-wheeled robotic vehicle (Robicle) for personal mobility system," in *7th Int. Conf. on Soft Comp. and Int. Sys. (SCIS) and 15th Int. Symp. on Adv. Int. Sys. (ISIS)*, 2014.
- [16] Sierra-García, Enrique. and Santos, Matilde, "Mechatronic Modelling of Industrial AGVs: A Complex System Architecture," *indawi Complexity*, p. 21, 2020.
- [17] Y. Dzezhyts, Next generation low-cost automated guided vehicle, 2020.
- [18] CANUDAS DE WIT, C. and SICILIANO, B. and BASTIN, G., *Theory of Robot Control.*: Springer London, 1996.
- [19] S. G. TZAFESTAS, *Introduction to mobile robot control.*: Elsevier, 2014.
- [20] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República Argentina. [Online] <https://www.argentina.gob.ar/ciencia>
- [21] Foxtech Custom FD15 Tip-Over Autonomous Mobile Automated Guided Vehicle AMR AGV Warehouse Robot. Alibaba [Online] https://www.alibaba.com/product-detail/Foxtech-Custom-FD15-Tip-Over-Autonomous_1600669349399.html
- [22] AGV Robot Q3-600C Combine With Collaborative Robot Used For Automation Project Handling As AGV. Alibaba [Online] https://www.alibaba.com/product-detail/AGV-Robot-Q3-600C-Combine-With_1600425479421.html
- [23] SEER AGV SLAM AGV/AMR Stable Navigation For AGV Helmet Safety And Reliability Autonomous Mobile Robot. Alibaba [Online] https://www.alibaba.com/product-detail/SEER-AGV-SLAM-AGV-AMR-Stable_1600437790638.html

- [24] Robot de logística inteligente para coche friki + AGV, P800. Alibaba [Online]
<https://spanish.alibaba.com/p-detail/Intelligent-60797341309.html?spm=a2700.details.0.0.7a3243f6TsnTT2>
- [25] G. Paulineli and G. Loureiro, "Model-Based System Concurrent Engineering," in *Concurrent Eng. App. for Sust. Product Dev. in a Multi-Disc. Env.*, London, 2013.
- [26] Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, SolidWorks, 2016.
- [27] Open-Source Rob. Found. (2023) ROS. [Online]. <http://wiki.ros.org/>
- [28] Open-Source Rob. Found. (2023) [Online]. <http://gazebo-sim.org/>
- [29] Nasa. (2023, Apr.) [Online].
https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level
- [30] OMC-StepperOnline. StepperOnline. [Online].
<https://www.omc-stepperonline.com/nema-23-stepper-motor-bipolar-l-56mm-w-gear-ratio-47-1-planetary-gearbox-23hs22-2804s-pg47>

Anexo

Anexo A: Elementos comerciales seleccionados

- *Catálogo de ruedas seleccionadas*
- *Catálogo de rodamientos seleccionados*
- *Catálogo de poleas seleccionadas*
- *Catálogo de correas seleccionadas*

Anexo B: Planos de desarrollo

RUEDAS NEUMATICAS IMPORTADAS					
Llanta de chapa pintada epoxi					
				Descripcion	Código
360	70	16	90	Bolillero STD	I509



RUEDAS CHAPA Y GOMA					
Base fija					
				Medidas de la base	Código
75	21	95	50	74 x 61	I590
100	25	125	70	102 x 84	I591
125	32	152	100	102 x 84	I592
150	40	185	10		I593



Base giratoria					
				Medidas de la base	Código
75	21	95	50	75 x 60	I595
100	25	123	70	102 x 84	I596
125	32	147	100	102 x 84	I597
150	40	185	150	135x105	I598



Base giratoria con freno					
				Medidas de la base	Código
75	21	95	50	75 x 60	I9290
100	25	123	70	102 x 84	I9291
125	32	147	100	102 x 84	I9292
150	40	185	150	135x105	I9293



Rueda suelta chapa y goma					
					Código
75	21		50		I9321
100	25		70		I9322

B G REF PLANCHUELA DE 1/4 C/Rueda PP/PVC CON RULO					
Base giratoria					
				Medidas de la base	Código
100	50	132	160	115 x 100	20026
125	50	162	200	115 x 100	20027
150	50	190	240	115 x 100	20028



Base giratoria con rueda de nylon					
				Medidas de la base	Código
40			40	65x48	19161
50			40	65X48	19162
75	31	96,7	80	104x89	19164
100	32	123	70	102 x 84	19165



6202

Rodamiento rígido de bolas

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son especialmente versátiles, tienen una baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción
- Capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Overview

Dimensiones

Diámetro interno	15 mm
Diámetro exterior	35 mm
Ancho	11 mm

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	8.06 kN
Capacidad de carga estática básica	3.75 kN
Velocidad de referencia	43 000 r/min
Velocidad límite	28 000 r/min
Clase de rendimiento SKF	SKF Explorer

Propiedades

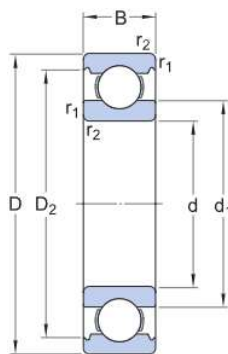
Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Ninguna
Tipo de agujero	Cilíndrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Sin
Lubricante	Ninguna
Característica de relubricación	Sin

Especificación técnica

Clase de rendimiento SKF

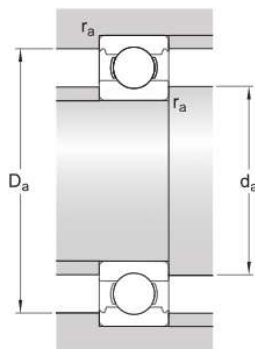
SKF Explorer

Dimensiones



d	15 mm	Diámetro interno
D	35 mm	Diámetro exterior
B	11 mm	Ancho
d ₁	≈ 21.7 mm	Diámetro del resalte
D ₂	≈ 30.5 mm	Diámetro del rebaje
r _{1,2}	min. 0.6 mm	Dimensión del chaflán

Dimensiones de los resaltes



d _a min. 19.2 mm	Diámetro del resalte del eje
D _a max. 30.8 mm	Diámetro del resalte del soporte
r _a max. 0.6 mm	Radio del eje o acuerdo del soporte

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	8.06 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	3.75 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.16 kN
Velocidad de referencia		43 000 r/min

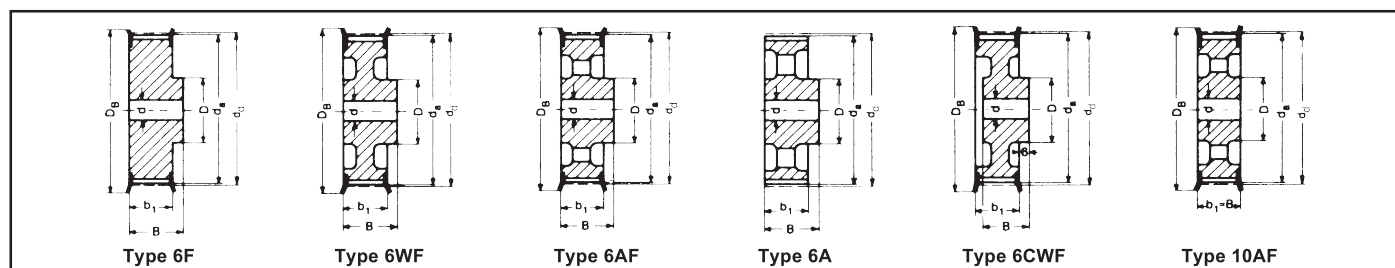
Velocidad límite		28 000 r/min
Factor de carga mínima	k_r	0.025
Factor de cálculo	f_0	13

Masa

Masa de rodamiento	0.045 kg
--------------------	----------

Clase de tolerancia

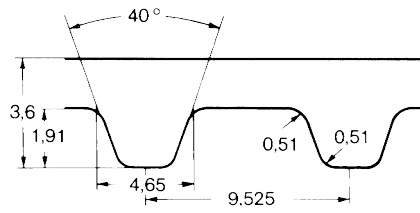
Tolerancias dimensionales	P6
Desviación radial	P5


Type L – Pitch 9,525 mm for belt width 075

Part No.	No. of teeth	Type	Material	d _d (mm)	d _a (mm)	D _B (mm)	b ₁ (mm)	B (mm)	D (mm)	Pilot bore d (mm)	Finished bore d _{max} (mm)	Weight (≈ kg)	Euro each	£ each
10 L 075	10	6F	St	30.32	29.59	36	25	32	22	6	13	0.15		
12 L 075	12	6F	St	36.38	35.62	42	25	32	28	8	17	0.23		
13 L 075	13	6F	St	39.41	38.65	44	25	32	30	8	19	0.26		
14 L 075	14	6F	St	42.45	41.68	48	25	32	33	8	20	0.32		
15 L 075	15	6F	St	45.48	44.72	51	25	32	36	8	23	0.35		
16 L 075	16	6F	St	48.51	47.75	54	25	32	38	8	23	0.42		
17 L 075	17	6F	St	51.54	50.78	57	25	32	40	10	24	0.45		
18 L 075	18	6F	St	54.57	53.81	60	25	32	40	10	24	0.51		
19 L 075	19	6F	St	57.61	56.84	60	25	32	40	10	24	0.57		
20 L 075	20	6F	St	60.64	59.88	66	25	32	46	10	28	0.63		
21 L 075	21	6F	St	63.67	62.91	71	25	32	46	10	28	0.70		
22 L 075	22	6F	St	66.70	65.94	75	25	32	50	10	30	0.75		
24 L 075	24	6F	St	72.77	72.00	79	25	32	50	12	30	0.85		
26 L 075	26	6F	St	78.83	78.07	87	25	32	50	12	30	1.00		
28 L 075	28	6F	St	84.89	84.13	91	25	32	50	12	30	1.20		
30 L 075	30	6F	St	90.96	90.20	97	25	32	50	12	30	1.40		
32 L 075	32	6F	St	97.02	96.26	103	25	32	50	12	30	1.50		
36 L 075	36	6WF	GG	109.15	108.38	115	25	32	55	12	32	1.30		
40 L 075	40	6WF	GG	121.28	120.51	127	25	32	60	12	35	1.60		
44 L 075	44	6AF	GG	133.40	132.64	140	25	32	60	12	35	1.70		
48 L 075	48	6AF	GG	145.53	144.77	152	25	32	60	12	35	1.90		
60 L 075	60	6A	GG	181.91	181.15	—	26	35	60	15	35	1.80		
72 L 075	72	6A	GG	218.30	217.53	—	26	35	60	15	35	2.30		
84 L 075	84	6A	GG	254.68	253.92	—	26	35	60	15	35	2.50		

Type L – Pitch 9,525 mm for belt width 100

Part No.	No. of teeth	Type	Material	d _d (mm)	d _a (mm)	D _B (mm)	b ₁ (mm)	B (mm)	D (mm)	Pilot bore d (mm)	Finished bore d _{max} (mm)	Weight (≈ kg)	Euro each	£ each
10 L 100	10	6F	St	30.32	29.59	36	31	38	22	6	13	0.81		
12 L 100	12	6F	St	36.38	35.62	42	31	38	28	8	17	0.29		
13 L 100	13	6F	St	39.41	38.65	44	31	38	30	8	19	0.30		
14 L 100	14	6F	St	42.45	41.68	48	31	38	33	8	20	0.38		
15 L 100	15	6F	St	45.48	44.72	51	31	38	36	8	23	0.40		
16 L 100	16	6F	St	48.51	47.75	54	31	38	38	8	23	0.51		
17 L 100	17	6F	St	51.54	50.78	57	31	38	40	10	24	0.54		
18 L 100	18	6F	St	54.57	53.81	60	31	38	40	10	24	0.62		
19 L 100	19	6F	St	57.61	56.84	60	31	38	40	10	24	0.69		
20 L 100	20	6F	St	60.64	59.88	66	31	38	46	10	28	0.76		
21 L 100	21	6F	St	63.67	62.91	71	31	38	46	10	28	0.82		
22 L 100	22	6F	St	66.70	65.94	75	31	38	50	10	30	0.92		
24 L 100	24	6F	St	72.77	72.00	79	31	38	50	12	30	1.10		
26 L 100	26	6F	St	78.83	78.07	87	31	38	50	12	30	1.30		
28 L 100	28	6F	St	84.89	84.13	91	31	38	50	12	30	1.40		
30 L 100	30	6F	St	90.96	90.20	97	31	38	50	12	30	1.70		
32 L 100	32	6F	St	97.02	96.26	103	31	38	50	12	30	1.80		
36 L 100	36	6CWF	GG	109.15	108.38	115	32	32	55	12	32	1.50		
40 L 100	40	6CWF	GG	121.28	120.51	127	32	32	60	12	35	1.80		
44 L 100	44	10AF	GG	133.40	132.64	140	32	32	60	12	35	1.90		
48 L 100	48	10AF	GG	145.53	144.77	152	32	32	60	12	35	2.10		
60 L 100	60	6A	GG	181.91	181.15	—	32	35	60	15	35	2.00		
72 L 100	72	6A	GG	218.30	217.53	—	32	35	60	15	35	2.50		
84 L 100	84	6A	GG	254.68	253.92	—	32	35	60	15	35	2.70		


Type L (nominal dimensions – mm)

Type L - pitch 9,525 mm

Belt No.	Pitch length		Number of teeth	1/2" width ≈ 12,7 mm Code No. 050		3/4" width ≈ 19,05 mm Code No. 075		1" width ≈ 25,4 mm Code No. 100	
	(inch)	(mm)		Euro/each	£/each	Euro/each	£/each	Euro/each	£/each
109 L	10,88	276,23	29						
124 L	12,38	314,33	33						
150 L	15,00	381,00	40						
169 L	16,88	428,63	45						
187 L	18,75	476,25	50						
210 L	21,00	533,40	56						
225 L	22,50	571,50	60						
236 L	23,63	600,08	63						
240 L	24,00	609,60	64						
255 L	25,50	647,70	68						
270 L	27,00	685,80	72						
285 L	28,50	723,90	76						
300 L	30,00	762,00	80						
322 L	32,25	819,15	86						
345 L	34,50	876,30	92						
367 L	36,75	933,45	98						
390 L	39,00	990,60	104						
405 L	40,50	1028,70	108						
420 L	42,00	1066,80	112						
450 L	45,00	1143,00	120						
454 L	45,38	1152,53	121						
480 L	48,00	1219,20	128						
510 L	51,00	1295,40	136						
540 L	54,00	1371,60	144						
600 L	60,00	1524,00	160						
660 L	66,00	1676,40	176						

