

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Diseño de equipo automatizado para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Autor: Iranzu Balbuena, Alfredo

Director: Latorre Biel, Juan Ignacio

Tudela, junio 2018

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

RESUMEN:

El presente trabajo tiene como objetivo principal el desarrollo de un dispositivo para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos de manera autónoma.

El rendimiento de los paneles solares se reduce significativamente con la acumulación de suciedad. Esta suciedad se puede dividir en diferentes clases, y para limpiarla totalmente se recurre a técnicas manuales muy rudimentarias.

Se trata de idear una máquina capaz de eliminar la suciedad de las placas solares de modo que evite la manipulación manual de cargas con un sistema completamente autónomo e integrador.

El dispositivo dispone de un sistema de tracción capaz de solventar las pendientes lógicas de las placas solares. También de un sistema de limpieza novedoso fruto de la investigación, con el que se puede eliminar cualquier suciedad optimizando recursos. Integrando, además un sistema de control y potencia con el que la máquina realizará todo su trabajo sin necesidad de intervención humana.

PALABRAS CLAVE:

Robot móvil, limpieza automática, paneles solares fotovoltaicos, tracción oruga.

ABSTRACT

This final degree dissertation presents as main objective the development of a device aimed at cleaning photovoltaic panels in an autonomous way.

The performance of solar panels drops in case of accumulation of dirt. Dirt can be classified in different types. Cleaning it completely requires the application of very rudimentary manual techniques.

The designed machine is able to remove dirt from solar panels, avoiding the manual handling of loads, using a system that is completely autonomous and integrator.

This device includes a continuous track able to move the robot along the usual slopes of solar panels. Additionally, it counts on a novel cleaning system, product of a research, able to remove any dirt, optimizing the required resources. The robot also integrates a control and power system, allowing the device to develop its job without human intervention.

KEYWORDS

Mobile robot, automatic cleaning, photovoltaic solar panels, caterpillar track.

ÍNDICE

1. NECESIDAD A RESOLVER.....	11
1.1. Principios básicos de la energía solar fotovoltaica.....	11
1.2. Efecto de la suciedad en un panel solar.....	13
1.2.1. ¿Por qué baja el rendimiento con la suciedad?.....	13
1.2.2. Tipos de suciedad.....	15
1.3. Factores que influyen en el rendimiento.....	17
1.3.1. Fase de investigación primera.....	19
1.3.2. Fase de investigación segunda.....	20
1.4. Conclusiones.....	22
2. OBJETIVOS Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	23
2.1. Objetivos y especificaciones concretas.....	23
2.2. Normativa aplicable.....	24
2.2.1. Disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo.....	25
2.2.2. Disposiciones relativas a la utilización de los equipos de trabajo.....	29
3. ESTUDIO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS.....	31
3.1. Soluciones manuales alternativas en el sector de las fotovoltaicas.....	31
3.1.1. Sistema de limpieza con pértigas.....	31
3.1.2. Sistema de limpieza con agua a presión.....	32
3.1.3. Sistema de rodillo autopropulsado.....	32
3.2. Soluciones automáticas alternativas en el sector de las fotovoltaicas.....	33
3.2.1. Sistemas automáticos fijos.....	33
3.2.2. Sistemas de robots portables.....	34
3.3. Alternativas de limpieza en otros sectores.....	37
3.3.1. Limpieza de cristales mediante robots.....	38
3.3.2. Limpieza de suelos mediante robots.....	41
3.4. Soluciones parciales a subproblemas concretos.....	44
3.4.1. Estudio de diferentes sistemas de tracción.....	45
3.4.2. Estudio de métodos de adherencia pasiva.....	48
4. ELECCIÓN JUSTIFICADA DE LA SOLUCIÓN.....	53
5. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	55
5.1. Sistema de tracción.....	55
5.1.1. Cálculo de la banda de rodadura.....	56
5.1.2. Dimensionado del motor.....	57
5.1.3. Materiales empleados y ubicación de elementos.....	60
5.2. Sistema de limpieza.....	61
5.3. Sistema de control y potencia.....	64

5.4. Ensamblaje y montaje final	68
6. PRESUPUESTO	75
6.1. Tornillería.....	75
6.2. Perfiles aluminio.....	77
6.3. Elementos comerciales.....	78
7. COMPROBACIÓN DE ESPECIFICACIONES	79
8. CONCLUSIONES.....	81
9. LÍNEAS FUTURAS.....	83
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	87

1. NECESIDAD A RESOLVER

Este proyecto tiene como fin último el diseño de una máquina que pueda resolver una necesidad real. En este apartado se explora la necesidad que se cubre con este proyecto. Se realizará de lo más general a lo más específico, llegando a una conclusión para finalizar.

1.1. Principios básicos de la energía solar fotovoltaica

Como todo el mundo sabe, la energía renovable para la generación de electricidad es uno de los campos de mayor investigación y desarrollo de todo el mundo. Se ha conseguido generar electricidad a través de casi cualquier forma de energía medioambiental; del movimiento de las olas, del fluir del viento, de los volcanes incluso y, sobre todo, del gran núcleo ígneo que denominamos sol.

Es la energía solar una de las principales energías renovables donde más queda por hacer para sacarle mayor rendimiento a esa energía que nos aporta cada día del año el sol.

La tecnología más común que hoy en día disponemos para convertir la energía solar en electricidad es la que parte de un semiconductor de silicio, a la que llamamos célula fotovoltaica y que a través del efecto fotovoltaico consigue generar esta electricidad. Este efecto parte del efecto fotoeléctrico descubierto por Heinrich Hertz; el efecto fotovoltaico, consiste en la transformación parcial de energía lumínica en energía eléctrica.

Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor.

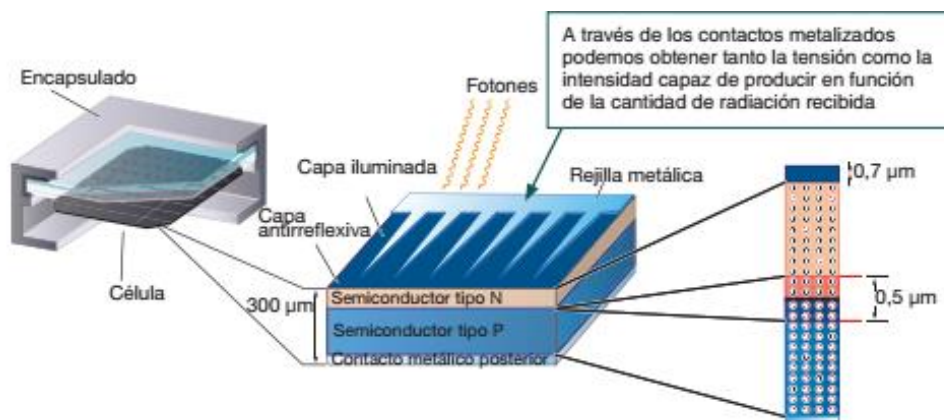


Fig.1.1. Estructura de la célula solar.

A partir de varias células solares construimos un panel solar, capaz de proporcionarnos corrientes y tensiones de mayores magnitudes, con lo que podremos ser capaces de operar con ellas; para elevarlas de tensión, para modificarlas, etc.

El panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión [1].

En la siguiente figura se destacan las características más importantes de un panel solar.

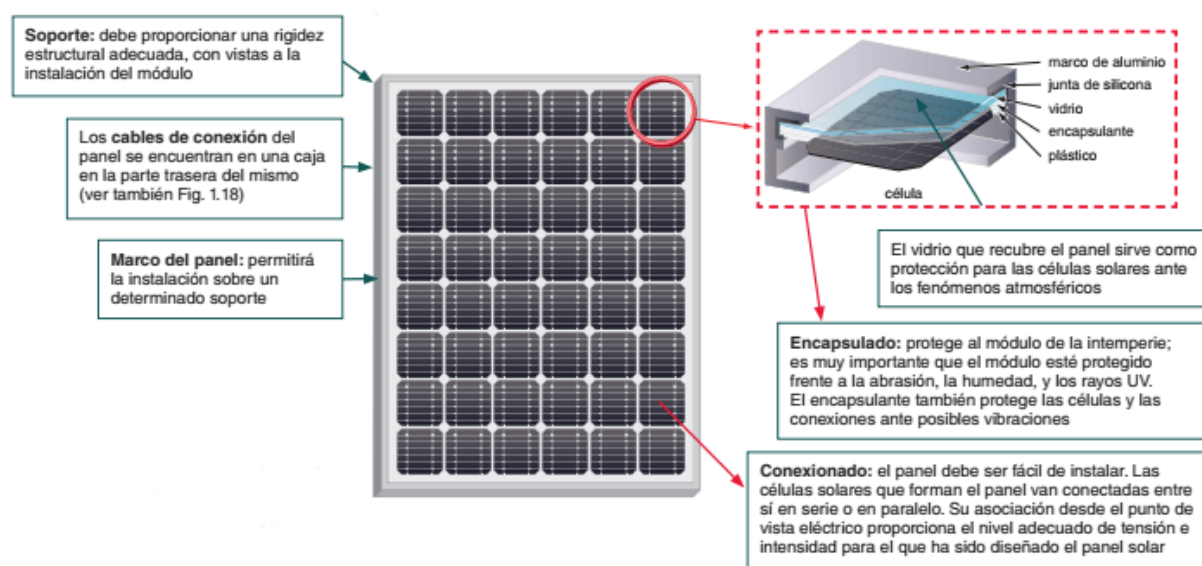


Fig1.2. Constitución de un panel solar.