•CTO-01	CONFIGURACIÓN OMNIDIRECCIONAL
•CTO-11	MÓDULO DE TRACCIÓN-DIRECCIÓN
•CTO-12	MODULO DE TRACCIÓN
•CTO-13	PIERNA PARA MODULO DE TRACCIÓN
•CC-01	TAPA SUPERIOR ENCOFRADO
•CC-02	TAPA INFERIOR ENCOFRADO
•CC-03	TAPA LATERAL ENCOFRADO
•CC-04	TAPA LATERAL PIERNA
•MEC-01	LATERAL PIERNA
•CC-05	CORTE PARA MECANIZAR LATERAL PIERNA
•MEC-02	EJE DE GIRO
•CP-06	CIERRE ENCOFRADO
•CC-06	CORTE PARA MECANIZAR CIERRE ENCOFRADO
•CTO-14	CIERRE DE PIERNA
•MEC-03	CENTRO DE CIERRE
•CC-07	CORTE PARA MECANIZAR CENTRO DE CIERRE
•CP-08	RECUBRIMIENTO DE CIERRE
•CC-08	CORTE PARA PLEGAR RECUBRIMIENTO DE CIERRE
•STD-01	RUEDA
•STD-02	TORNILLO ALLEN M6X30
•MEC-04	CUBO DE ACOPL
•STD-03	SEGER INTERNO $\phi 35$
•STD-04	SEGER EXTERNO $\phi 15$
•STD-05	RODAMIENTO 6202
•STD-06	POLEA DENTADA
•STD-07	CORREA DENTADA
•STD-08	MOTOR PASO A PASO NEMA 23
•STD-09	TORNILLO ALLEN M5X20
•STD-10	ARANDELA M5
•STD-11	TUERCA M5
•STD-12	PRISIONERO M4X10
•STD-18	CHAVETA PLANA PARALELA 5X5X20
•CC-09	PLACA BASE MODULO DE TRACCIÓN
•CTO-20	CHASIS 4 RUEDAS
•CP-10	BASE PARA MODULO DE TRACCIÓN-DIRECCIÓN
•CC-10	CORTE PARA PLEGAR BASE DE MTD
•CP-11	BASE PARA RUEDAS CASTER
•CC-11	CORTE PARA PLEGAR BASE PARA RUEDAS CASTER
•CP-12	TAPA DE CHASIS
•CC-12	CORTE PARA PLEGAR TAPA DE CHASIS
•STD-13	TORNILLO M8X20
•STD-14	ARANDELA M8
•STD-15	TUERCA M8
•CP-13	SOPORTE PARA RUEDAS
•CC-13	CORTE PARA PLEGAR SOPORTE PARA RUEDAS
•STD-16	RUEDAS CASTER
•STD-13	TORNILLO M8X20
•STD-14	ARANDELA M8
•STD-15	TUERCA M8



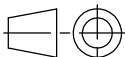
DISEÑO INDUSTRIAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

REFERENCIAS

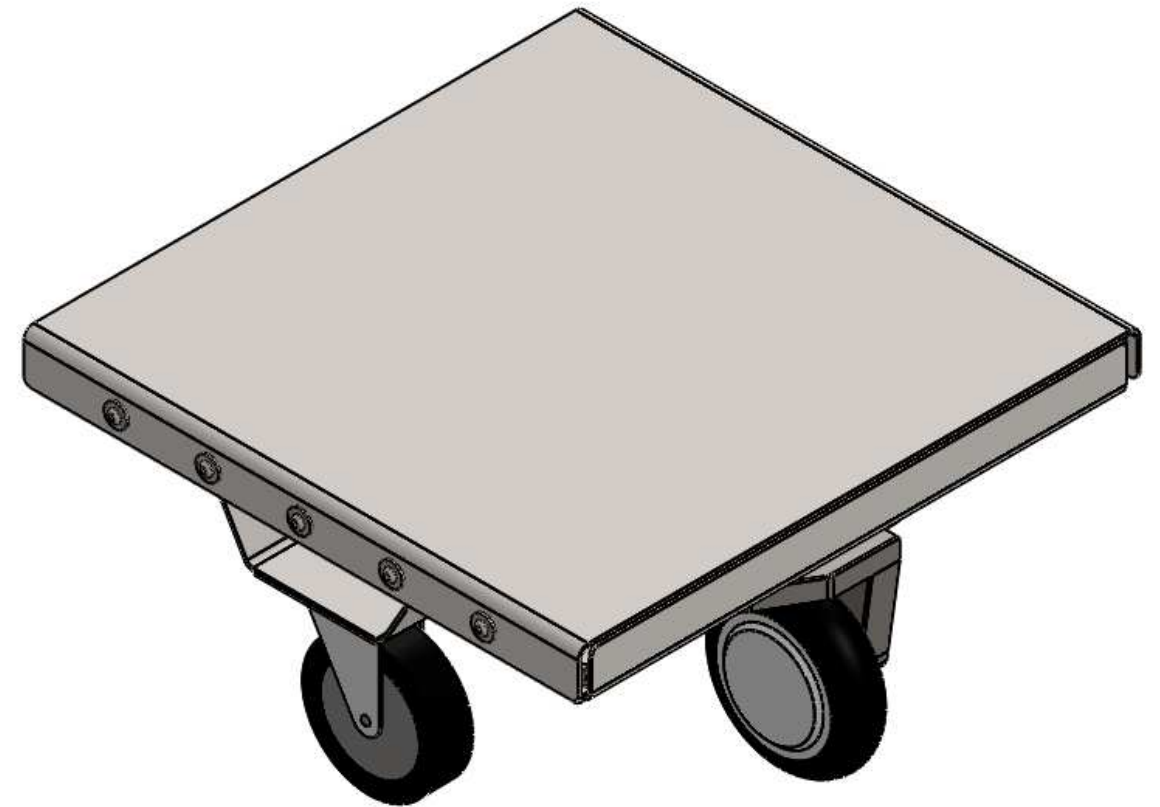
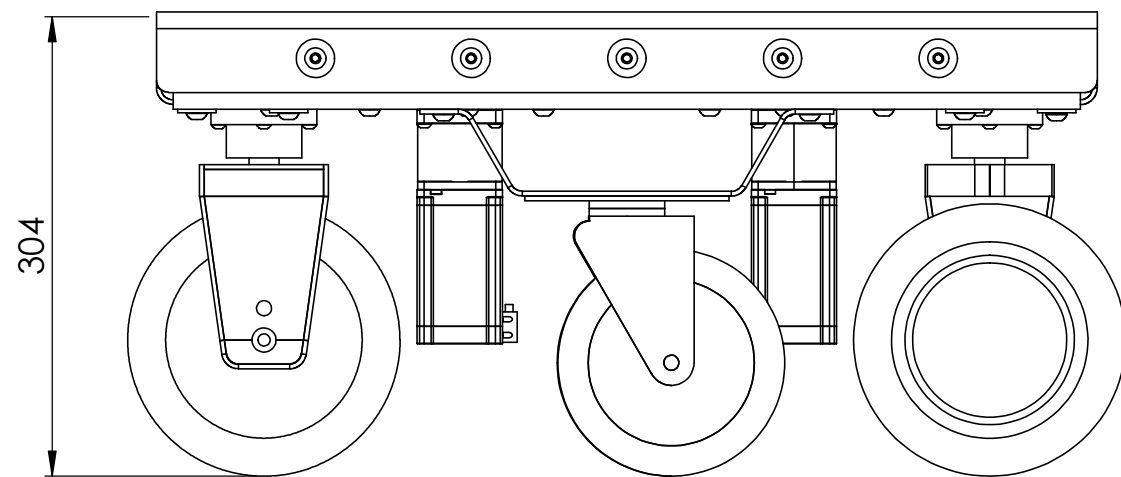
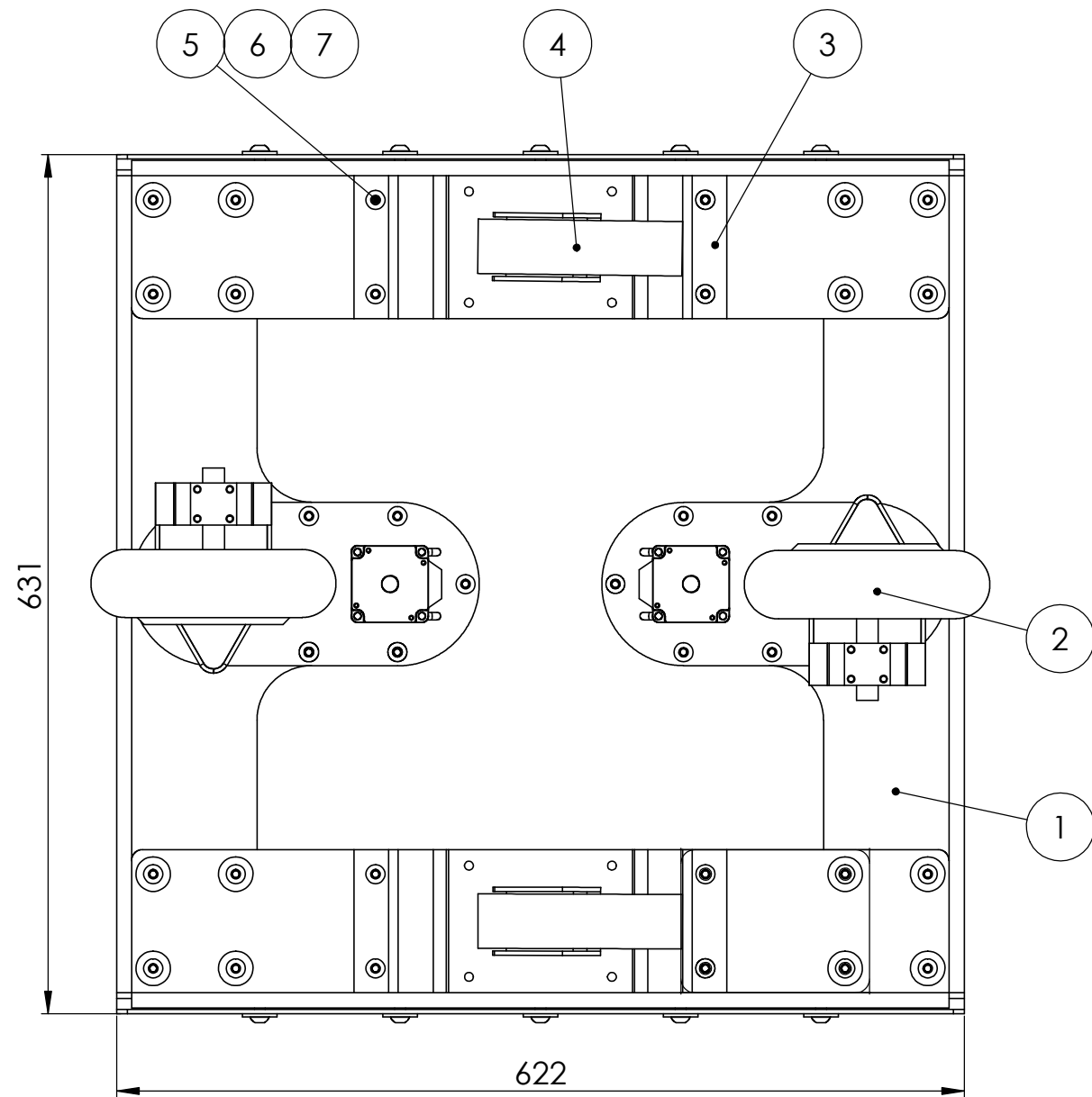
	NOMBRE	ESCALAS		N°
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN			
APROBO				

•CTO-02	CONFIGURACIÓN TRACCIÓN DIFERENCIAL
•CTO-15	MÓDULO DE TRACCIÓN BLOQUEADO
•CTO-12	MODULO DE TRACCIÓN
•MEC-05	CUBO BLOQUEADO
•STD-19	SEGER EXTERNO $\varnothing 14$
•STD-09	TORNILLO ALLEN M5X20
•STD-10	ARANDELA M5
•STD-11	TUERCA M5
•CC-09	PLACA BASE MODULO DE TRACCIÓN
•STD-18	CHAVETA PLANA PARALELA 5X5X20
•CTO-20	CHASIS 4 RUEDAS
•CP-13	SOPORTE PARA RUEDAS
•STD-16	RUEDAS CASTER
•STD-13	TORNILLO M8X20
•STD-14	ARANDELA M8
•STD-15	TUERCA M8

 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		REFERENCIAS	
	NOMBRE	ESCALAS	 N°
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN		
APROBO			

•CTO-03	CONFIGURACIÓN TRICICLO
•CTO-11	MÓDULO DE TRACCIÓN-DIRECCIÓN
•CTO-21	CHASIS 3 RUEDAS
•CP-10	BASE PARA MODULO DE TRACCIÓN-DIRECCIÓN
•CP-11	BASE PARA RUEDAS CASTER
•STD-13	TORNILLO ALLEN M8X20
•STD-14	ARANDELA M8
•STD-15	TUERCA M8
•CP-13	SOPORTE PARA RUEDAS
•STD-17	RUEDAS FIJAS
•STD-13	TORNILLO M8X20
•STD-14	ARANDELA M8
•STD-15	TUERCA M8

 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO			REFERENCIAS	
	NOMBRE	ESCALAS		N°
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN			
APROBO				