Lo más importante de un panel solar es la parte de protección de la célula, que se consigue a través del vidrio y del encapsulante; y, también, del conexionado entre células, este conexionado nos permite, a través de la conexión en serie o en paralelo de diferentes células, conseguir una tensión del panel y una intensidad requerida; siempre y cuando el sol incida sobre el panel de la manera correcta.

Existen diferentes tipos de paneles dependiendo de la tecnología de fabricación de las células, es decir, material de silicio con mejor o peor capacidad de captar la energía lumínica y transformarla en energía eléctrica. Estos pueden ser:

- **Monocristalino:** Con un rendimiento directo entre el 15% y el 18%, se obtiene del silicio puro fundido dopado con boro.
- **Policristalino:** Rendimiento directo entre 12% y 14%, cuya obtención es como el monocristalino, pero con menos fases de cristalización.

- Amorfo: Rendimiento directo menor del 10%. Prácticamente no se fabrica, ha caído en desuso puesto que el precio de todos los paneles ha caído y ya no es necesario perder rendimiento a causa del precio.

Como se puede observar, la capacidad máxima que tiene un panel hoy en día para convertir la luz solar en electricidad no llega al 20%.

Otro aspecto relevante es el tamaño de los paneles solares, puesto que esta característica será fundamental en las especificaciones geométricas del prototipo inicial. También la configuración de los strings tanto para huertos solares como en viviendas de particulares. Tras realizar un análisis en varias empresas para localizar el tamaño más común de placa solar, se determina que este tamaño es de 1639x983mm. Es este aspecto lo que determinará muchas de las relaciones geométricas posteriores del diseño.

Es por esto por lo que ya no se puede perder más capacidad debido al mal uso o al desuso de los paneles solares fotovoltaicos; es necesario mantener estos niveles de rendimiento para mantener la viabilidad y la competitividad de este sector a largo plazo, y no depender únicamente del apoyo gubernamental para generar competencia con otros sectores y aupar la generación de electricidad a través de la fotovoltaica al siguiente escalón. Para ello son necesarios procesos de inversión en I+D+i.

1.2. Efecto de la suciedad en un panel solar

Como se ha visto, el panel solar tiene un recubrimiento de vidrio en la parte más externa del conjunto, además posee un marco de aluminio que puede actuar como disipador del calor en según qué momentos. El vidrio permite pasar el máximo de fotones hacia la célula para que se dé el efecto fotovoltaico y se pueda producir electricidad. Pero, qué ocurre cuando esta lámina de vidrio se ensucia; y no solo eso, qué tipo de suciedad podemos observar en una placa solar y que efectos produce en el rendimiento del panel.

A todas estas cuestiones conviene responder para entender que el panel no funciona siempre y siempre bien. Para responderlas es necesario un proceso de investigación empírico, el cual se empleará para explicar y entender la problemática del asunto.

1.2.1.¿Por qué baja el rendimiento con la suciedad?

El efecto de la suciedad tuvo gran importancia en los inicios de esta tecnología, puesto que la construcción e instalación de paneles era muy costosa y el efecto de la suciedad hacía que se perdiese mucha energía por el camino. Hoy en día es una pérdida que no se tiene muy en cuenta, debido a las grandes dimensiones que tienen los huertos solares y lo costoso de su

mantenimiento, el cual ronda entre los 10.000 y 22.000 dólares por megavatio [2], llevándose prácticamente el 50% del presupuesto de una instalación tras la construcción de la misma.

Para conocer la realidad del impacto de la suciedad en el panel solar, se explicará el porqué de la pérdida de rendimiento a consecuencia de esta suciedad. Será necesario un estudio de los tipos de suciedad que se dan en un panel solar y la situación geográfica de las zonas donde más se da el efecto de la suciedad.

Las pérdidas por suciedad se refieren a la pérdida de potencia de un panel solar como resultado de la acumulación, en la superficie del mismo, de nieve, porquería, polvo u otros elementos que no suelen superar los 10 micrómetros de diámetro [3].

La suciedad viene generada por diferentes fuentes, como el viento, erupciones volcánicas, polución industrial, movimiento de vehículos y muchas otras causas. La acumulación de suciedad agrava el problema, y el rendimiento del panel baja de manera considerable cuando no se solventa este problema [4]. La siguiente figura muestra de una manera muy ilustrativa las zonas del planeta donde más efecto de suciedad se produce a causa del polvo suspendido en la atmósfera.

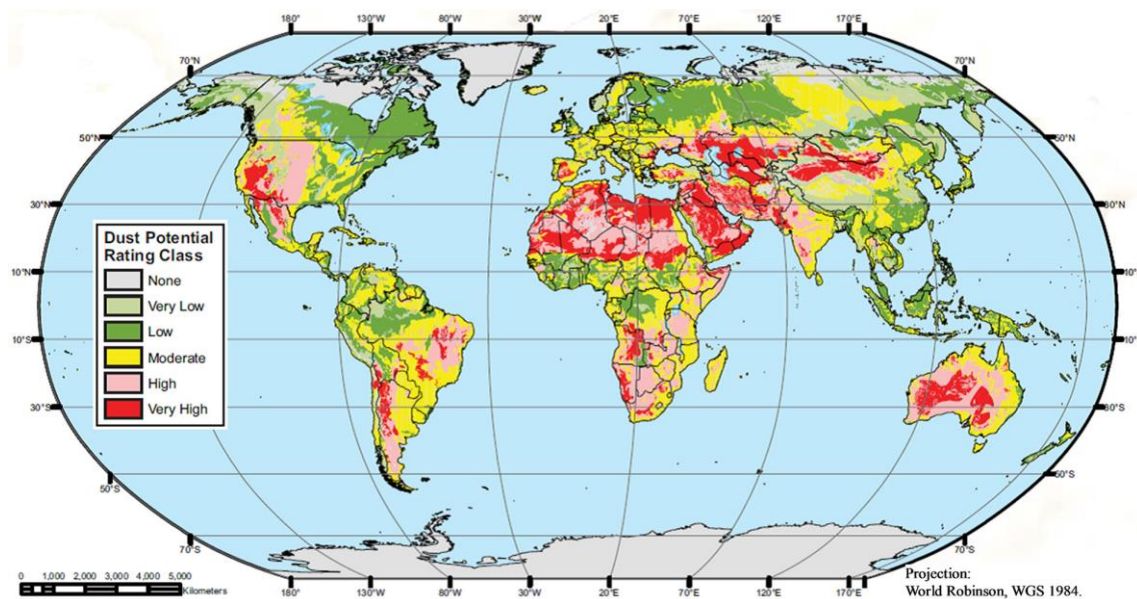


Fig.1.3. Intensidad de polvo mundial.

El término suciedad se suele usar para describir la acumulación de nieve, mugre, polvo, hojas de árboles, polen o excrementos de aves en paneles solares fotovoltaicos. El rendimiento de un panel solar baja de manera sustancial conforme se acumula mayor suciedad en su superficie.

Además de la bajada de potencia de un panel solar por culpa de la suciedad, algunos tipos de suciedad como las hojas, los excrementos de aves o concentraciones localizadas de mugre,

hacen que ocurra un efecto muy problemático en el panel solar, este efecto se denomina punto caliente.

Para explicar el efecto de punto caliente, imaginemos una serie de 10 células fotovoltaicas conectadas en serie, y una de ellas, a través de suciedad localizada, se halla sombreada y no es capaz de realizar el efecto fotovoltaico. Lo que sucedería es que la energía generada por el resto de células fotovoltaicas se disiparía en forma de calor a través de la célula sombreada, ya que esta haría de resistencia al conjunto en serie de células.

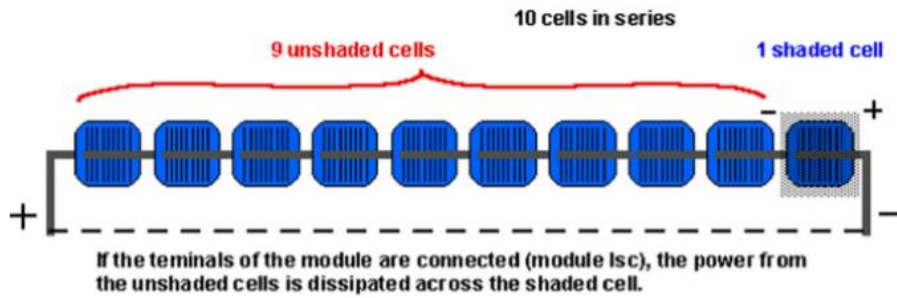


Fig.1.4. Efecto de sombreado parcial (Mohammed).

Este efecto acabaría fastidiando el panel si no se aplican medidas. Una de ellas sería aplicar un diodo de derivación a cada conjunto de células en serie, cuyo funcionamiento sería como el de un puente, en el momento en el que ocurre el sombreado parcial, como la corriente del conjunto de células viene limitada por la de menor corriente, acabaría pasando por el diodo, evitando la formación de un punto caliente en el panel.