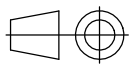


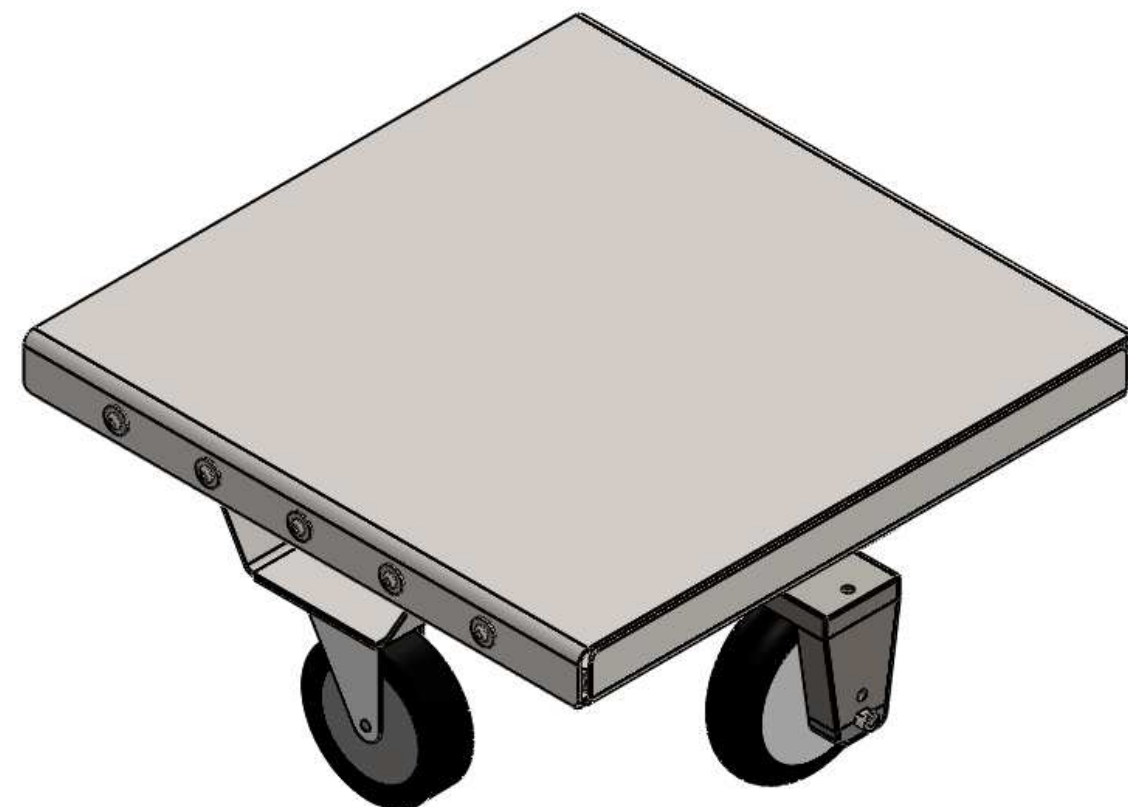
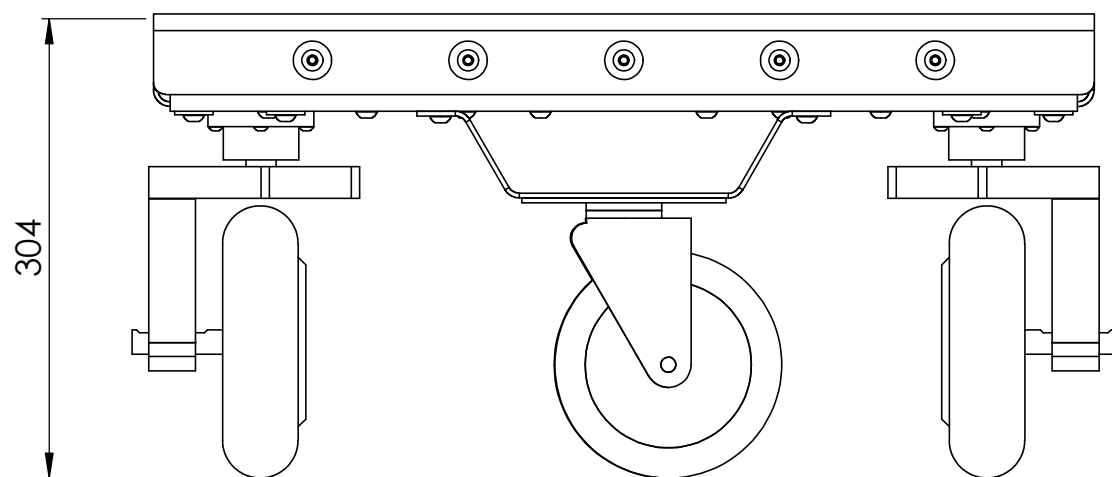
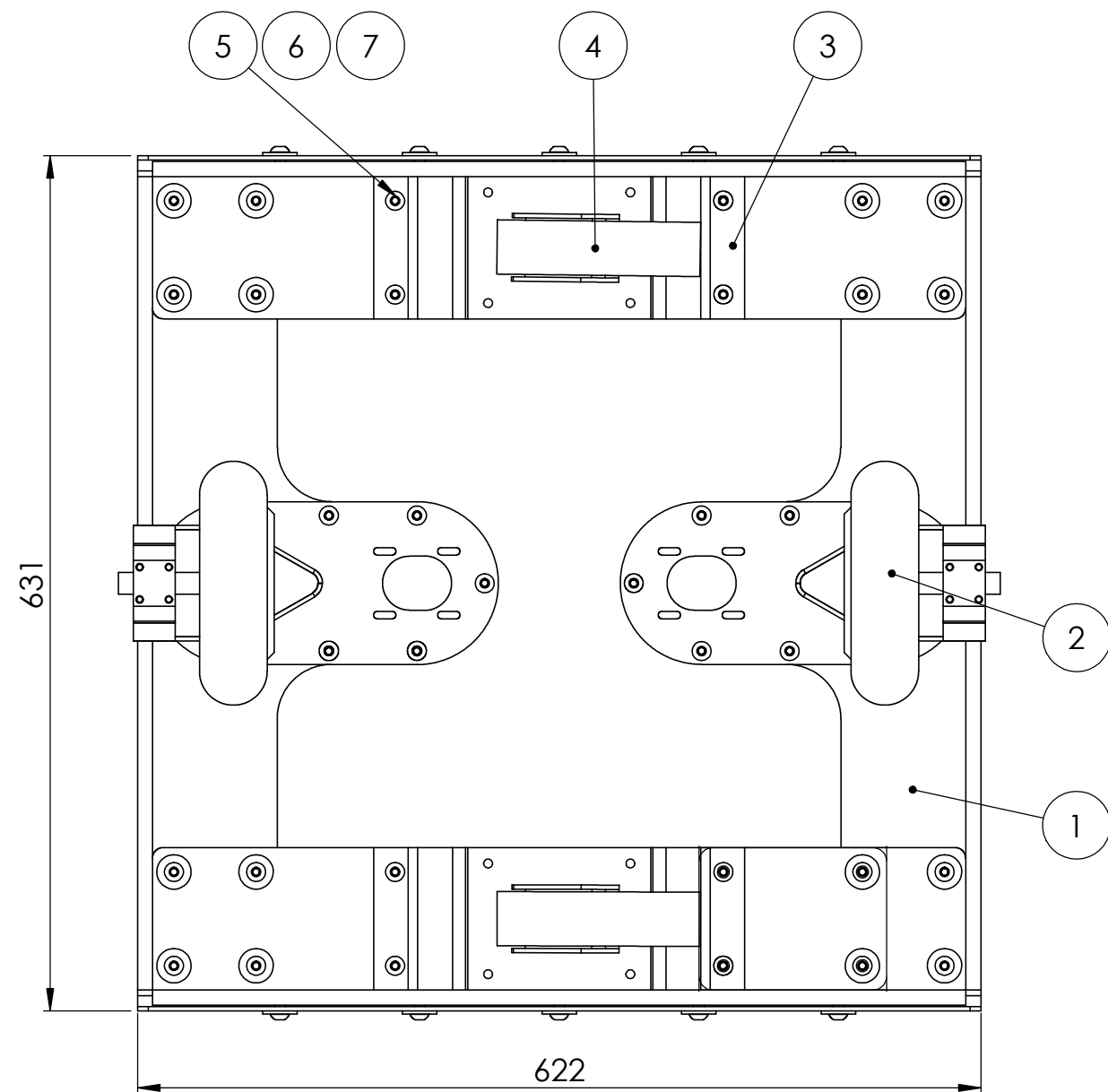
7	Tuerca M8	STD-15		28
6	Arandela plana M8	STD-14		12
5	Tornillo M8X20	STD-13		28
4	Rueda caster	STD-16		2
3	Soporte para rueda	CP-13		2
2	Modulo de tracción-dirección	CTO-11		2
1	Chasis 4 ruedas	CTO-20		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	/OBSERVACIÓN	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
 ESCUELA INGENIERIA MECANICA
 ROSARIO

OMNIDIRECCIONAL

DIBUJO	NOMBRE	ESCALAS		N° CTO-01
APROBO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:5		



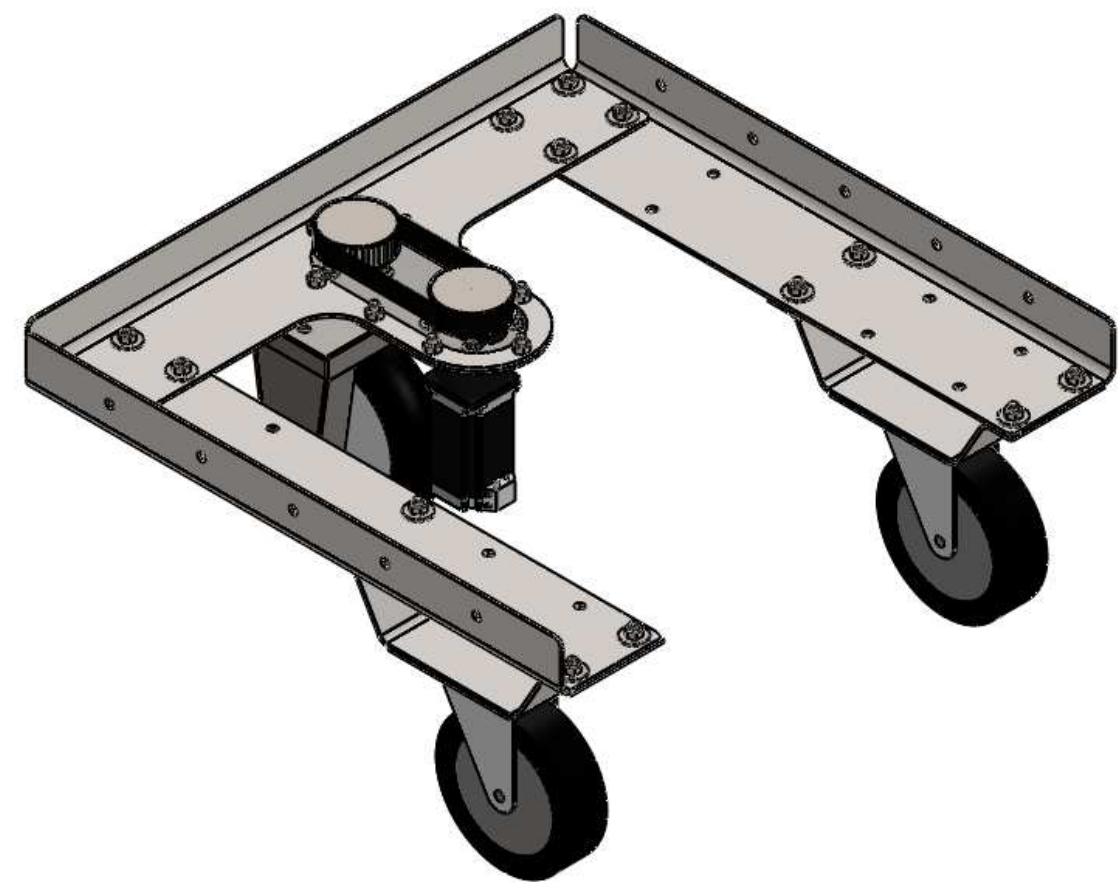
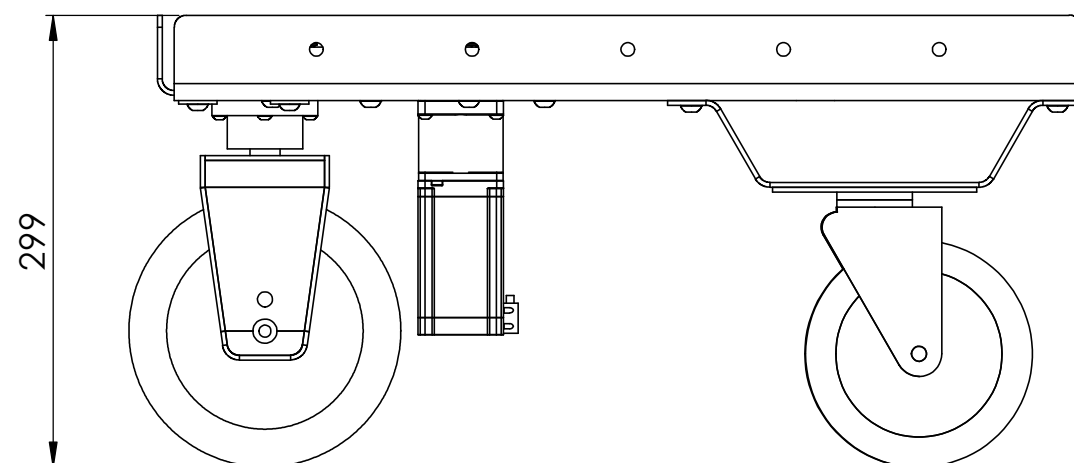
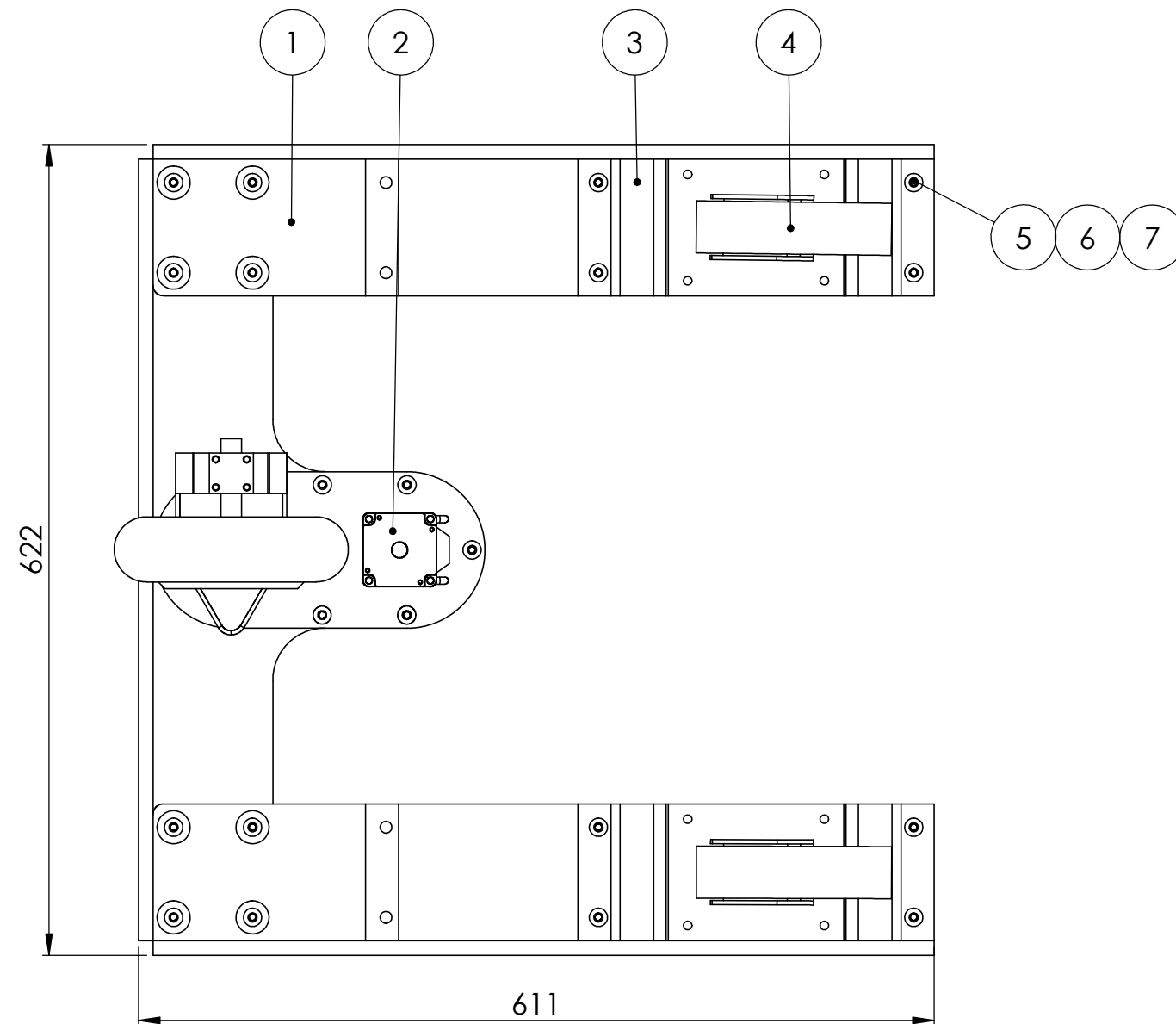
7	Tuerca M8	STD-15		28
6	Arandela plana M8	STD-14		12
5	Tornillo M8X20	STD-13		28
4	Rueda caster	STD-16		2
3	Soporte para rueda	CP-13		2
2	Modulo de tracción bloqueado	CTO-15		2
1	Chasis 4 ruedas	CTO-20		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	/OBSERVACIÓN	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TRACCIÓN DIFERENCIAL

DIBUJO	NOMBRE	ESCALAS		N° CTO-02
APROBO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:5		



7	Tuerca M8	STD-15		16
6	Arandela M8	STD-14		8
5	Tornillo M8X20	STD-13		16
4	Rueda fija	STD-17		2
3	Soporte para rueda	CP-13		2
2	Modulo de tracción dirección	CTO-11		1
1	Chasis 3 ruedas	CTO-21		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	/OBSERVACIÓN	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
 ESCUELA INGENIERIA MECANICA
 ROSARIO