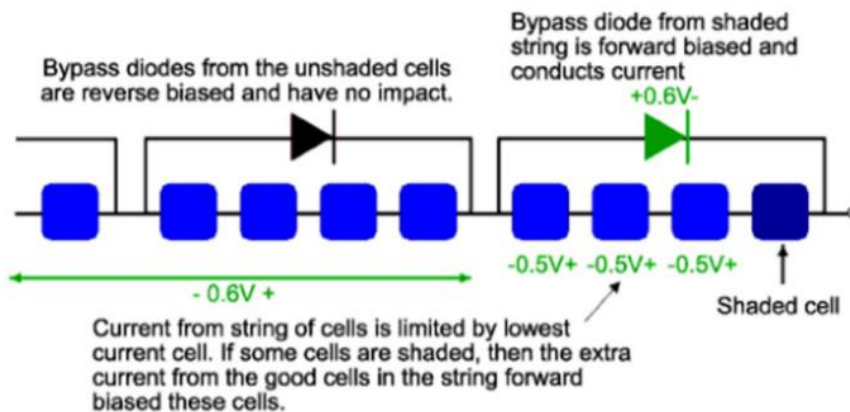


Fig.1.5. Diodo de derivación (Mohammed).

1.2.2. Tipos de suciedad

Por lo general, existen dos tipos de sombreado por culpa de la suciedad, el sombreado suave y el sombreado duro.

El sombreado duro es el que ocurre cuando un sólido como el polvo acumulado obstruye la luz del sol de forma clara y definible. Por otro lado, el sombreado suave tiene lugar cuando algunas partículas como el smog en la atmósfera, o algo de polvo en la superficie del panel, reduce la intensidad general de irradiación solar que es absorbida por las células solares.

Cada uno de estos tipos de sombreados por suciedad tienen unos efectos diferentes en el panel solar fotovoltaico. El sombreado suave reduce la corriente de la placa, pero mantiene el voltaje con el mismo valor. En cambio, el sombreado fuerte depende de qué células sean sombreadas para el rendimiento del panel. Si algunas células están sombreadas, siempre y cuando el resto reciban irradiación solar, habrá flujo de corriente [3]. Tal y como se explicó antes, es posible que surja el efecto del foco caliente, pero se puede solventar con un diodo de derivación, aunque la intensidad sería menor, en cualquier caso. En el caso de que todas las células se encuentren bajo un sombreado fuerte, el panel no producirá corriente.

En las siguientes figuras se aprecia el comportamiento que tiene un panel solar al que se le aplica cada uno de estos sombreados.

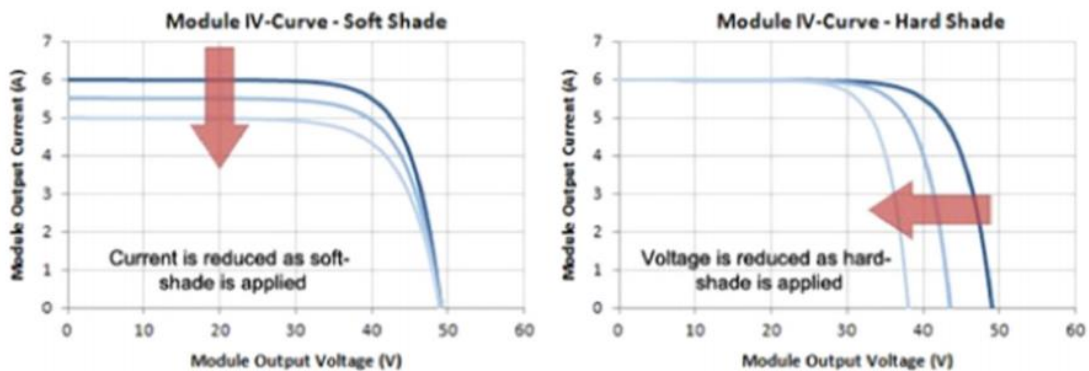


Fig.1.6. Características de corriente-voltaje bajo diferentes sombreados(Mohammad).

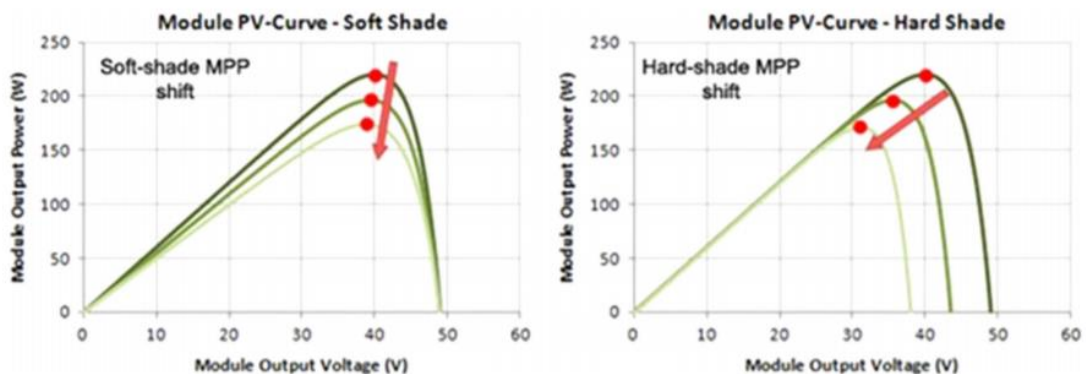


Fig.1.7. Características de potencia-voltaje bajo diferentes sombreados(Mohammad).

Como se puede observar, en ambos casos se efectúa una pérdida de potencia considerable, aunque para el sombreado suave sea a través del decremento de corriente y para el sombreado duro sea a través de la pérdida de tensión.

El efecto del sombreado parcial, tanto duro como suave, causado en diferentes placas en serie (string), afectará al inversor conectado a todas las placas en paralelo. El sombreado parcial dificultará al inversor encontrar el punto más alto de potencia entre todos los strings, puesto que le llegarán diferentes puntos máximos de potencia, y es posible que el inversor no efectúe su procedimiento al punto más alto de potencia.

En la siguiente figura se entiende el efecto que tiene el sombreado parcial sobre el inversor.

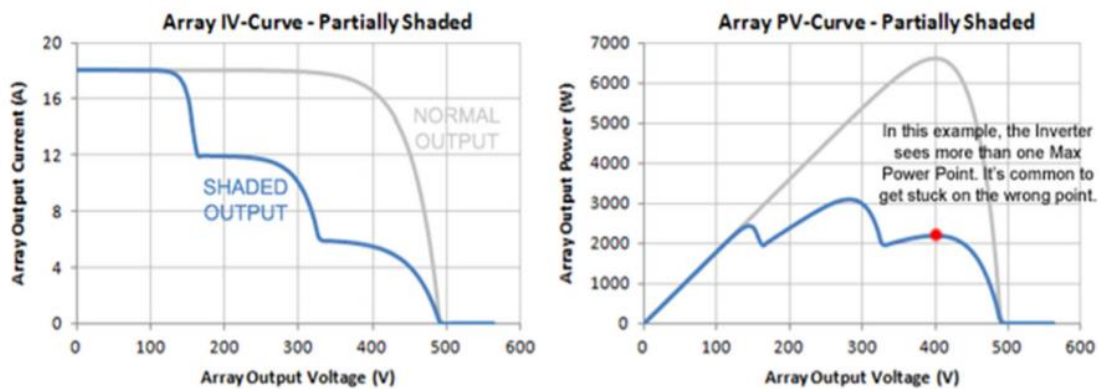


Fig. 1.8. Efecto del sombreado parcial en el inversor(Mohammad).

1.3. Factores que influyen en el rendimiento

Para comenzar es necesario saber que existen muchos factores que determinan el rendimiento máximo de un panel solar, a parte de los que ya hemos visto, como el material que se emplea en la célula y el tipo de fabricación de la misma.

Otro tipo de factores se pueden clasificar según sean alterables o no. Los factores que se pueden alterar proporcionan una flexibilidad en el diseño que dependen de unos requisitos

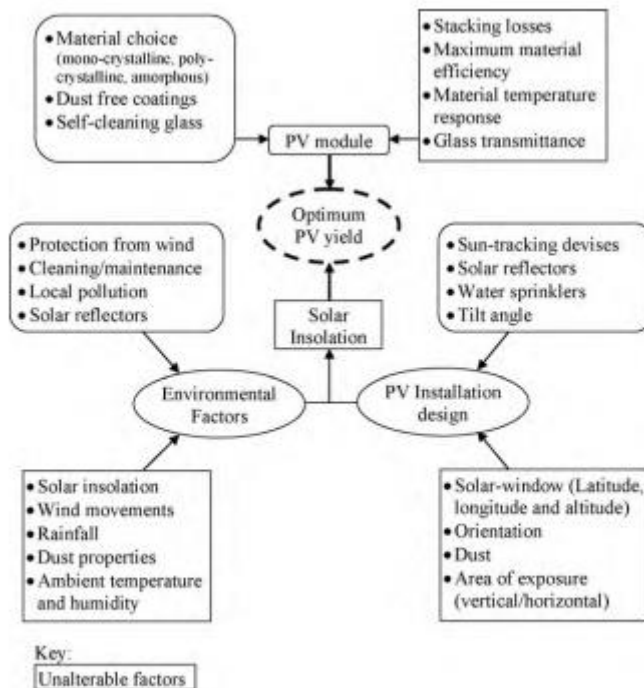


Fig. 1.9. Factores que determinan el rendimiento del panel solar (Montomani).

variables. Los factores que permanecen inalterables se acomodan al diseño por defecto. La conjunción de estos dos tipos de factores determina el rendimiento final del panel solar. A modo de resumen, se visualiza en la Fig.9. los tipos de factores que influyen en el rendimiento y cuales son alterables y cuáles no [5].

Una vez que existe una planta solar conformada por muchos paneles solares en un lugar concreto, es decir, ya se ha llevado a operativa el proyecto de construcción de un huerto solar para la generación de electricidad; o incluso, un propietario de vivienda ya ha decidido poner paneles solares en su tejado y lo ha llevado a cabo; los factores que van a determinar el rendimiento de la instalación se reducen a los factores medioambientales.

Tras efectuar el proyecto, nosotros como propietarios del mismo, únicamente podremos variar el rendimiento futuro a través de la limpieza y mantenimiento de los paneles, ya que el resto de factores variables medioambientales son características inherentes al diseño de la instalación.

Una vez llegados a este punto, se puede estudiar la geolocalización de nuestra instalación, si no se ha hecho previo al diseño y ser capaces de determinar el tipo de factores medioambientales invariables que repercuten en la suciedad del panel para relacionarlo con la limpieza. Y la manera no es otra que, a través del estudio empírico llegar a concluir la capacidad que tienen estos factores de ensuciar el panel solar.

En la siguiente figura se representan los factores que más influyen en la acumulación de suciedad en los paneles solares.

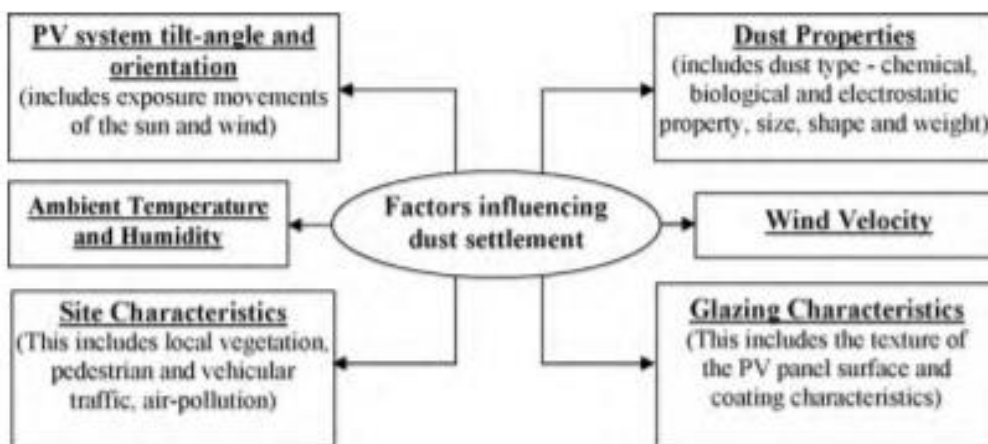


Fig.1.10. Factores que influyen en la suciedad (monto mani).

Se ahondará más en estos factores, a través de investigaciones ya realizadas, para conocer al detalle la relación que tienen con el incremento de suciedad en los paneles solares.

1.3.1. Fase de investigación primera

Los tres primeros factores se estudian a través de procesos empíricos ligados entre sí; cierto es que la investigación de estos factores se remonta a la etapa que va desde 1940 a 1990, pero no por eso se tienen que desechar los resultados, básicamente porque las mediciones se basan en la transmitancia que tiene el vidrio; característica que hoy en día sigue siendo útil para el estudio de la cantidad de radiación solar que le llega a la célula fotovoltaica.

- Según el ángulo de inclinación.

Un estudio llevado a cabo en Arabia Saudí en un periodo de 8 meses arrojó un 32% de reducción de transmitancia por culpa del polvo. El estudio consistió en la comprobación de dos paneles fotovoltaicos con una inclinación de 24, 6º y orientados de la misma forma, uno al lado del otro; en el que uno se limpiaba diariamente y otro en ningún momento de esos ocho meses [5].

Pero el estudio más representativo de esta época para la comprobación del efecto de la suciedad en el rendimiento de las placas solares debido al factor inclinación es un experimento que comprendió siete placas planas, emparejadas de dos en dos en ángulos fijos de 0º, 30º, 60º y una última placa de 90º. En cada par de paneles, se limpió de manera habitual una de las dos placas, mientras la otra se mantenía inalterada; se comprobó la cantidad de energía solar absorbida entre los paneles sucios y se comprobó con sus pares limpios. Una de las observaciones que se efectuó fue una recolección de polvo de 2.5 g/m²/día entre los meses de abril y junio [5].

Acorde con una investigación del mismo autor, realizada en Kuwait, se estudia el efecto del polvo en la transmitancia de placas situadas en ángulos que van desde 0º a 60º, con una pérdida del 64% al 17% respectivamente. Los estudios arrojan unos resultados en base a la inclinación del panel que se representan en la siguiente figura "Fig. 11."

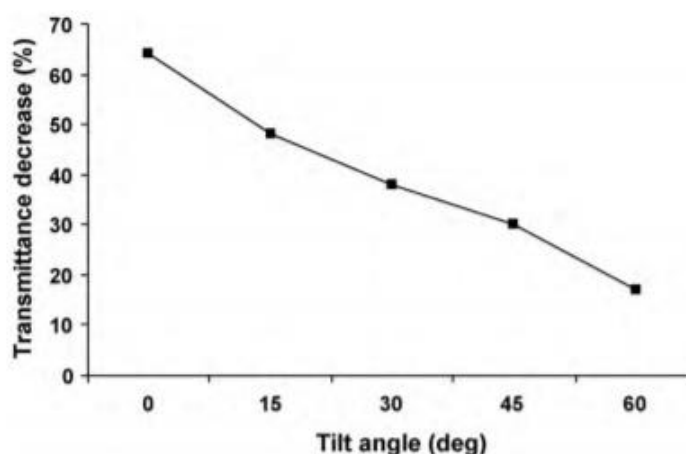


Fig.1.11. Relación de la transmitancia de la luz con la inclinación.

- Según temperatura ambiente y humedad.

En relación a la temperatura ambiente y a la humedad, se elaboró el Kuwait un estudio que confirmó que, en la época de verano y primavera, la suciedad contribuía mucho más (20% en 6 meses) a la pérdida de rendimiento de un panel solar que en otoño e invierno.

- Según las características del lugar.

Otro estudio observa la influencia que tiene la localización del lugar de la instalación en el rendimiento de las placas, es decir, el tipo de clima, humedad, temperatura en la acumulación de la suciedad. Se investigó los efectos de la acumulación de varios meses de polvo en un entorno de desierto marítimo. El estudio le llevó a una pérdida del 7% mensual en un panel solar fotovoltaico.

- Según las características del vidrio.

Un estudio realizado en condiciones desérticas en Thar (India), basado en la comprobación de tres materiales como son el vidrio, el PVC y el acrílico para la comprobación del efecto del material en la deposición de suciedad. Se midió la transmitancia de estos materiales a diferentes ángulos y, además de corroborar la pérdida de potencia debido a la inclinación respecto a la horizontal; también se identificó al vidrio como el material que menos contribuía a la deposición de suciedad en su superficie. También se vio que el PVC se degradaba mucho por la luz ultravioleta con el paso del tiempo.

De momento, lo que podemos determinar es que, cuanto menor es el ángulo de inclinación, mayor es la cantidad de suciedad que se deposita en el panel solar. También podemos decir que cuanto mayor sea la humedad ambiental en zonas con polución industrial o polvo aéreo más se agravará la deposición de suciedad en el panel.

1.3.2. Fase de investigación segunda

A partir de la década de los 90, las investigaciones pasaron a un modelo más estricto de análisis empírico. El aumento del rigor experimental garantiza en esta fase una mayor fiabilidad y precisión de los datos arrojados por las investigaciones [5].

Las investigaciones de esta etapa se caracterizan por el estudio de las propiedades de la suciedad y la contribución del viento en la deposición de estas partículas.

- Propiedades de la suciedad.

El estudio realizado por El-Shobokshy y Hussein es el primero que se realiza midiendo las propiedades físicas de la suciedad que se acumula en los paneles solares y comparando el

rendimiento de los paneles con las propiedades físicas de las partículas. Así pues, se lleva a estudio, para un mismo ángulo de inclinación y una misma intensidad solar, la simulación con diferentes tamaños de polvo y la limpieza posterior durante varias veces hasta concluir el tipo de suciedad que más influye en el rendimiento del panel. Los resultados que arroja el estudio son los siguientes.

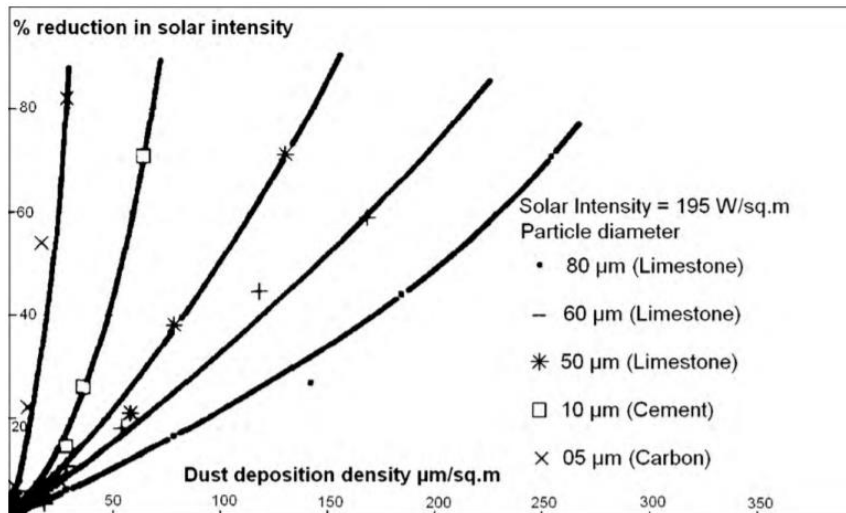


Fig. 1.12. Reducción de la intensidad solar en relación al tamaño de la deposición (monto mani).