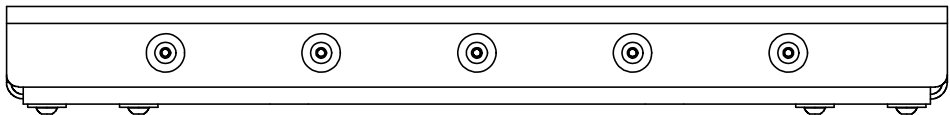
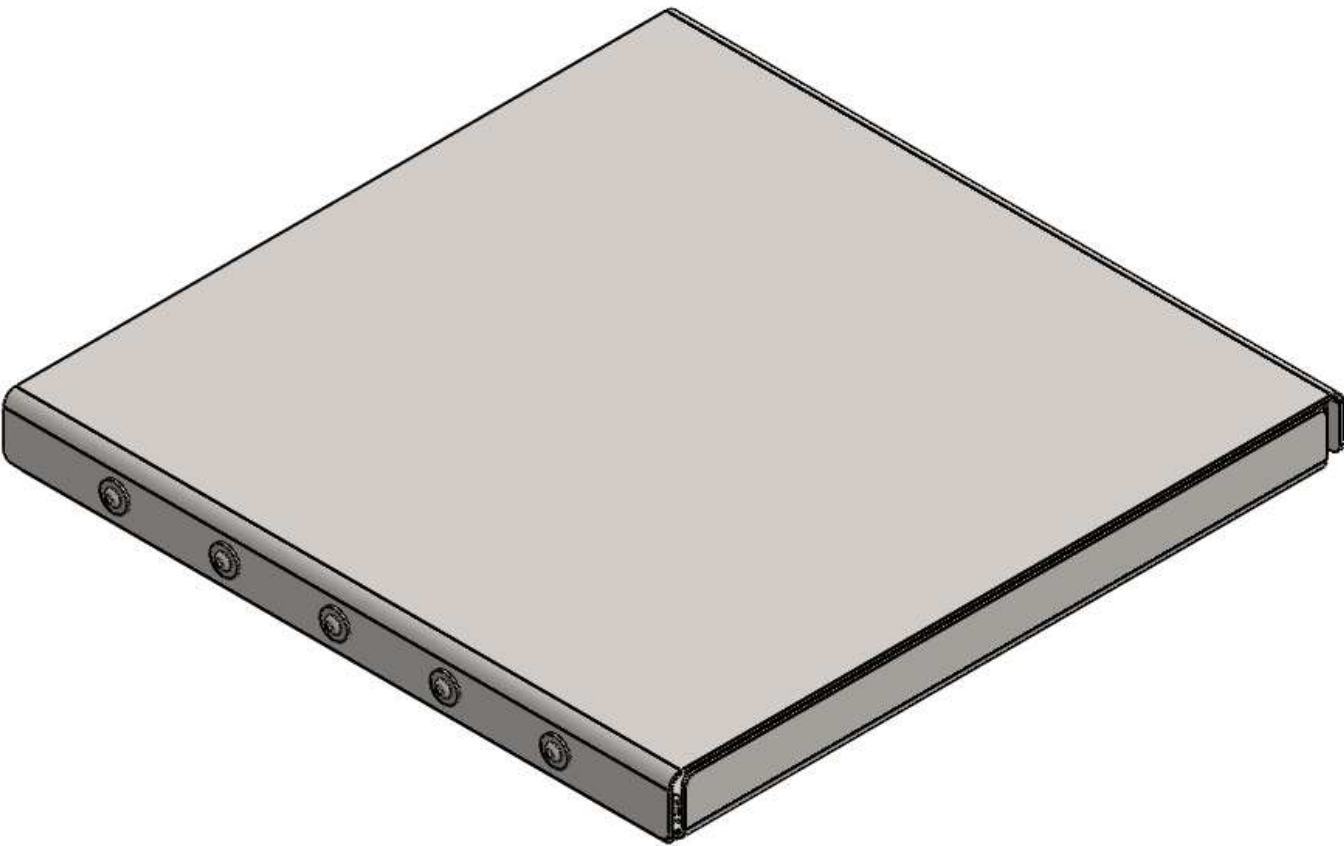
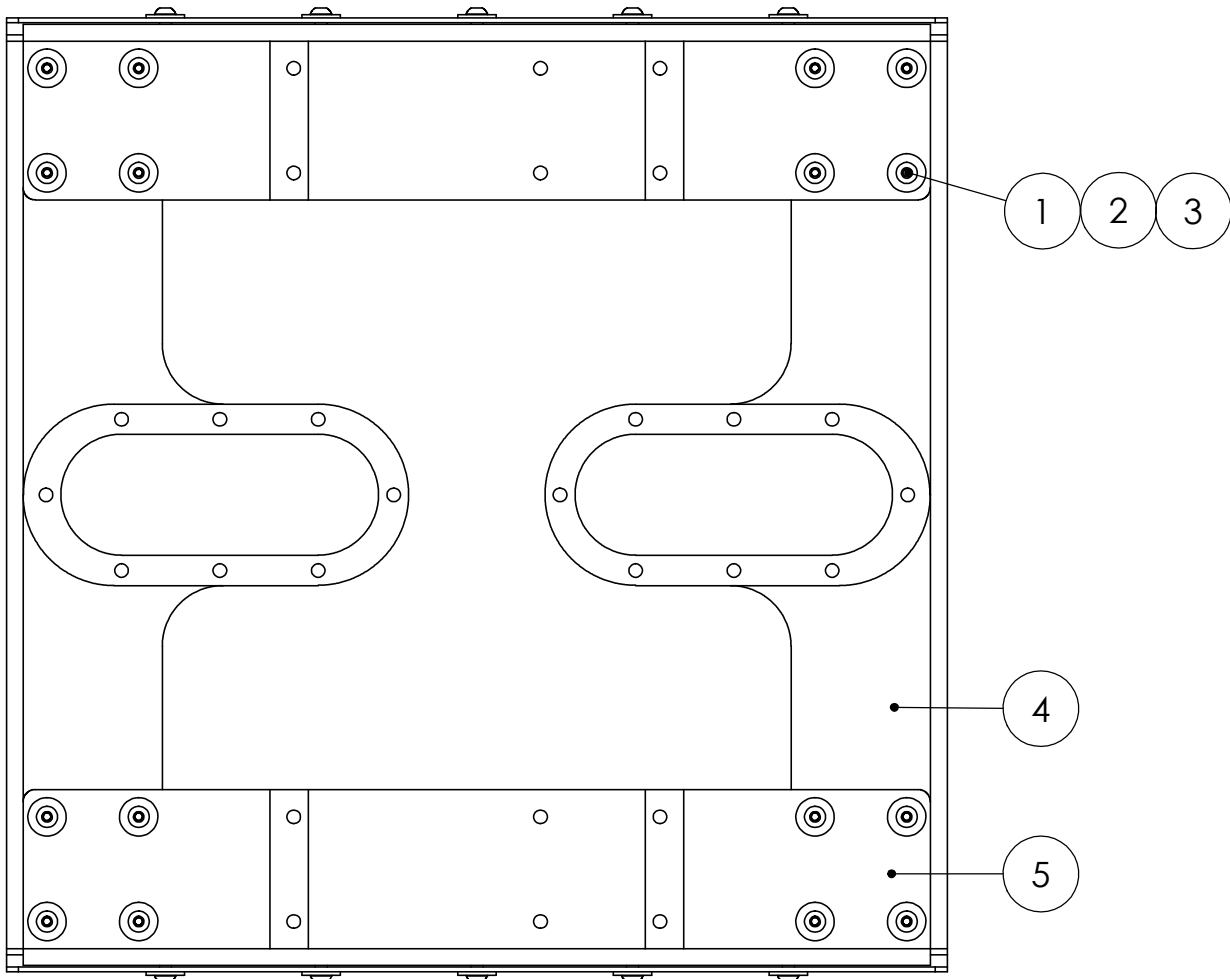
TRICICLO

DIBUJO	NOMBRE
APROBO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN

ESCALAS
 1:5



Nº CTO-03

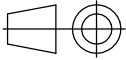


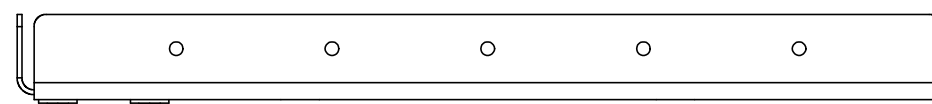
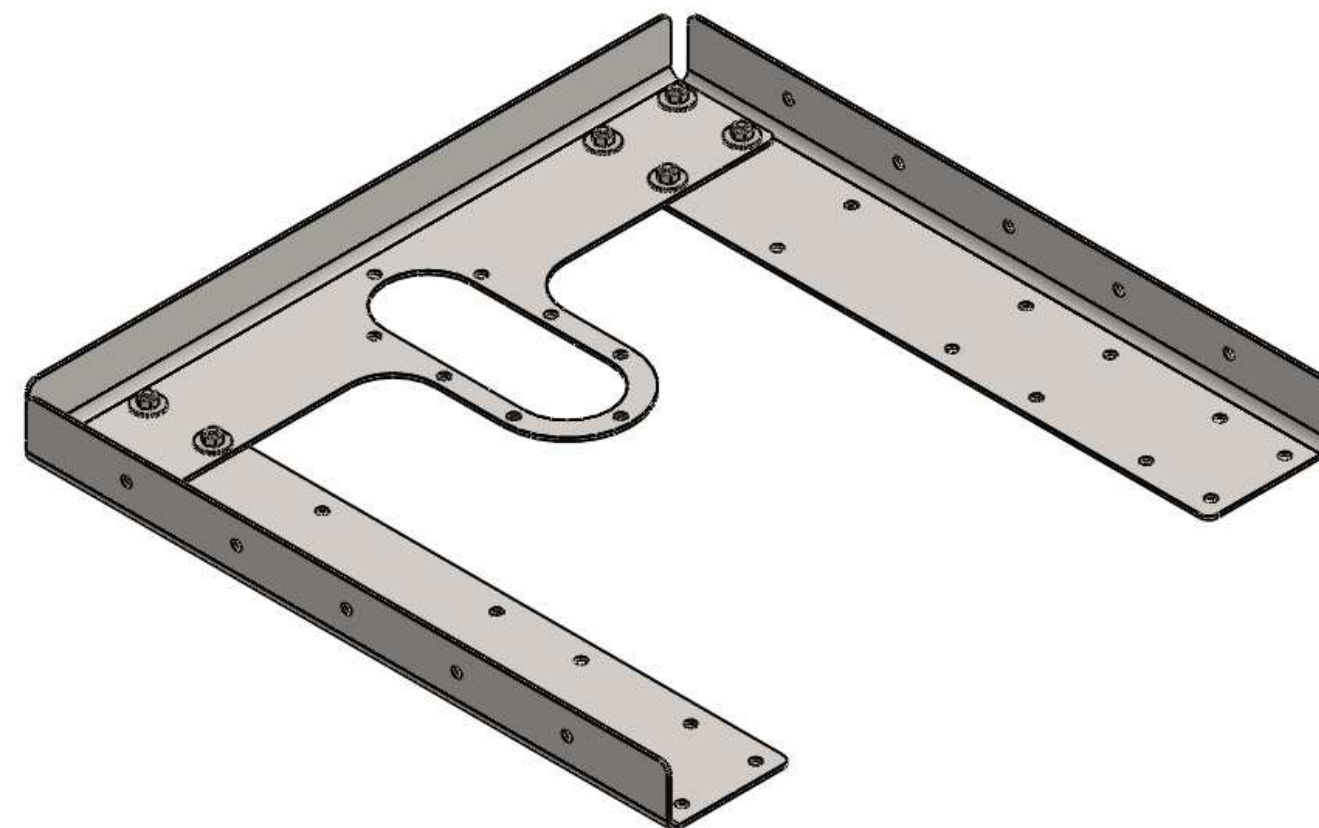
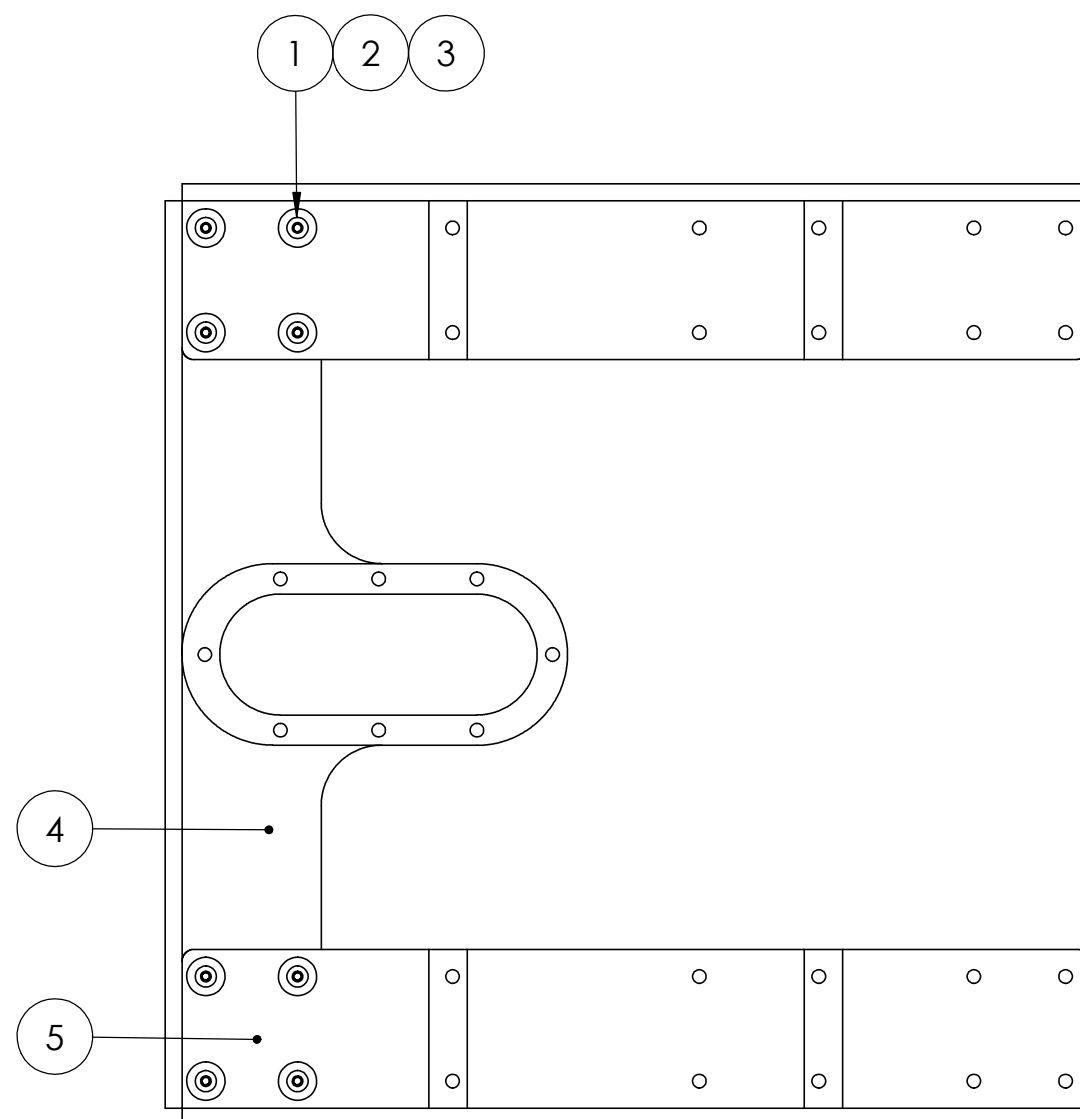
5	Base para ruedas caster	CP-11		2
4	Base para modulo de tracción- dirección	CP-10		2
3	Tuerca M8	STD-15		26
2	Arandela M8	STD-14		52
1	Tornillo M8X20	STD-13		26
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	OBSERVACIÓN	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
 ESCUELA INGENIERIA MECANICA
 ROSARIO

CHASIS 4 RUEDAS

	NOMBRE	ESCALAS		N° CTO-20
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:5		
APROBO				