Lo que se observa es que para partículas de menor tamaño, la influencia que tiene sobre la reducción solar es mayor cuanto más densidad de este tipo de partículas haya en la superficie.

- Velocidad y dirección del viento.

El estudio más importante se realizó a partir de una relación de investigaciones de laboratorio en un tunel de viento y de exterior en el desierto de Negev, zona con gran cantidad de tormentas de arena. Los estudios en el tunel de viento determinaron que cuanto mayor velocidad de viento existiese, mayor deposición de suciedad en la superficie. Sin embargo, el estudio arrojó que la suciedad relativa respecto a la tierra (elevación), disminuía conforme aumentaba la velocidad del viento [5].

Un descubrimiento importante del estudio fue que durante el mediodía se incrementa de manera ostensible la deposición de polvo cuando los vientos soplan del oeste con una fuerza relativamente grande. Por el contrario, si sopla del sudoeste, la mayor deposición se efectúa por las tardes. Los resultados definitivos de la experimentación se observan en la siguiente tabla.

Tabla 1: Resumen relación del viento y aumento deposición de suciedad (monto mani).

Wind direction	Dust deposition trend		
	Minimum	Maximum	Progressive decrease/increase
North	Morning	Noon	Decrease during evening
North-west	Mid morning	Noon	Decrease during afternoon
West	Forenoon (for high velocity winds)	Afternoon	Decrease during evening
South-west	Morning	Afternoon	Decrease during evening

Así pues, conociendo los factores medioambientales que influyen de sobremanera sobre nuestra instalación, y sabiendo relacionar cada uno de ellos con un incremento o decremento de las deposiciones de suciedad en los paneles solares, se hace necesario el empleo de métodos o sistemas de limpieza que hagan de nuestra instalación una inversión eficiente.

1.4. Conclusiones

A modo de resumen, entendemos que los diferentes factores medioambientales son inalterables por el usuario de los paneles una vez estos hayan sido instalados, y por consiguiente podemos geolocalizar las zonas del planeta donde, por tener mayor número de estos factores a la vez, peor disposición tiene a la producción de electricidad a través del método fotovoltaico.

Casualmente las zonas del planeta donde mayor capacidad lógica de producción eléctrica a través del efecto fotovoltaico, son las zonas donde más cantidad de estos factores medioambientales tienen efecto; y no solo en cantidad individual, sino también por conjunción de varios de ellos [6].

Las zonas geográficas cercanas al ecuador son las que más irradiancia sufren y, por tanto, mayor capacidad potencial de generar electricidad a través de las fotovoltaicas. Pero como hemos podido comprobar, el viento sopla más fuerte en zonas donde el ángulo de inclinación es menor y, además, más polvo en suspensión hay. Por lo tanto, es en estas zonas geográficas cercanas al ecuador donde más se tienen que centrar nuestros esfuerzos en implantar un modelo de limpieza capaz de efectuarse diariamente o semanalmente y que optimice y mejore los modelos ya existentes.

A tenor del estudio realizado en este capítulo, se deduce la importancia de realizar una limpieza periódica de los paneles solares para mantener su eficiencia a lo largo de su vida útil. Debido al coste, irregularidad en el resultado y tiempo invertido por la limpieza manual, resulta muy conveniente explorar la posibilidad de implementar un sistema autónomo y robotizado que realice esta función.

2. OBJETIVOS Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

El objetivo de este trabajo fin de grado es la creación de una máquina con una propuesta de valor concreta. Esta propuesta de valor es realizar un diseño muy específico de dispositivo para un nicho de mercado que todavía no tiene cubiertas unas necesidades específicas.

2.1. Objetivos y especificaciones concretas

El diseño de este dispositivo está enfocado a la limpieza de paneles solares y tendrá unas especificaciones que le otorgarán unas cualidades únicas que no existen en el mercado. Estas especificaciones se irán descubriendo según se realice el estudio del mercado y competencias, aunque se adelantarán en este apartado como pliego de condiciones o brief de diseño.

Los objetivos que se incluyen en el diseño del propio dispositivo conviene detallar para conformar unos objetivos claros y descriptivos.

- Debe ser capaz de limpiar más del 85% de la suciedad de un panel solar, incluyendo entre la tipología de suciedad los excrementos de aves, el polvo, el barro y el proveniente de la contaminación industrial.
- Tiene como objetivo no dañar la superficie del panel cuando realiza su trabajo, ya que la limpieza suele inducir abrasiones en el cristal de la placa.
- Debe disponer de una versatilidad única y todavía no vista en el mercado. Esta versatilidad incluye la posibilidad de manejo por un solo operario y que se adapte a diferentes diseños de paneles, ya sean de particulares o de grandes empresas.
- Resolver las necesidades del apartado anterior de un modo tal, que nos permita competir en precio con las diferentes soluciones que existen ahora mismo. En caso de no poder hacerlo por tener costes mínimos elevados, ser capaz de mejorar las capacidades de esos competidores.

Las especificaciones son mucho más concretas para conocer de qué tipo de dispositivo se está hablando y concretará en mayor medida los objetivos ya descritos.

- La máquina pesará 24Kg, puesto que debe llevarla únicamente un solo operario. Este peso no excede el peso teórico recomendado que puede transportar un operario justo debajo de la altura del codo, según se muestra en la siguiente figura que representa el peso teórico soporta en trabajos manuales.

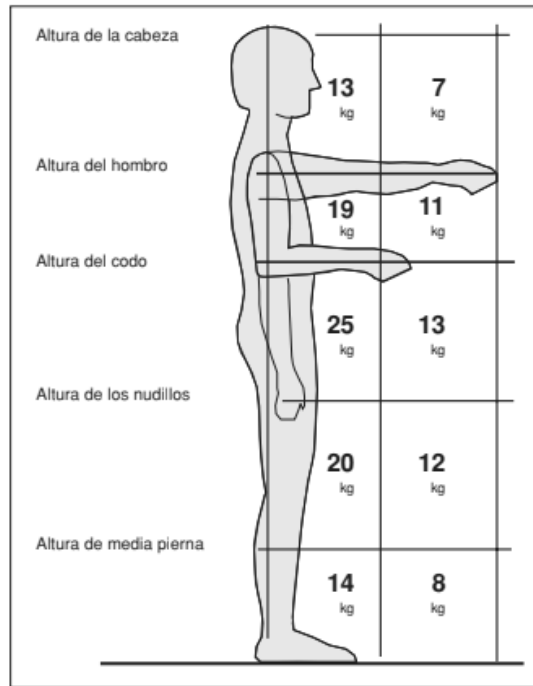


Fig.2.1. Peso teórico máximo.

- Anchura: 1050 mm
- Longitud: 1642 mm
- Altura: 467 mm
- Batería: LiFeP04 24V- 40Ah
- Consumo: 131,28 W
- Velocidad: 1,5 km/h

2.2. Normativa aplicable

Existen varias normativas a tener en cuenta para el desarrollo de esta máquina. La primera se refiere a las obligaciones generales que tiene el empresario que deberá adoptar las medidas técnicas u organizativas para evitar o disminuir la manipulación manual de cargas, según el artículo 3 del REAL DECRETO 487/ 1997 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares en los trabajadores.

La normativa esencial que se debe cumplir a rajatabla se conforma básicamente del Real Decreto 1215/1997, de 18 de Julio, con versión vigente desde el 3 de diciembre de 2004; por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

Se tomará en consideración la guía técnica propia de la normativa, suministrada por el propio gobierno. Esta guía comprende dos partes, una jurídica y otra técnica. La parte técnica se divide a su vez en dos partes; la primera contiene las disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo, y la segunda las disposiciones aplicables al uso de esos equipos.

Así pues, la aplicación de este Real Decreto al proyecto se realizará siguiendo el orden lógico de cumplimiento de la guía técnica, conformado esencialmente por el Anexo I y Anexo II del Real Decreto.

2.2.1. Disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo

Como estas disposiciones mínimas solo serán de aplicación cuando se refieran a un tipo de riesgo concreto, únicamente se tendrá en cuenta las que evitan riesgos propios del proyecto y no de todas las disposiciones mínimas incluidas en el Real Decreto.

- Órganos de accionamiento:

Los órganos de accionamiento de un equipo de trabajo que tengan alguna incidencia en la seguridad deberán ser claramente visibles e identificables y, cuando corresponda, estar indicados con una señalización adecuada.

Puesto que este proyecto contiene partes móviles y se incluyen botoneras de "marcha y paro", así como una seta de emergencia, deberán cumplir la reglamentación que se indica a continuación.

- El botón de marcha será de color blanco con un cartel pequeño a su pie con la palabra "MARCHA".
- El botón de paro será de color negro con un cartel a su pie con la palabra "PARO".
- La seta de emergencia será la normalizada para estos casos; de color rojo con una base amarilla para su correcta identificación.

- Posicionamiento de los accionamientos:

Los botones de accionamiento se situarán reagrupados en la zona central de la máquina y en la parte de arriba de la misma. La seta de emergencia se situará más alejada del resto de botones, pero también en la parte de arriba.

- Accionamiento involuntario:

Con el fin de evitar funciones peligrosas intempestivas, estos órganos deben estar dispuestos y protegidos de manera que se impida un accionamiento involuntario por parte del propio

operador o de otra persona, o debido a la caída de un objeto suficientemente pesado, al efecto de las vibraciones, al de las fuerzas de aceleración o a la rotura de un muelle.

Se incluirá en el diseño una botonera en el que para accionar la marcha se debe penetrar el dedo en la misma una profundidad específica para poder accionar el botón. Además de incluir un temporizador antes de la puesta en marcha total y la emisión de un sonido previo al accionamiento de motores.

- Puesta en marcha:

La puesta en marcha de un equipo de trabajo solamente se podrá efectuar mediante una acción voluntaria sobre un órgano de accionamiento previsto a tal efecto. Lo mismo ocurrirá para la puesta en marcha tras una parada, sea cual fuere la causa de esta última, y para introducir una modificación importante en las condiciones de funcionamiento.

Para impedir que la máquina se ponga en marcha de manera automática después de una parada por fallo se recurrirá a resetear el programa incluido en el Arduino, la colocación de la máquina en posición inicial y el pulsado del botón de marcha para su accionamiento. Con todo lo anterior se evitarán riesgos por la puesta en marcha involuntaria.

- Parada general:

Cada equipo de trabajo deberá estar provisto de un órgano de accionamiento que permita su parada total en condiciones de seguridad. Cada puesto de trabajo estará provisto de un órgano de accionamiento que permita parar en función de los riesgos existentes, o bien todo el equipo de trabajo o bien una parte del mismo solamente, de forma que dicho equipo quede en situación de seguridad. La orden de parada del equipo de trabajo tendrá prioridad sobre las órdenes de puesta en marcha. Una vez obtenida la parada del equipo de trabajo o de sus elementos peligrosos, se interrumpirá el suministro de energía de los accionadores de que se trate. Si fuera necesario en función de los riesgos que presente un equipo de trabajo y del tiempo de parada normal, dicho equipo deberá estar provisto de un dispositivo de parada de emergencia.

Se incluye una seta de emergencia que afecta de manera clara a este apartado, por lo tanto, con ese accionamiento de parada general bastará para cumplir esta parte de la normativa.

- Parada desde el puesto de trabajo:

Esta función de parada está destinada a permitir que un operador pueda parar el equipo de trabajo, o una parte del mismo, cuando se está produciendo un incidente o bien obtener una parada cuando debe intervenir en una zona peligrosa para una operación puntual.

Se incluirá una orden en el Arduino para realizar una parada general de todo el equipo en caso de sobrecarga o de pérdida de adherencia. Se tratará siempre de minimizar la acción manual del operario, dado que trabajará con varias unidades simultáneamente, por lo que incluyendo una orden remota cumpliremos con esta disposición mínima.

- Prioridad de las órdenes de parada sobre las de puesta en marcha:

Si es factible, sólo debería requerir una breve acción manual para activarla, aun en el caso de que la parada y la secuencia de desconexión iniciada puedan necesitar algún tiempo hasta completarse.

- Proyecciones, caída de objetos:

Cualquier equipo de trabajo que entrañe riesgo de caída de objetos o de proyecciones deberá estar provisto de dispositivos de protección adecuados a dichos riesgos.

Las medidas preventivas están destinadas a proteger no solamente a los operadores sino a cualquier otra persona que pueda estar expuesta a dichos peligros.

Las medidas que se incluyen consisten en la colocación de barreras de paso debajo de las zonas por donde el dispositivo realiza sus funciones; ya sea en huertos solares como en viviendas de particulares.

- Estabilidad:

La normativa exige que todo equipo de trabajo debe ser estable en la medida que pueda y de manera particular a cada equipo de trabajo. Se garantiza la estabilidad a través los cálculos realizados y de un trabajo empírico y riguroso.

- Elementos móviles y resguardos y dispositivos de protección:

El objetivo de este apartado es suprimir o reducir los riesgos debidos a los peligros mecánicos (atrapamiento, aplastamiento, arrastre, cizallamiento, etc.) producidos por los elementos móviles de transmisión (ejes, árboles, poleas, rodillos, engranajes, etc.) o de trabajo (herramientas, muelas, matrices, etc.).

Para cumplir con esta disposición mínima, y puesto que se debe acceder a las zonas peligrosas con frecuencia para realizar mantenimientos periódicos, se colocarán resguardos móviles que cubran por completo la zona de la transmisión evitando riesgos. También se incluirán resguardos en la zona motriz de los rodillos de limpieza.

- Señalización:

Cuando la puesta en marcha de un equipo de trabajo, o la variación de sus parámetros de funcionamiento, puede dar lugar a una situación peligrosa, es necesario dotar a dicho equipo de las medidas que permitan advertir eficazmente al operador o a cualquier otra persona afectada por el peligro generado.

Para cumplir con esta disposición mínima se recurrirá a una señalización luminosa, fácilmente reconocible y conforme a la norma. Se incluirá dos dispositivos LED junto a la seta de emergencia con los colores amarillo y rojo. En caso de anomalía lucirá el LED amarillo, en caso de avería grave lucirá el LED rojo.

- Energía eléctrica, contactos directos e indirectos:

El objetivo es evitar que se puedan producir contactos con partes activas, es decir, con partes que normalmente están en tensión (contacto directo) o con partes que se han puesto en tensión accidentalmente, en general debido a un fallo de aislamiento (contacto indirecto).

En todas las partes en tensión debe existir protección contra contactos directos, mediante alejamiento, interposición de obstáculos y aislamiento. Una solución muy extendida contra contactos eléctricos directos en los equipos de trabajo es la protección mediante envolventes (armarios o cuadros eléctricos). Elemento que incluiremos nosotros en nuestro diseño.

La protección contra contactos indirectos debe estar garantizada conforme a los sistemas de protección establecidos en la ITC–BT–24 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, de “protección contra los contactos directos e indirectos” para la instalación que alimenta al equipo de trabajo.

El sistema de protección se basará en la desconexión automática cuando se produce un fallo de aislamiento. Es el proceso más utilizado para la protección contra contactos indirectos.

- Ruido y vibraciones:

La normativa aplicable a máquinas nuevas exige que el fabricante aplique las medidas adecuadas en el diseño, de manera que los riesgos que resulten de la emisión de ruido o de las vibraciones producidas se reduzcan al nivel más bajo posible.

Para ello se utilizarán bajas revoluciones en nuestros motores, aunque los niveles de ruido no se garantizarán hasta que no se hayan realizado las pruebas suficientes en el laboratorio.

Respecto a las vibraciones se incluye un sistema que divide la parte tractora del mecanismo con la parte de limpieza, originadora de las vibraciones, puesto que contiene motores. La división se

realizará mediante elementos antivibradores que absorben esta energía y la disipan. Conseguiremos rebajar el nivel de vibraciones general y garantizaremos que no se traslade a la tracción originando pérdida de adherencia.

Una vez identificadas y evaluadas las disposiciones mínimas generales de los equipos de trabajo que se incluyen en el mecanismo, existen otros apartados más específicos como las disposiciones mínimas para equipos móviles, el cual se incluye este dispositivo.

- Evitar daños en los elementos de transmisión de energía:

Para evitar que los elementos de transmisión de energía entre equipos de trabajo móviles se suelten y al arrastrarse por el suelo se ensucien o se deterioren, perdiendo su función, el eje motriz debería estar sujeto en una horquilla si se dispone de ella.

- Peligros mecánicos debidos al desplazamiento del equipo:

Conforme a esta disposición de equipos de trabajo móviles existen algunos aspectos a considerar, los cuales algunos tienen que ver con la máquina.

- Evitar una puesta en marcha no autorizada: Se puede evitar que un equipo de trabajo automotor se ponga en marcha sin autorización, si está provisto de una llave o de un dispositivo de puesta en marcha o de un código de acceso, que esté a disposición únicamente de personas autorizadas. En nuestro dispositivo, con la necesidad de resetear el Arduino y el accionamiento del botón de marcha se considera suficiente, puesto que el acceso al programa para resetear está completamente restringido.
- Dispositivo de frenado y parada (freno de servicio) y dispositivo de emergencia (freno de emergencia): Ciertos equipos de trabajo móviles deberían tener una capacidad de frenado adecuada para poderlos manejar con seguridad en pendientes en las que se vaya a utilizar (si es preciso, a plena carga) y sus frenos de estacionamiento deberían ser capaces de mantenerlos inmóviles, en la máxima pendiente en la que el equipo de trabajo móvil pueda ser estacionado durante la utilización. Lo que se incluirá un freno de emergencia en cada motor de la tracción y posterior parada total del dispositivo por avería o fallo leve, según proceda.

2.2.2. Disposiciones relativas a la utilización de los equipos de trabajo

Las disposiciones del presente apartado se aplicarán cuando exista el riesgo correspondiente para el equipo de trabajo considerado.