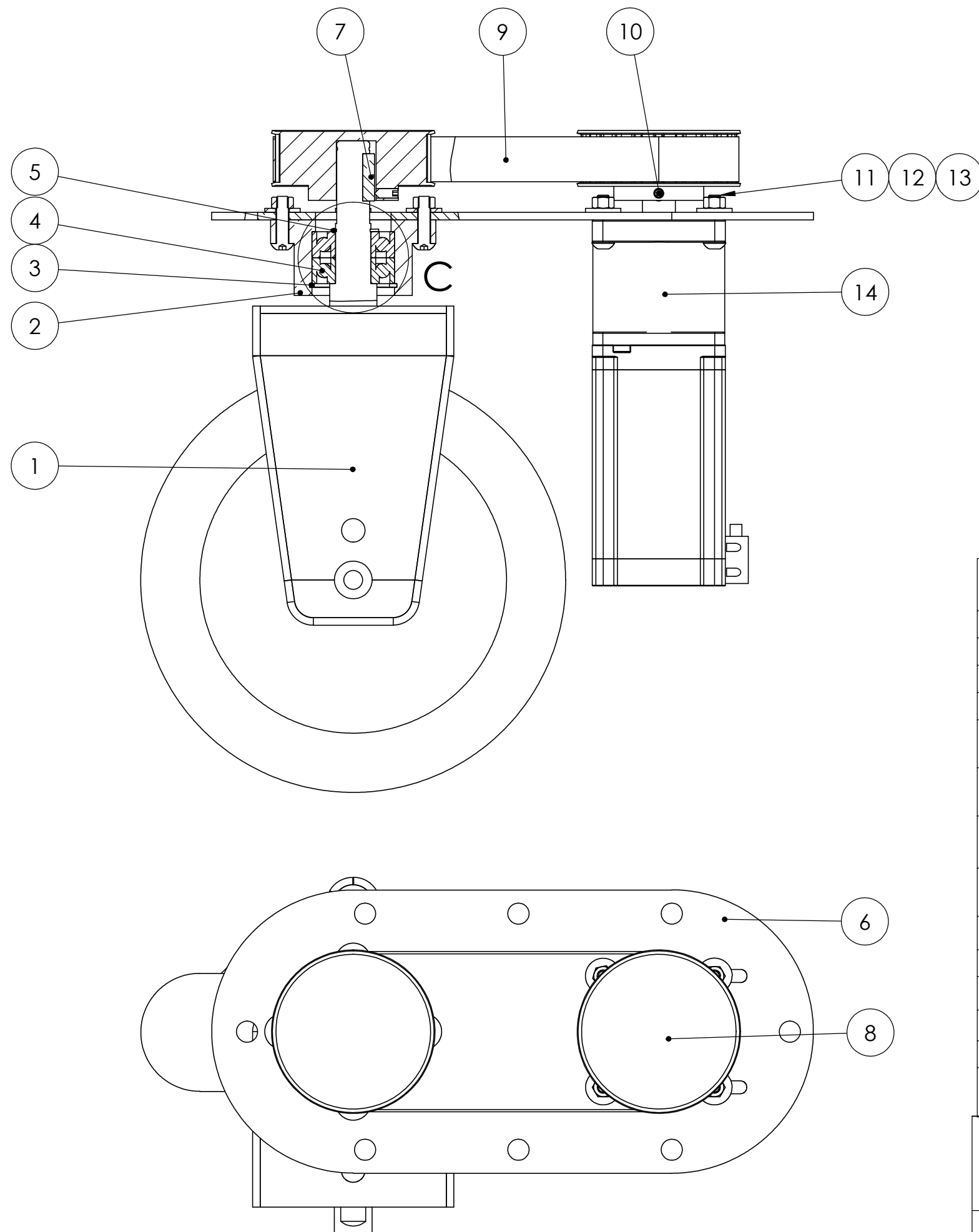
5	Base para ruedas caster	CP-11		2
4	Base para modulo de tracción	CP-10		1
3	Tuerca M8	STD-15		8
2	Arandela plana M8	STD-14		16
1	Tornillo M8X20	STD-13		8
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	OBSERVACIÓN	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

CHASIS 3 RUEDAS

	NOMBRE	ESCALAS		Nº CTO-21
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:5		
APROBO				



DETALLE C
ESCALA 1 : 1

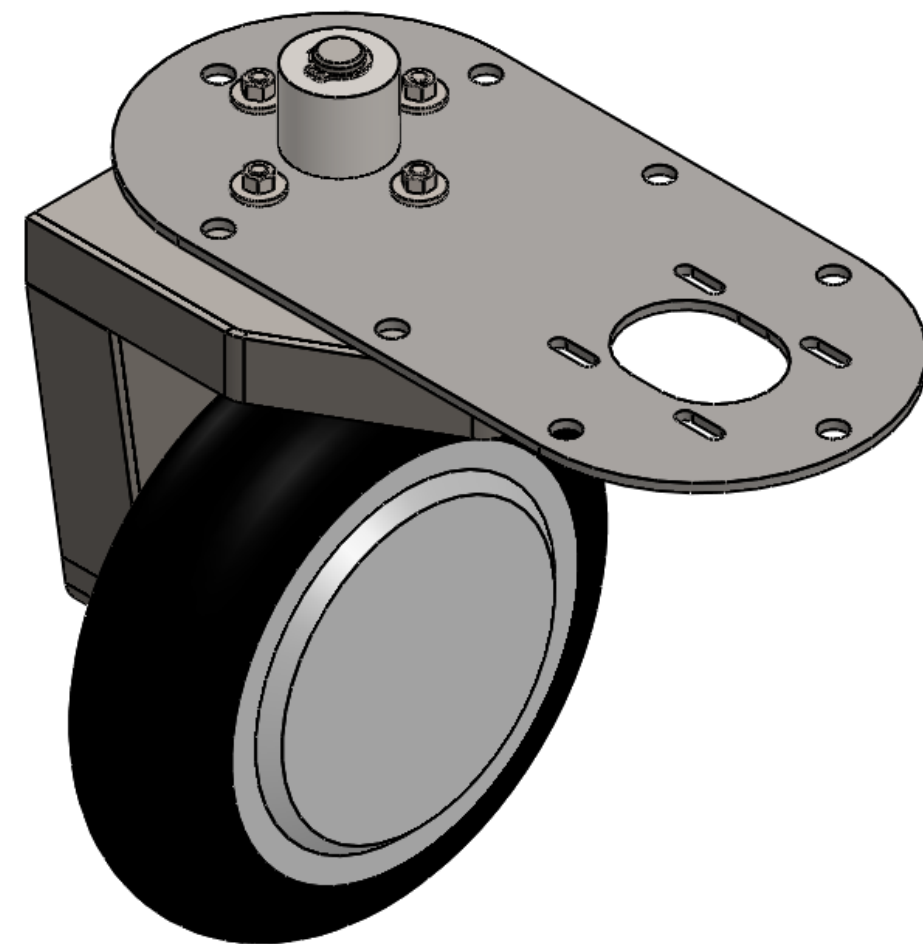
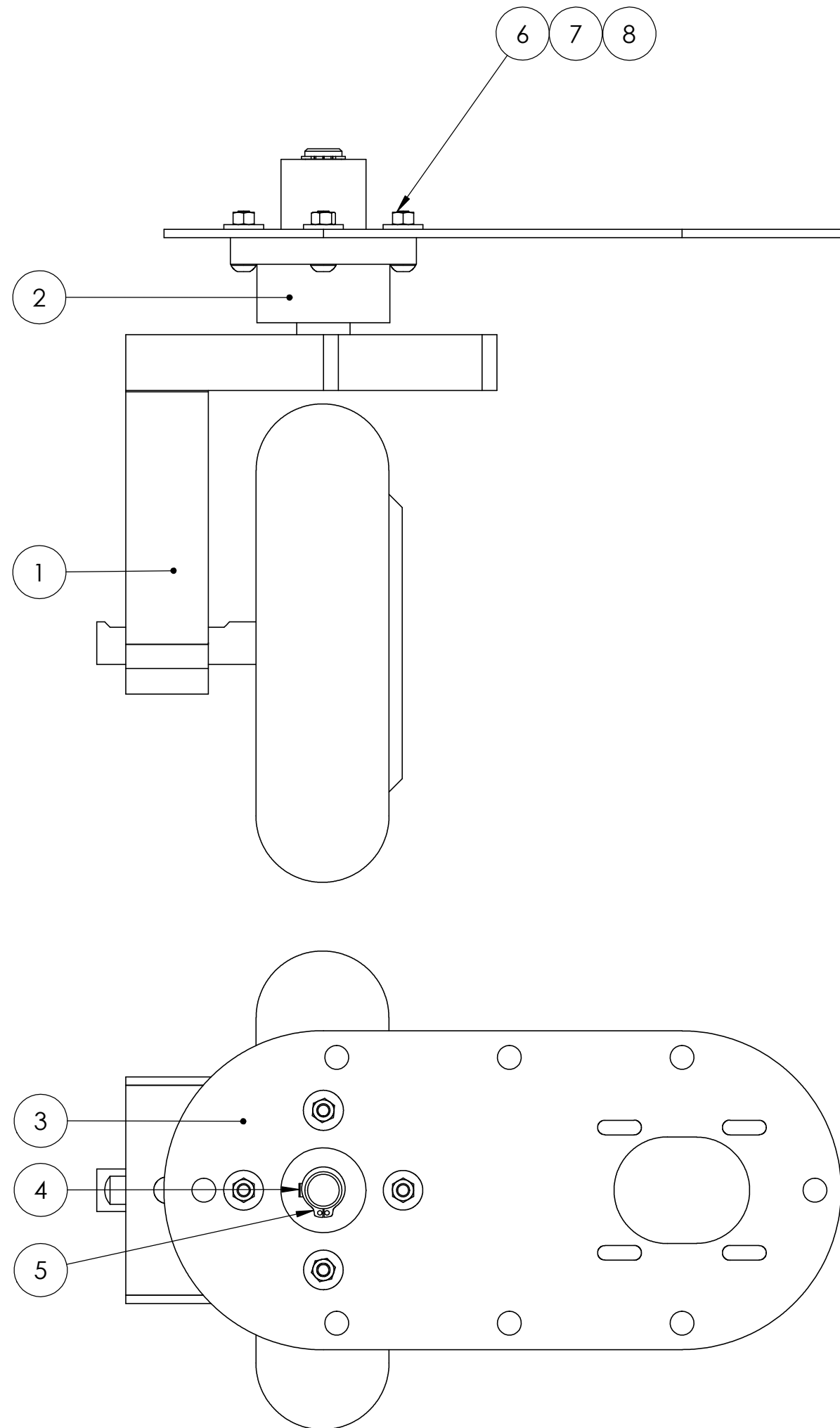
14	Motor paso a paso NEMA 23	STD-08		1
13	Tuerca M5	STD-11		8
12	Arandela M5	STD-10		8
11	Tornillo M5x20	STD-09		8
10	Prisionero M4x10			2
9	Correa dentada 187L 16mm	STD-07		1
8	Polea dentada - 22L 0.75 6F	STD-06		2
7	Chaveta plana paralela 5X5X20	STD-18		2
6	Placa base modulo de tracción	CC-09		1
5	Seeger externo $\phi 15$	STD-04		1
4	Rodamiento 6202	STD-05		2
3	Seeger interno $\phi 35$	STD-03		1
2	Cubo de acople	MEC-04		1
1	Modulo de tracción	CTO-12		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	OBSERVACIÓN	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

MÓDULO DE TRACCIÓN-DIRECCIÓN

DIBUJO	NOMBRE	ESCALAS		Nº CTO-11
APROBO	ABERSATURI, BELTRÁN, FURLAN	1:2		



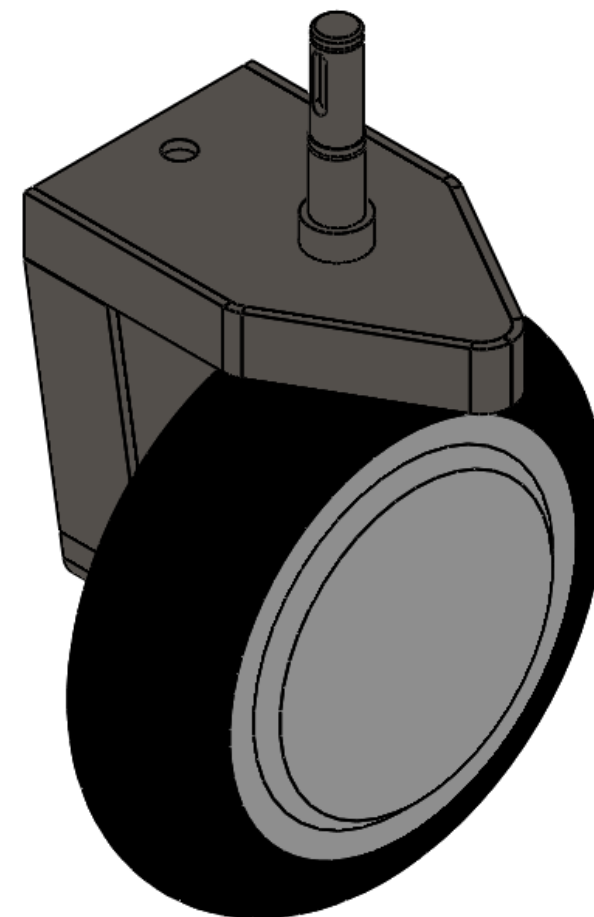
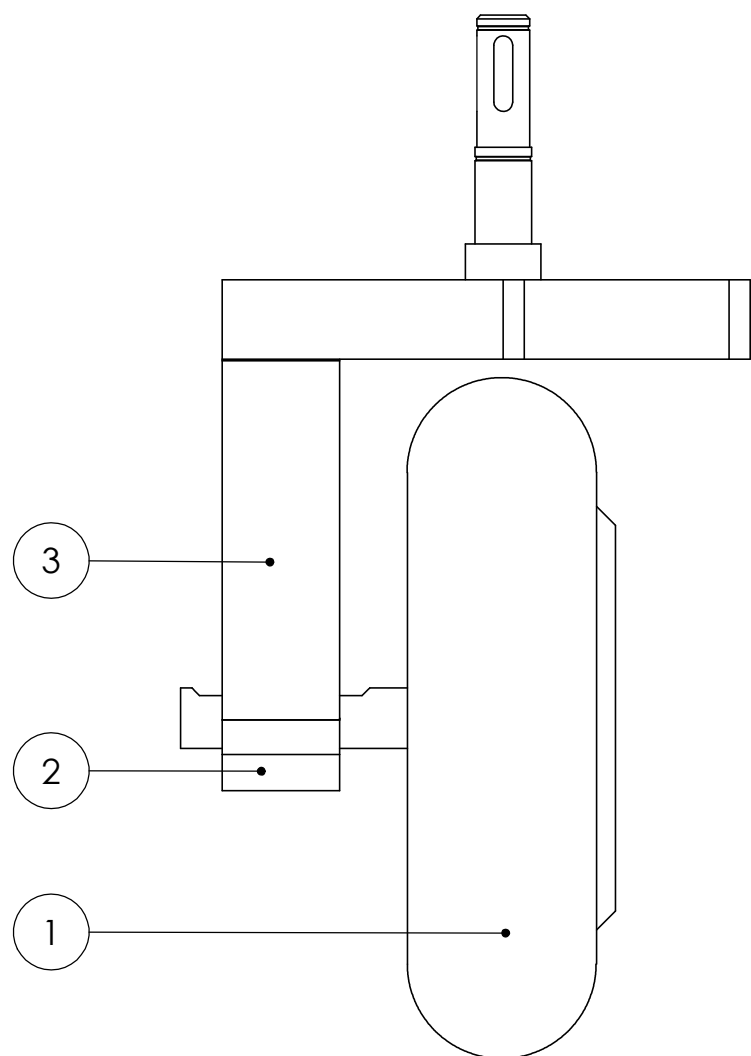
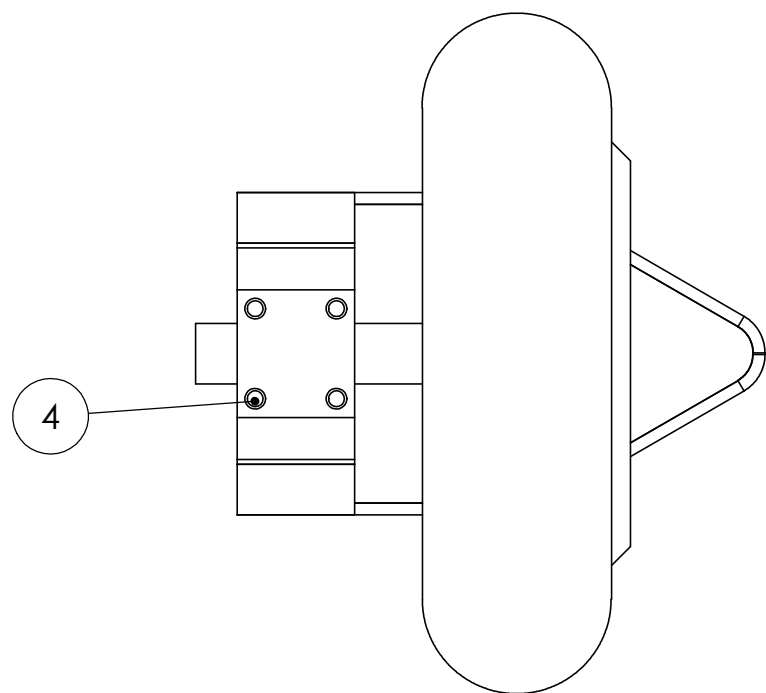
8	Tuerca M5	STD-11		4
7	Aranadela M5	STD-10		4
6	Tornillo M5X20	STD-09		4
5	Seeger externo $\varnothing 14$	STD-19		1
4	Chaveta plana paralela 5X5X20	STD-18		1
3	Placa base modulo de tracci3n	CC-09		1
2	Cubo bloqueado	MEC-05		1
1	Modulo de tracci3n	CTO-12		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	C3DIGO	OBSERVACI3N	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

M3DULO DE TRACCI3N BLOQUEADO

	NOMBRE	ESCALAS		Nº CTO-15
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:2		
APROBO				



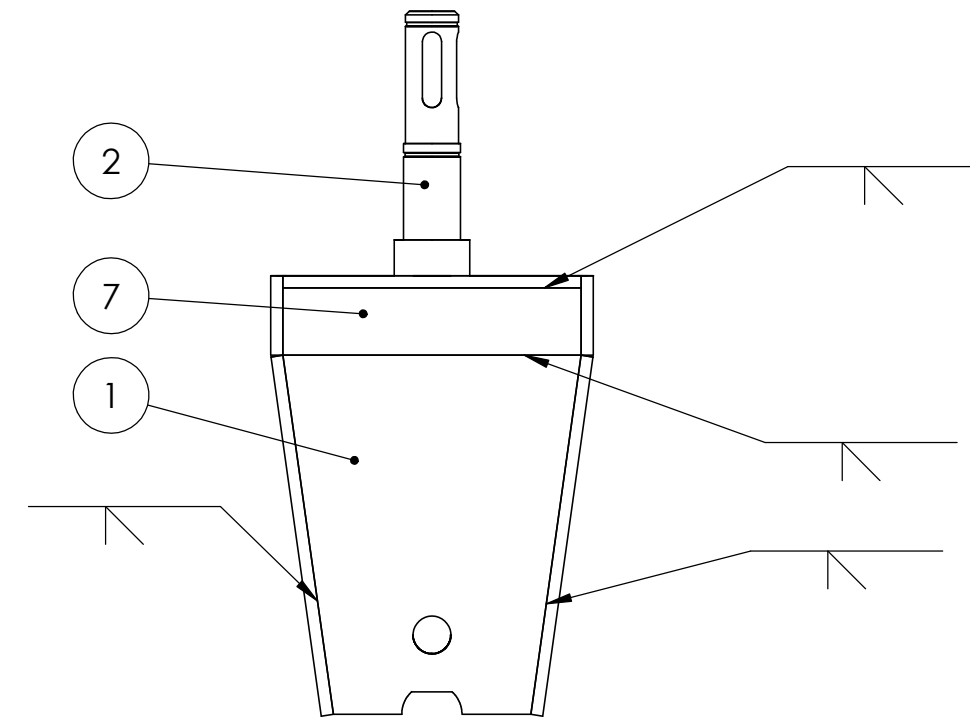
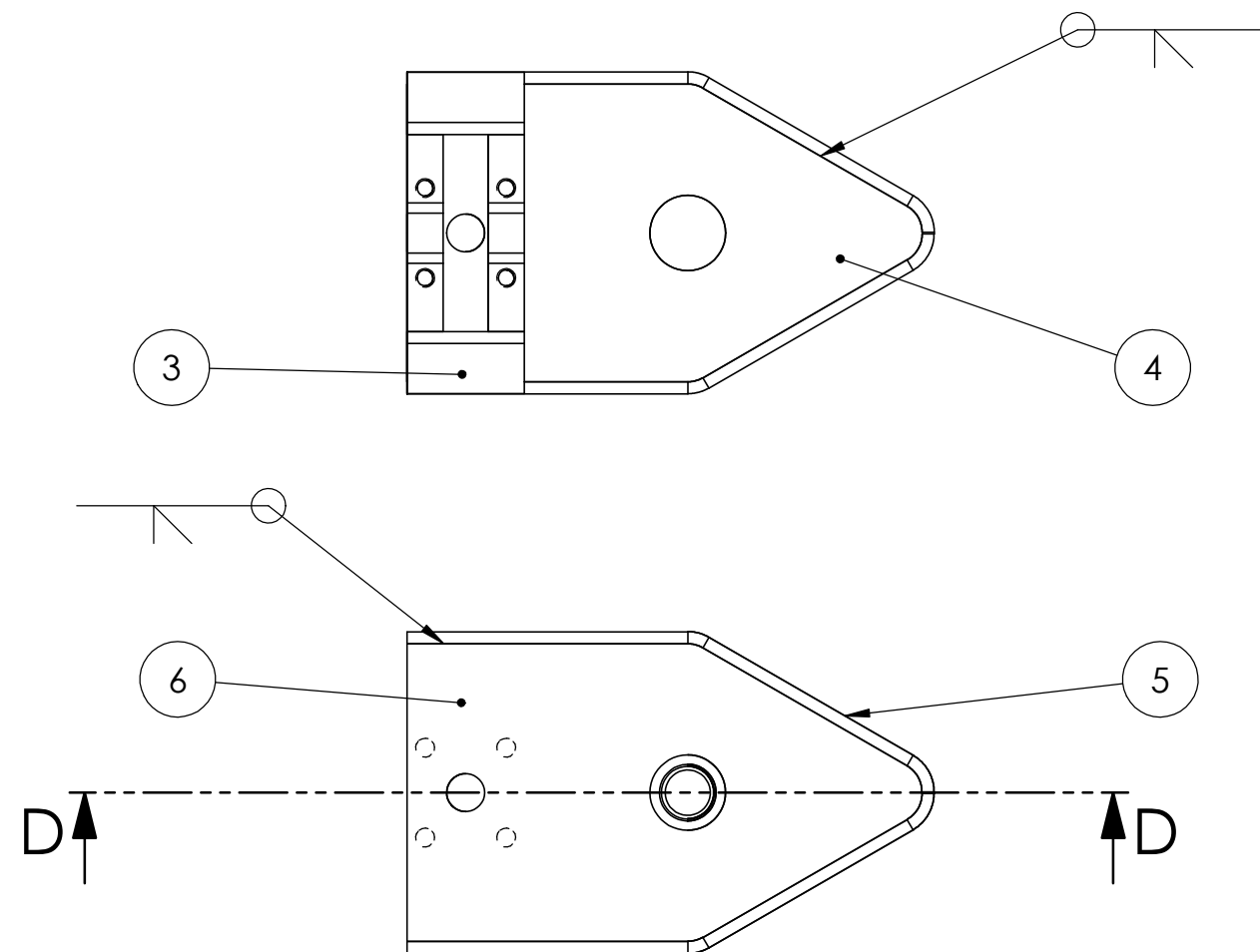
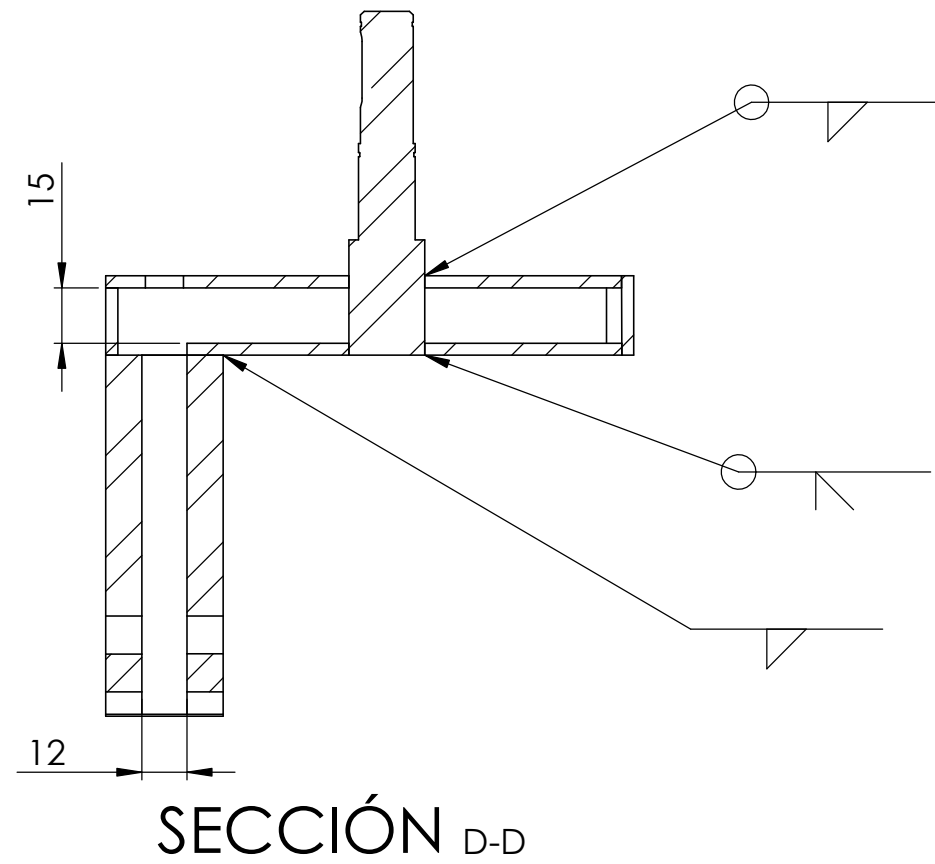
4	Tornillo M5X30	STD-02		4
3	Pierna	CTO-13		1
2	Cierre de pierna	CTO-14		1
1	Rueda	STD-01		1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CÓDIGO	OBSERVACIÓN	CANTIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL
 ESCUELA INGENIERIA MECANICA
 ROSARIO

MÓDULO DE TRACCIÓN

	NOMBRE	ESCALAS		Nº CTO-12
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:2		
APROBO				



7	Tapa lateral encofrado	CC-03		1
6	Tapa superior encofrado	CC-01		1
5	Cierre encofrado	CP-06		1
4	Tapa inferior encofrado	CC-02		1
3	Tapa lateral pierna	CC-04		2
2	Eje de giro	MEC-02		1
1	Lateral pierna	MEC-01		2
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	OBSERVACIÓN	CANTIDAD

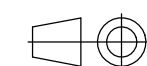


DISEÑO INDUSTRIAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

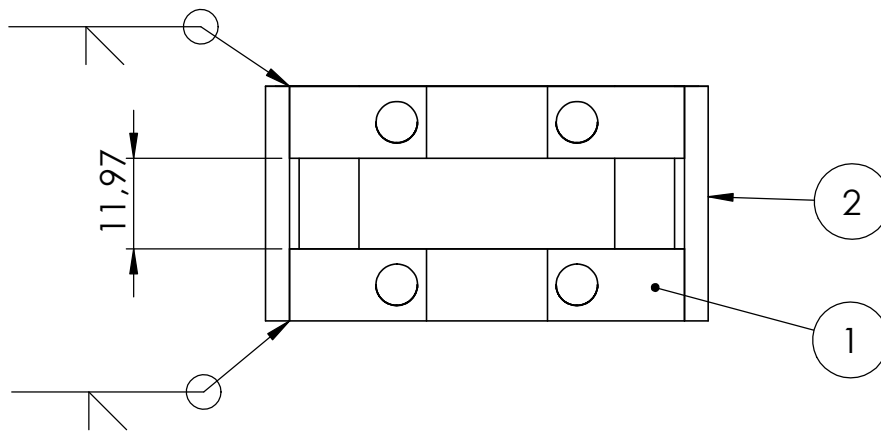
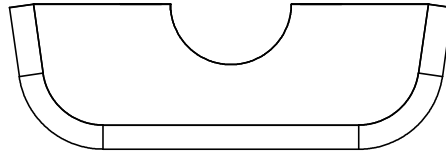
PIERNA PARA MODULO DE TRACCIÓN

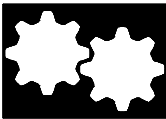
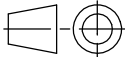
DIBUJO	APROBO
ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	

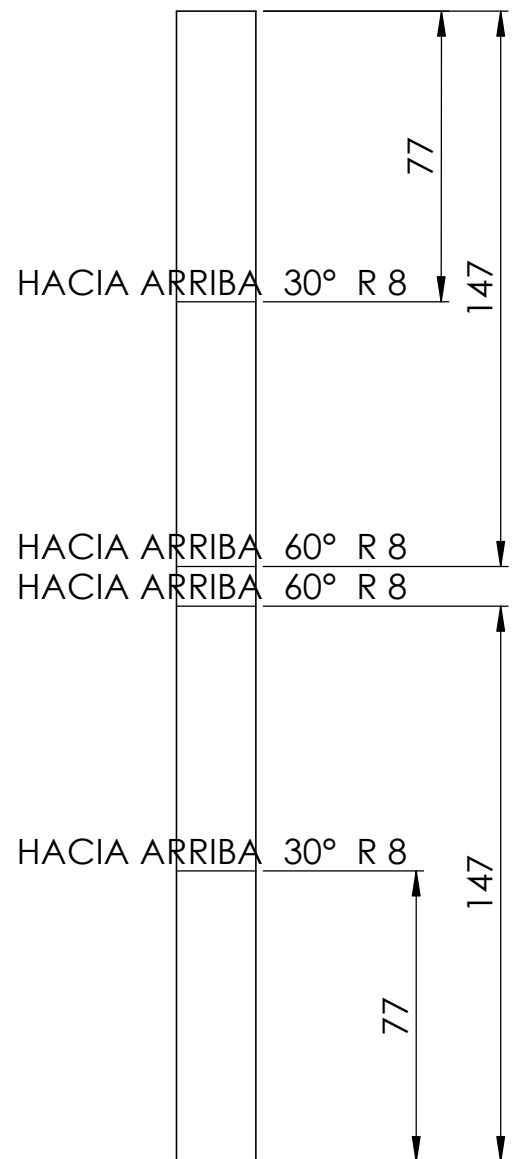
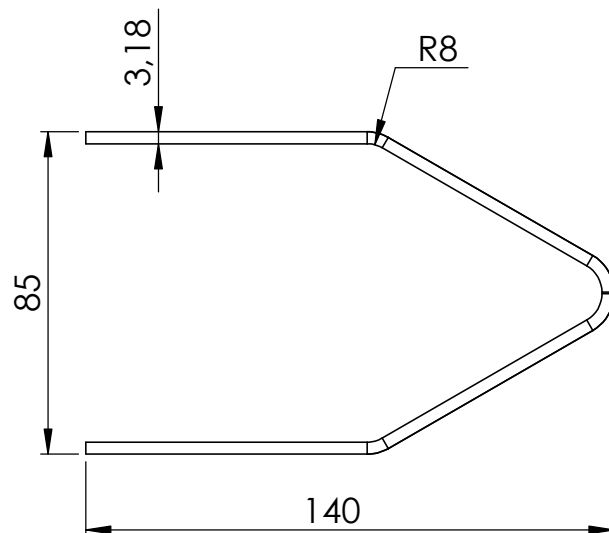
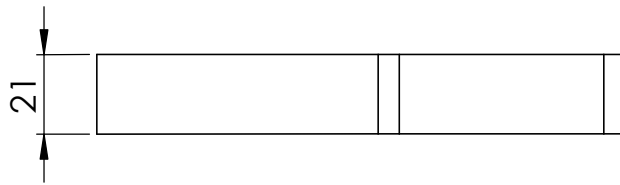
ESCALAS
1:2