Puesto que todas estas disposiciones son de obligado cumplimiento y se refieren a la utilización del equipo de trabajo, se verán reflejadas en el manual de instrucciones que se realizará, incluyendo un manual de buenas prácticas en el que se hará referencia a todas las disposiciones del Anexo 2 de la guía técnica basada en el Real Decreto 1215/1997.

3. ESTUDIO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS

Se va a realizar un recorrido por las diferentes soluciones alternativas que existen en el sector de las fotovoltaicas y en otros sectores para analizar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que tiene el dispositivo en el mercado. Además, el análisis servirá también para observar diferentes tecnologías que bien se pueden incorporar al diseño.

3.1. Soluciones manuales alternativas en el sector de las fotovoltaicas

En este apartado se realizará un análisis de todos los sistemas de limpieza que se emplean en la limpieza de paneles solares, argumentando ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.

La manera de distinguir unos sistemas de limpieza y otros sistemas sería a razón del uso o no de agua; de la limpieza con o sin rozamiento; y si se realiza de manera manual o automática. Los sistemas son los siguientes.

3.1.1. Sistema de limpieza con pértigas

Es uno de los sistemas más utilizados. Se basa en la limpieza con pértigas especiales para vidrio. Se usa agua para mejorar la limpieza de las placas solares. El sistema se apoya en un camión cisterna con agua, que es el encargado de bombear agua a través de la pértiga. El camión contiene todo lo necesario para la descalcificación del agua. El exceso de cal en el agua, así como de otras partículas de grandes tamaños, ayudan a la abrasión del vidrio de la placa solar.

La aplicación de agua se realiza mediante pértigas de fibra de carbono y poliéster, y deben ser lo suficientemente largas y fuertes para alcanzar todo el panel entero sin partirse. No se recomienda que la pértiga alcance una longitud mayor de 20 metros, ya que dificulta al operario el uso de la pértiga.



Fig.3.1. Limpieza de edificio mediante pértigas(Aragón).

También hay que tener en cuenta que algunos fabricantes de módulos no recomiendan la limpieza a elevada presión, y también recomiendan una presión de rozamiento en la limpieza moderada, por lo que la limpieza manual afectaría de un modo negativo al módulo solar [7].

Las ventajas serían que es un equipo barato, los empleados necesitan poca formación generalmente y es adecuado para pequeños parques solares.

Como desventajas se tiene un uso excesivo de agua, mucho gasto de tiempo y gran cantidad de personal para desarrollar el trabajo.

3.1.2. Sistema de limpieza con agua a presión

Este sistema se realiza mediante un vehículo dotado de un depósito de agua lo suficientemente grande en relación con el trabajo que se va a efectuar. Se basa en el uso de un equipo de bombeo para la limpieza de las placas solares a través de agua a presión.



Fig. 1.2. Sistema de limpieza a presión.

Existen muchas maneras de realizar la limpieza mediante este sistema. Un método es el empleo de dos operarios para desarrollar la tarea, mientras uno conduce el vehículo el otro empleado porta la pistola a presión, y se encarga de limpiar exclusivamente. Otro método sería con un único empleado que realiza los dos trabajos a la vez. También existen infinidad de vehículos diferentes según las características del huerto solar, e incluso se puede realizar la operación de limpieza con vapor de agua [7].

Como ventajas de este sistema se encuentra la versatilidad y la facilidad. Es un sistema que se puede adaptar a diferentes tipologías de huertos solares y de un manejo muy sencillo para cualquier persona.

Las desventajas principales son el exceso consumo de agua y carburante para realizar una operación de limpieza. También que existe la posibilidad real de averías importantes.

3.1.3. Sistema de rodillo autopulsado

Este sistema se trata de un vehículo con un brazo extensible que porta como herramienta de limpieza un rodillo autopulsado. El vehículo debe disponer de cisterna de agua para acompañar al rodillo en la limpieza. El rodillo tiene unas cerdas de carácter suave para no dañar la superficie de vidrio de la placa solar.

En algunos casos este sistema emplea un protocolo de limpieza concreto y específico que se detalla a continuación:

1. Prelimpieza con pulverización de mezcla de agua y detergente ecológico especial para paneles fotovoltaicos.
2. Limpieza con rodillo giratorio.

3. Aclarado con agua y/o producto aclarante.

Las ventajas de este sistema son la efectividad del método empleado, el cual, gracias al rodillo, mejora sustancialmente el sistema. También disminuye el número de empleados necesarios para utilizar el sistema. Es posible que pueda optimizar y rebajar el uso de agua, aunque no queda del todo claro.



Fig.3.3. Sistema de limpieza con rodillo.

Las desventajas van en contraposición a los sistemas anteriores, es un sistema mucho más tosco y por lo tanto necesita mayor espacio para trabajar. La experiencia y formación es una característica clave del operario. El uso del rodillo mejora la eficacia de la limpieza, pero el mal uso de este puede afectar seriamente a la transmitancia del vidrio. Aumenta la posibilidad de averías en el equipo [7].

3.2. Soluciones automáticas alternativas en el sector de las fotovoltaicas

Dentro de estos sistemas se pueden distinguir dos maneras de limpieza o métodos, que se basan en la configuración mecánica del sistema; por un lado, pueden ser sistemas instalados de manera fija en los paneles solares y, por otro lado, robots portables.

3.2.1. Sistemas automáticos fijos

Dentro de los sistemas fijos se encuentran dos métodos de limpieza; el que incluye limpieza con agua y el que no. Además, se pueden observar sistemas de estas categorías que pueden realizar la limpieza mediante rozamiento, o los que utilizan sólo y exclusivamente agua.

- **Sistema automático fijo con agua y con rozamiento:** Este método de limpieza es similar al método manual con rodillo autopropulsado mecánico. La diferencia reside en que cada conjunto de paneles lleva una instalación fija de este dispositivo. Este sistema incorpora una toma externa de agua que provendrá de un depósito ajeno al sistema. El mayor inconveniente de este sistema es que no sirve para cualquier tipo de instalación solar. No puede adaptarse a cambios sin una inversión cuantiosa de dinero y requiere un desembolso inicial muy elevado para huertos solares de grandes tamaños. Para instalación en viviendas no es rentable.
- **Sistema automático fijo sin agua y con rozamiento:** Los últimos diseños en este sector vienen a darse en este tipo de sistema. Como las zonas con gran irradiancia solar son las

zonas más áridas del planeta por norma general, la lluvia escasea y las formas de ensuciamiento más comunes son a través de la suspensión de polvo en la superficie. Lo que no garantiza un sistema sin agua es la limpieza del sombreado fuerte a causa de excrementos de aves o de deposiciones concentradas de mugre. La ventaja principal reside en que como la energía consumida por este sistema es inferior al resto, el empleo de limpiezas diarias suele ser frecuente en esta tipología de limpieza de placas solares. También es una instalación que requiere un desembolso inicial elevado, así como un control de la presión causada por el rodillo para evitar la fricción excesiva.

- **Sistema automático fijo con agua y sin rozamiento:** Es un sistema que requiere una instalación permanente de agua. No utiliza ningún rodillo ni otro sistema de apoyo en la limpieza. Es un método que garantiza la extracción de suciedad sin emplear rozamiento alguno. Para la extracción de la suciedad sin rozamiento se deberá aumentar la presión del agua, lo que aumenta la degradación del panel por abrasión.

Las ventajas de cualquiera de estos sistemas son que se pueden instalar tanto en huertos solares, como en propiedades particulares. La limpieza es automática, por lo que, una vez instalados, tanto el riesgo humano como el tiempo de trabajo se ven extinguidos. Con estos métodos se gana mucho tiempo en recarga de agua y, salvo en el último caso, se optimiza el consumo de agua. No necesita ningún vehículo externo para su uso, salvo en la instalación.

Como desventajas, encontramos la posibilidad de averías en los equipos. También el elevado coste de implementación en campos solares de grandes dimensiones. La necesidad de adaptar el equipo a cada módulo solar o conjunto de módulos. Consumo eléctrico aparentemente elevado y debe disponer permanentemente agua, salvo en el caso segundo [7].

3.2.2. Sistemas de robots portables

Estos sistemas se ayudan de robots autónomos, que incorporan diferentes accesorios para limpiar los paneles solares. Es muy difícil categorizar estos sistemas puesto que es un sector en auge. Normalmente se opta por sistemas fijos de limpieza o por sistemas manuales. Este tipo de sistemas son más complejos de implantar ya que poseen una dificultad aparente para solventar eficientemente el problema de la suciedad. Indagando en el sector se encuentran algunos ejemplos interesantes, que se describirá uno por uno, con sus peculiaridades e inconvenientes que se observan.

- La empresa japonesa Miraikikai, trabajó con un diseño bastante estable durante mucho tiempo, finalmente salió al mercado en enero de 2017. Es una empresa que se dedica a

la implementación de sistemas autónomos para limpieza de cristales, esto les facilitó la incursión en el sector de las fotovoltaicas y empezaron a realizar un proyecto.

El diseño en cuestión es un robot autónomo con un peso de 28 Kg y que es capaz de trabajar bajo una inclinación no mayor de 25°. Trabajan sobre todo con empresas de medio oriente, donde la inclinación no supera esos valores y la suciedad, principalmente, es polvo



Fig.3.4. Robot autónomo portable. Empresa Miraikikai(Miraikikai).

seco en la superficie de la placa [8]. Garantizan la limpieza, a través de dos rodillos de rozamiento y sin agua, además de aire, durante 20 años sin afectar a la placa solar. Han conseguido el premio “good design award 2017” de diseño [9].