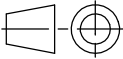
Nº CTO-13

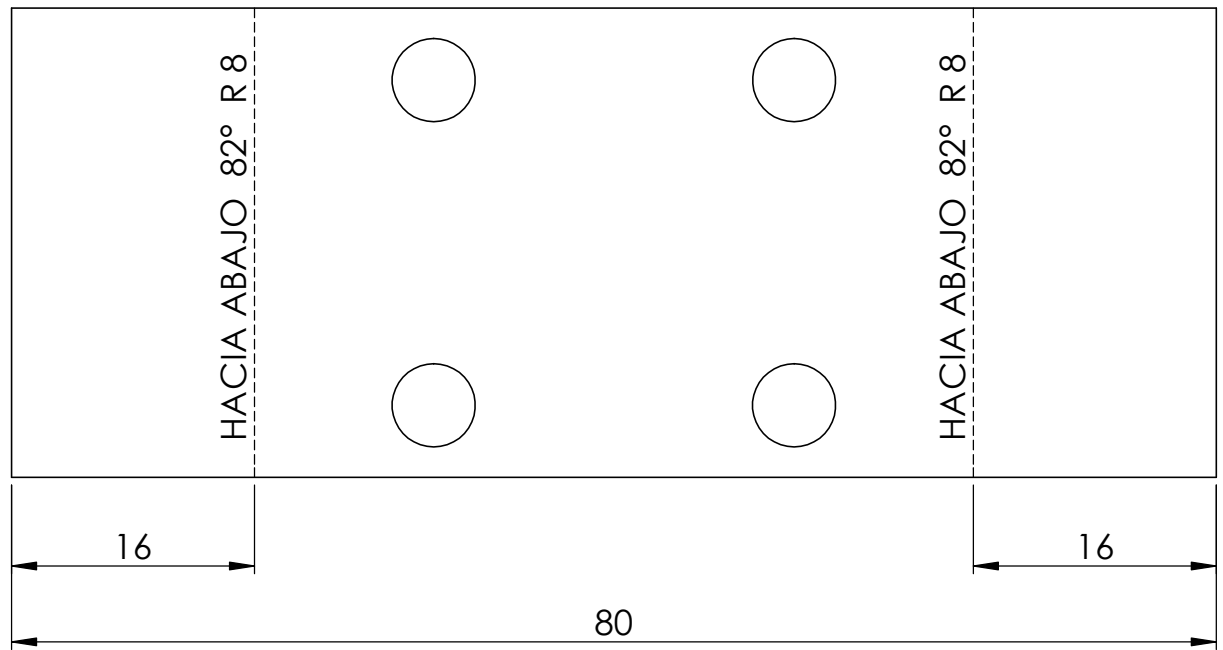


2	Recubrimiento de cierre	CP-08		1
1	Centro de cierre	MEC-03		2
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE COMPONENTE	CÓDIGO	OBSERVACIÓN	CANTIDAD
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO			CIERRE DE PIERNA	
	NOMBRE	ESCALAS		Nº CTO-14
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:1		
APROBO				

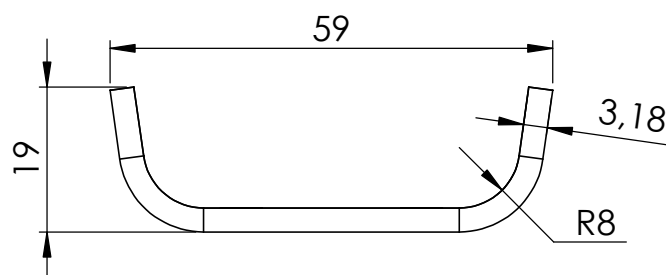
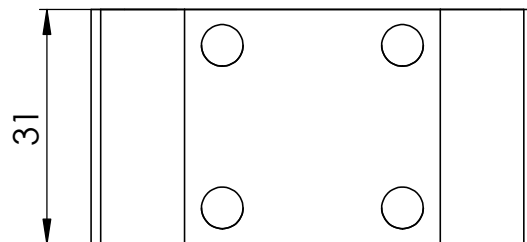


NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

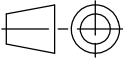
1	CIERRE ENCOFRADO	CC-06	5	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		CIERRE ENCOFRADO		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° CP-06	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:2		
APROBO				

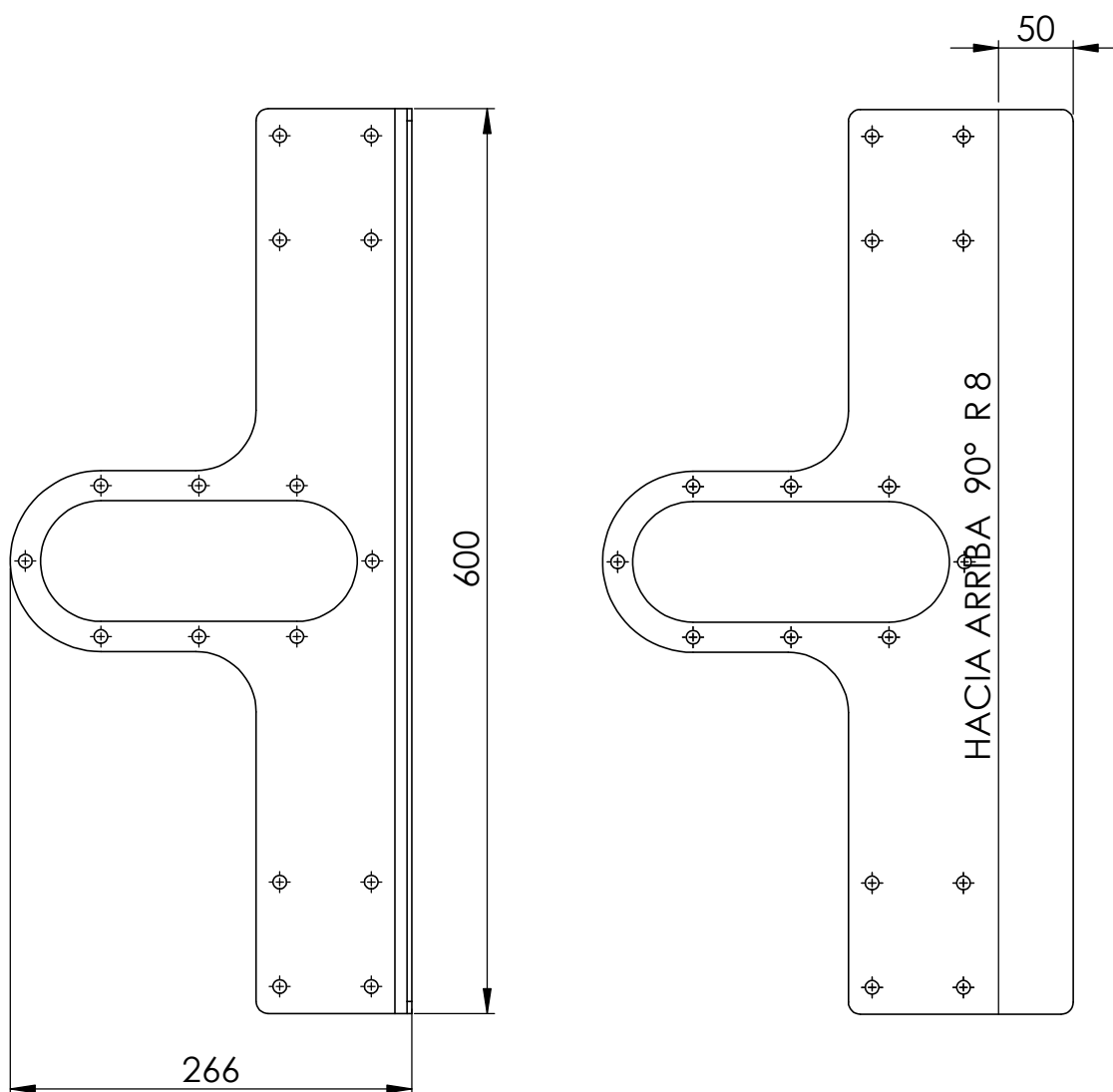


ESCALA 2:1

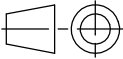


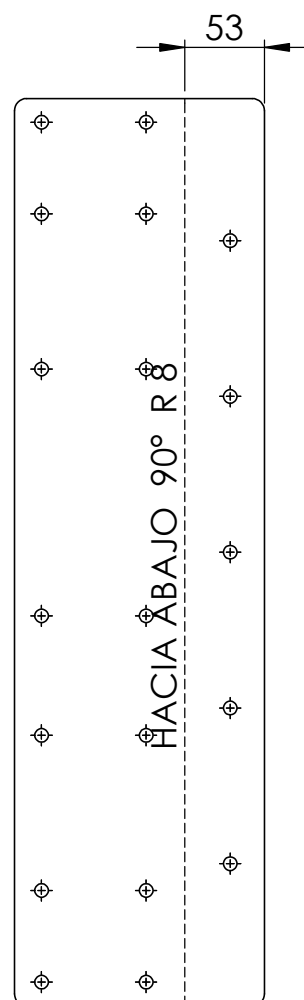
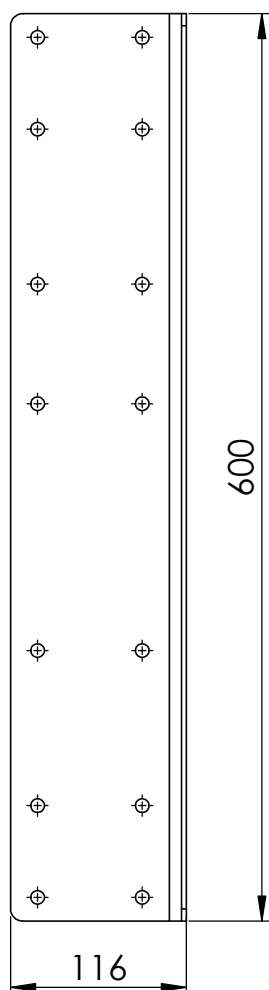
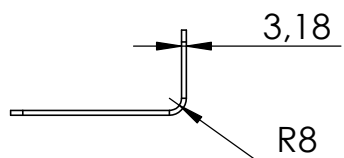
NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	RECUBRIMIENTO DE CIERRE	CC-08	5	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		RECUBRIMIENTO DE CIERRE		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° CP-08	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:1		
APROBO				

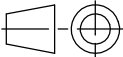


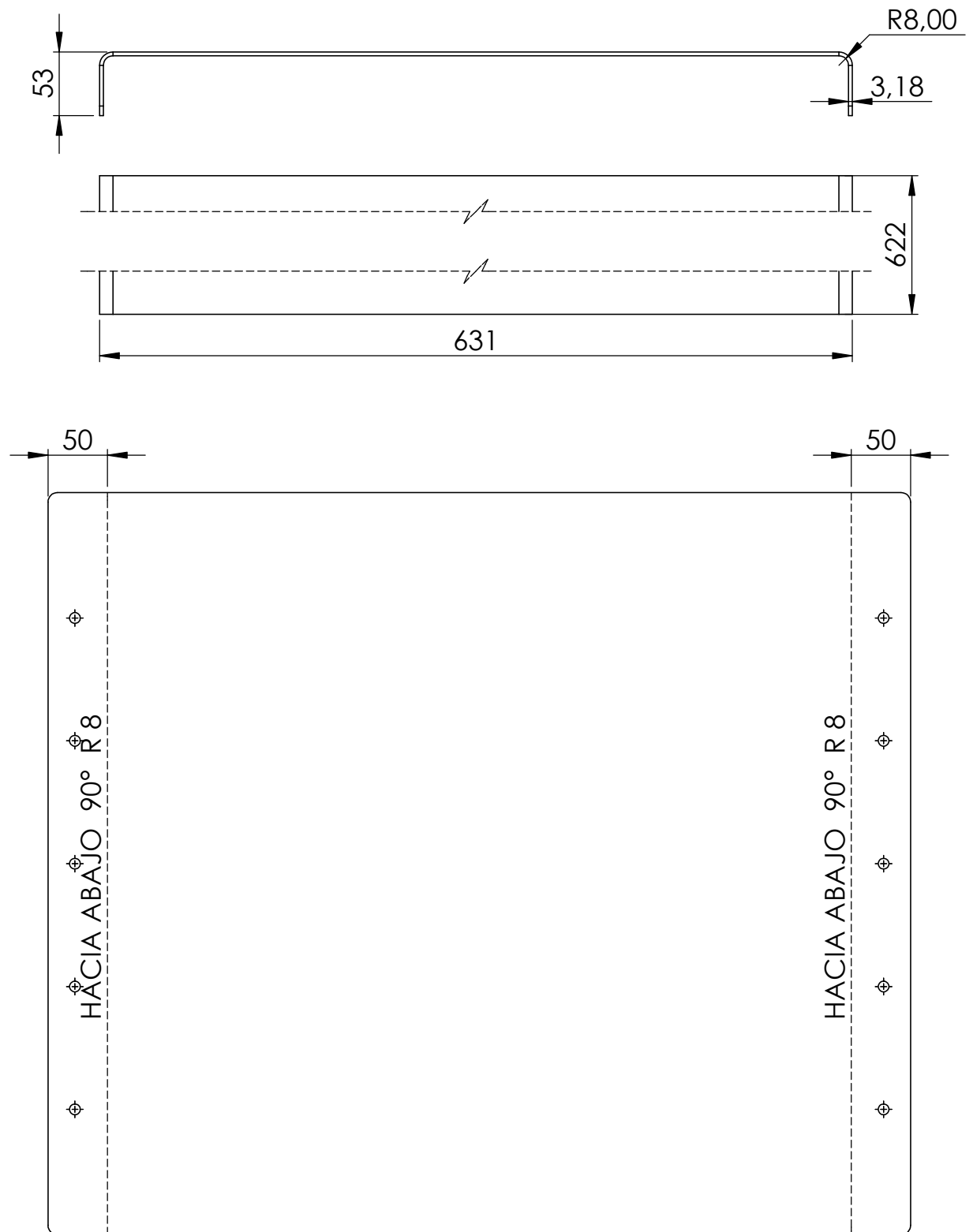
NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	BASE PARA MODULO DE TRACCIÓN DIRECCIÓN	CC-10	5	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		BASE PARA MODULO DE TRACCIÓN-DIRECCIÓN		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° CP-10	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:5		
APROBO				

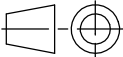


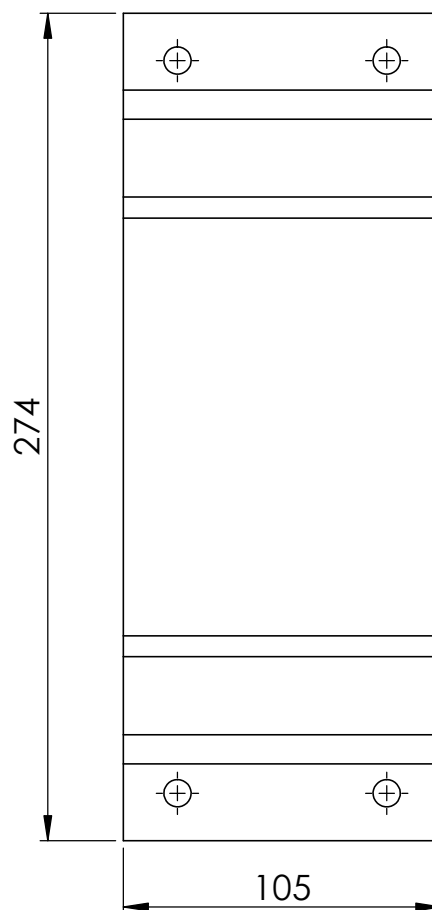
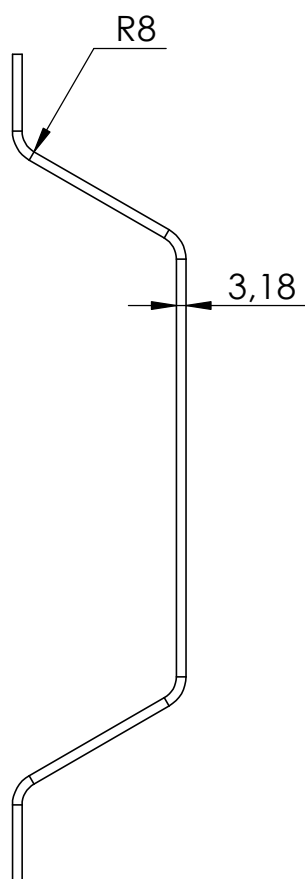
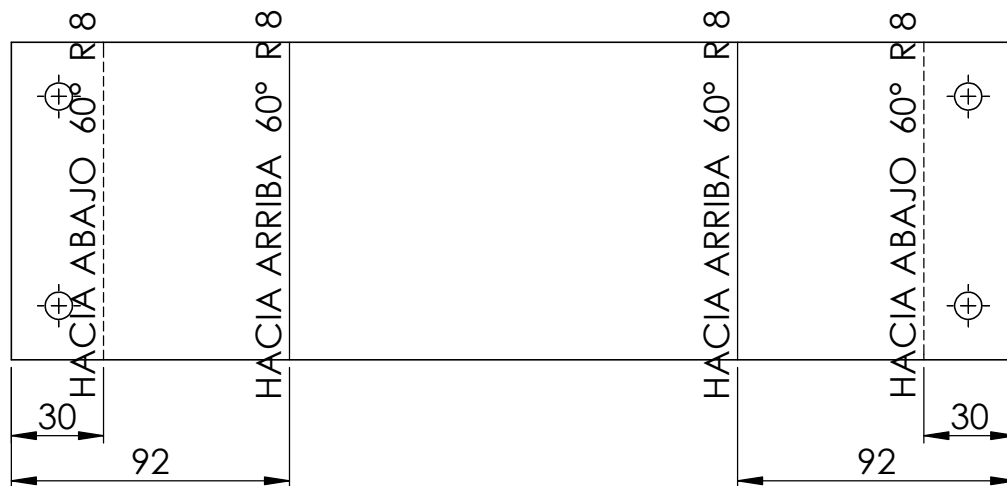
NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	BASE PARA RUEDAS CASTER	CC-11	6	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		BASE PARA RUEDAS CASTER		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° CP-11	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:5		
APROBO				

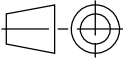


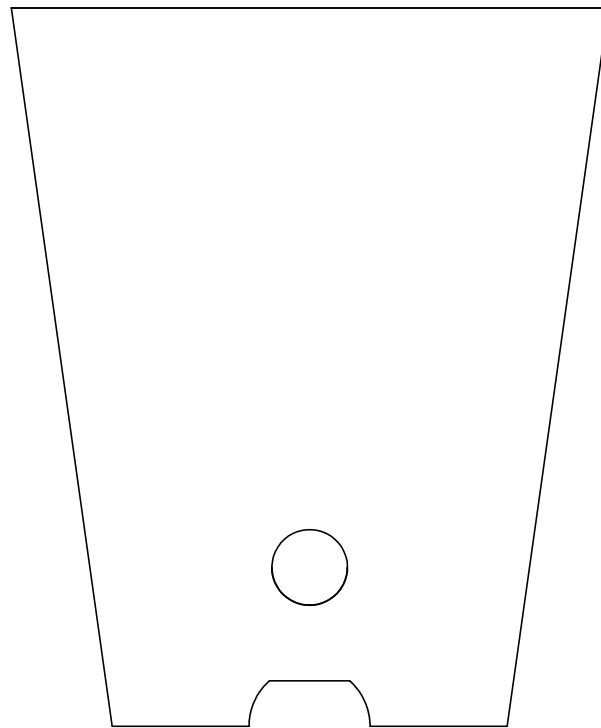
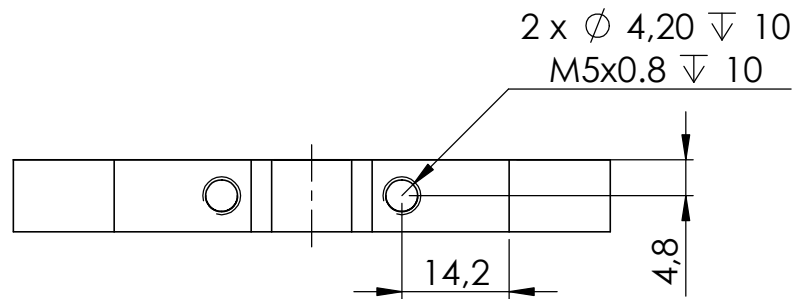
NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	TAPA DE CHASIS	CC-12	2	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TAPA DE CHASIS		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° CP-12	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:5		
APROBO				

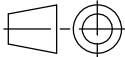


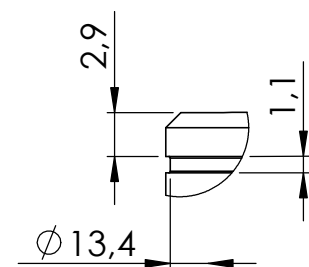
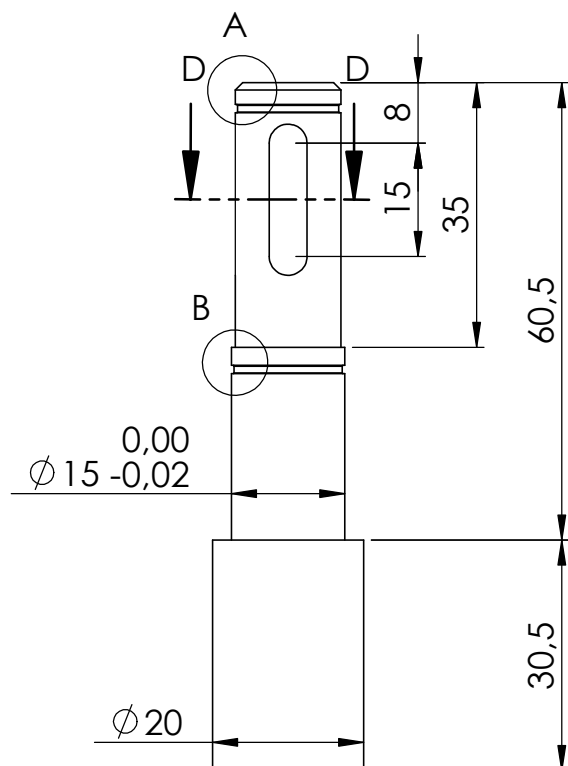
NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	SOPORTE PARA RUEDAS	CC-13	6	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		SOPORTE PARA RUEDAS		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° CP-13	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:2		
APROBO				

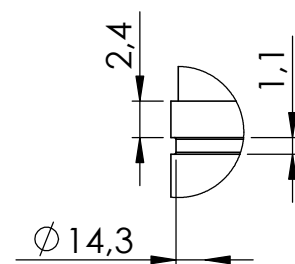


NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

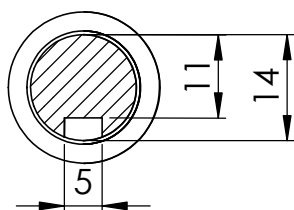
1	LATERAL PIERNA	CC-05	10	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		LATERAL PIERNA		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° MEC-01	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:1		
APROBO				



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

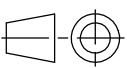


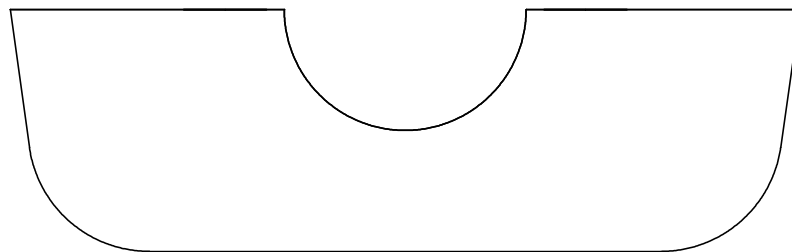
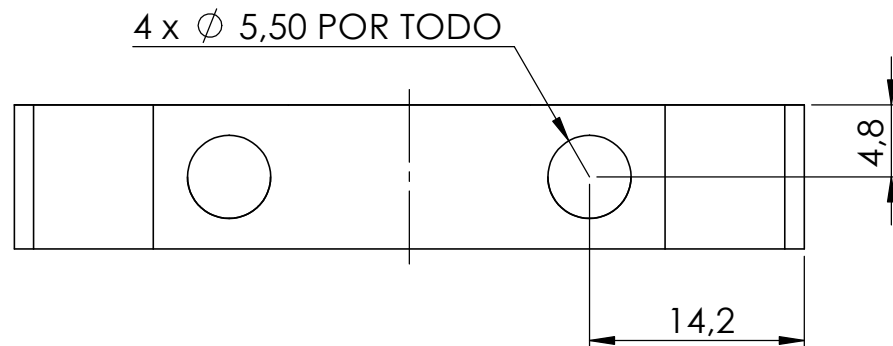
DETALLE B
ESCALA 2 : 1



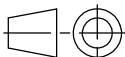
SECCIÓN D-D

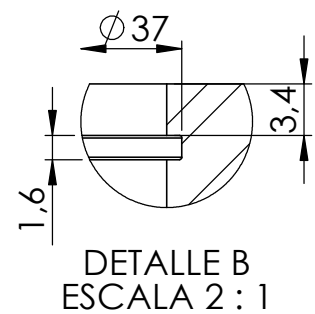
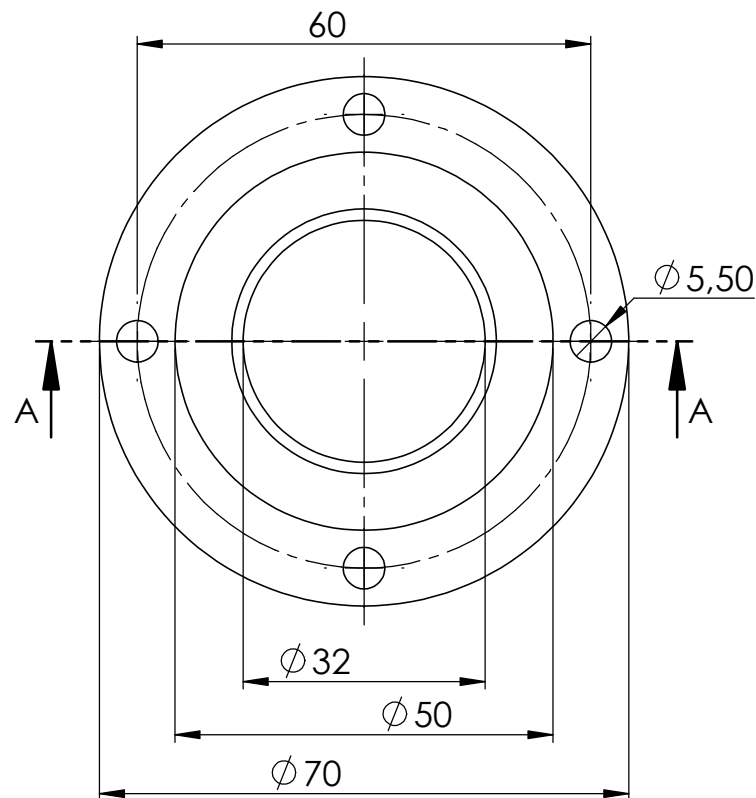
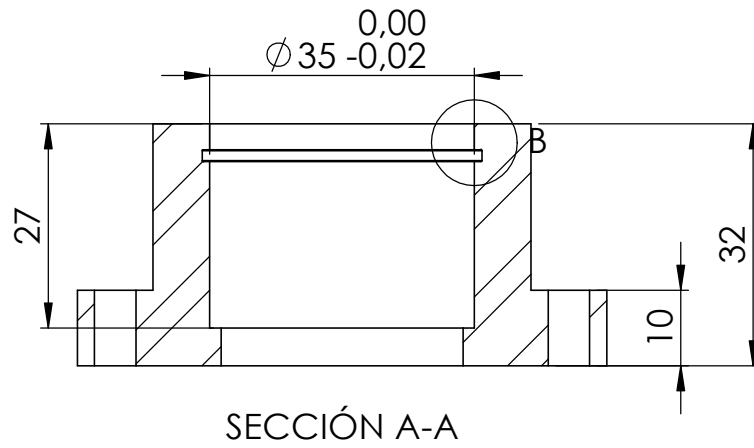
NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	EJE DE GIRO	SAE 1010	5	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		EJE DE GIRO		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° MEC-02	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:1		
APROBO				

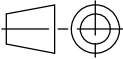


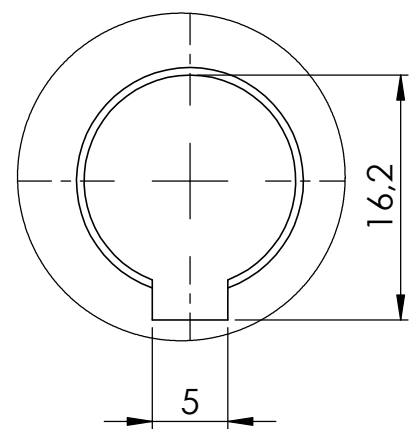
NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	CENTRO DE CIERRE	CC-06	10	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		CENTRO DE CIERRE		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° MEC-03	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	2:1		
APROBO				

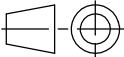


NOTA: Tolerancias no acotadas según DIN 2768.

1	CUBO DE ACOUPLE	SAE 1010	3	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		CUBO DE ACOUPLE		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° MEC-04	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:1		
APROBO				



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

1	CUBO BLOQUEADO	SAE 1010	2	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 DISEÑO INDUSTRIAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		CUBO BLOQUEADO		
	NOMBRE	ESCALAS	 N° MEC-05	
DIBUJO	ABERASTURI, BELTRÁN, FURLAN	1:1		
APROBO				