- Uno de los diseños más interesantes es el que proviene de la empresa hyCleaner. Empresa alemana que, al igual que la anterior, comenzaron en el mundo profesional como una empresa que incluía sistemas automáticos de limpieza de cristales. A partir de su experiencia en el sector de la limpieza automática, crearon hyCleaner black solar;



Fig.3.5. Sistema teledirigido de limpieza(hyCleaner).

sistema que se desarrolló para la limpieza de placas solares. Este diseño incluye varias características que no incluye el anterior; emplea agua para la limpieza, lo que mejora la limpieza del panel. Es más grande y más pesado, aunque garantizan un poder ascensional de hasta 35° según el estado de la superficie [10].

Como contrapunto, el empleo de agua se realiza a través de una toma externa, por lo que haría necesaria una toma de agua cercana. También, como inconveniente, se tiene un sistema automático de limpieza, pero teledirigido por un operario, lo que no exime del empleo de personal y la necesidad de formación del mismo. Es un sistema que garantiza una limpieza óptima con el empleo de gran cantidad de agua y, disminuyen el consumo evitando el empleo de dos rodillos giratorios; únicamente disponen de uno, el cual no garantiza la eliminación de toda la suciedad.

- El siguiente ejemplo es un robot autónomo en fase de investigación y desarrollo, sobre un prototipo que cumple unas características únicas, aunque muy cuestionables. El diseño es de una empresa colombiana llamada Globalem, que asesora, diseña, estructura, ejecuta y financia proyectos de generación solar fotovoltaica.

El dispositivo en cuestión tiene un desarrollo, a priori, muy elevado; aunque garantizan varias características de dudosa veracidad, puesto que no existe nada que lo demuestre. El prototipo tiene una capacidad ascensional de hasta 65º sin



Fig.3.6. Robot autónomo por la empresa Globalem(Globalem).

emplear ningún tipo de riel de ayuda. No comentan nada del peso que tiene el dispositivo y, argumentan, que no raya ni lastima la superficie sin especificar el método que usan para limpiar [11].

Las ventajas que incluyen los sistemas de limpieza mediante robots portables son la maximización del factor seguridad laboral. La capacidad de usar varios de ellos para limpiar distintos paneles a la vez. Flexibilidad a la hora de usarse tanto para particulares como en huertos solares, siempre y cuando la cantidad de dispositivos sea relativa al tamaño de la instalación. Bajo coste de mantenimiento y, a la vez, aumenta la frecuencia de limpiado de las placas.

Las desventajas incluyen la complejidad que tiene un diseño que incorpore todos los elementos capaces de limpiar todo tipo de suciedad de manera óptima, y sin comprometer la escasez de tiempo en uso. También es necesaria una elevación no muy grande para que sea capaz de superar el desnivel que, además, incluye elementos que complican la adherencia, como el agua, suciedad y conjunción de ambos.

Una vez que se ha realizado el estudio de todas las formas de limpieza que existen hasta el momento para la limpieza de placas solares fotovoltaicas, es de conveniencia que el autor se decante por una forma u otra de limpieza según los objetivos del diseño.

Está claro que únicamente se puede fijar en los sistemas automáticos de limpieza, puesto que los manuales no añaden ningún tipo de valor al producto y, a consecuencia del avance tecnológico, se quedan obsoletos.

Los sistemas de instalación fija son realmente una solución de gran eficacia, en cuanto al cumplimiento de su labor se refiere; pero no son capaces de solventar la verdadera problemática que tiene la limpieza de paneles solares. La limpieza de paneles solares debe de efectuarse con mayor frecuencia, incluyendo versatilidad y bajo coste. Estos sistemas fijos son capaces de realizarlo con mayor frecuencia, pero desarraigan de su trabajo el bajo coste y la versatilidad, además de que para que sea un trabajo eficaz, debería de utilizarse agua en su proceso.

Dentro de las soluciones de limpieza en el sector de las fotovoltaicas; las mejores soluciones, por tener las que peor desarrollo hasta la fecha y por incluir la mayor cantidad de objetivos de diseño propio, son el mejor ejemplo para dedicar esfuerzo, investigación y conocimientos para encontrar un diseño que incluya todos nuestros objetivos.

Los sistemas de limpieza con robots portables son el claro ejemplo de versatilidad y bajo coste, además de que, gracias a este coste pueden ser capaces de aumentar la frecuencia de limpiado de las placas solares.

En ningún diseño previamente analizado se es capaz de encontrar algo que aúna todas estas características y los demás objetivos del diseño óptimo. Y es por eso por lo que, el potencial de este diseño puede ser muy elevado si se consigue adaptar al cumplimiento de los objetivos previamente descritos.

Una vez se han analizado las formas y modos de limpieza que están hasta la fecha implementadas en la limpieza de placas solares, se observa conveniente echar un vistazo y desarrollar, si se da el caso, las alternativas a la limpieza que ofrecen otros sectores y que pueden ser de utilidad para nuestro proyecto.

3.3. Alternativas de limpieza en otros sectores

Para abreviar más la cuestión, y no profundizar innecesariamente en sectores que no aportan demasiado, se estudiarán dos; los cuales ofrecen diferentes métodos alternativos a la limpieza y al movimiento. Estos sectores son la **limpieza de suelos mediante robots** y la **limpieza de cristales mediante robots**. Son sectores que van cogidos de la mano, puesto que, por lo general, las empresas dedicadas a la limpieza de suelos con robots suelen disponer de una línea de productos destinada a la limpieza en vertical de cristales.

Es interesante conocer a fondo estos dos sectores de limpieza, puesto que su conocimiento dará una visión más simple de lo que se quiere conseguir con el proyecto. El conocimiento de la limpieza de suelos a través del uso de robots llevará de primera mano, al conocimiento de los métodos de limpieza de suciedad a través de robots; y el sector de la limpieza de cristales mediante robots, abrirá paso al conocimiento de sistemas de adherencia en superficies

verticales. El proyecto es un híbrido de ambas y, por lo tanto, el conocimiento de ambos sectores dará un punto de inicio para la solución completa de los objetivos del diseño.

3.3.1. Limpieza de cristales mediante robots

La limpieza de cristales acarrea, a priori, un inconveniente muy complicado de solventar; debe limpiar una superficie en estado de verticalidad total. Y esto nos conduce a una pregunta que se debe responder. Cómo conseguimos limpiar la superficie con un robot sin que se caiga.

La respuesta que te dan todas las compañías que se han inmerso en este sector, a través de sus productos, es con la implementación de un ventilador que realiza succión y mantiene al dispositivo aferrado a la ventana.

El empleo de un ventilador a altas revoluciones tiene su problemática; y es que, si la succión es muy potente, el dispositivo no se moverá para limpiar y si la succión es muy débil, no se sujetará a la superficie.

Los últimos modelos que se han realizado para la limpieza de superficies verticales se asemejan bastante unos a otros. Por lo que, para entender el funcionamiento de estos robots, estudiaremos solamente uno de ellos.

El dispositivo que se analiza es el HOBOT 268, de la empresa SmartBot HOBOT. Es un diseño que incluye particularidades muy interesantes, que se estudian y observan su posible valor añadido.

Para empezar, se dilucidan las cuestiones propias del dispositivo que no tienen nada que ver con la propuesta de diseño, por ser un sector con diferencias notables.

En primer lugar, debido a la situación de completa inestabilidad que posee la máquina, es necesario un cable de



Fig.3.7. Robot limpiacristales HOBOT 268(SmartBot).

seguridad para evitar problemas más graves. En el caso de una máquina para limpiar placas solares no sería necesario un cable de seguridad ni ningún elemento de esas características, puesto que no se va a garantizar mayor poder ascensional que el que pueda ofrecer la máquina, incluyendo un margen de seguridad.

Otra característica que incluye el HOBOT 268 es el empleo de un equipo de succión para mantener la adherencia al cristal, elemento que a priori, no sería necesario para garantizar la estabilidad ascensional.

También cabe destacar, en relación con el aspecto anterior, que el peso es el aspecto fundamental para equilibrar las características del dispositivo. Cuanto menos pese, menor potencia de succión es necesaria, menor ventilador se deberá utilizar y menor peso a su vez. Además, la disminución de peso mejora las relaciones de velocidad-adherencia y las capacidades internas de asimilación de porquería, por lo que puede limpiar más a mayor velocidad y sin perder adherencia.

Es por esto por lo que la máquina contiene una batería con poca capacidad y que la fuente principal de alimentación de esta máquina sea la corriente alterna de la vivienda. El peso de la máquina para limpieza de placas no tiene una importancia tan fundamental, aunque no se puede pasar de un máximo para que no pierda versatilidad. La principal y única fuente de alimentación de que dispone el dispositivo es una batería que aporta corriente continua.

Las características más importantes que ofrece este diseño son las siguientes:

- Empleo de sensores láser para el cálculo de distancias y posicionamiento del dispositivo. Es de suma importancia el conocimiento de la posición de estos sensores, puesto que es lo que puede determinar si la operativa de la máquina se efectúa correcta o incorrectamente. En el caso del dispositivo llevado a estudio, el posicionamiento de los sensores se observa en la siguiente figura.

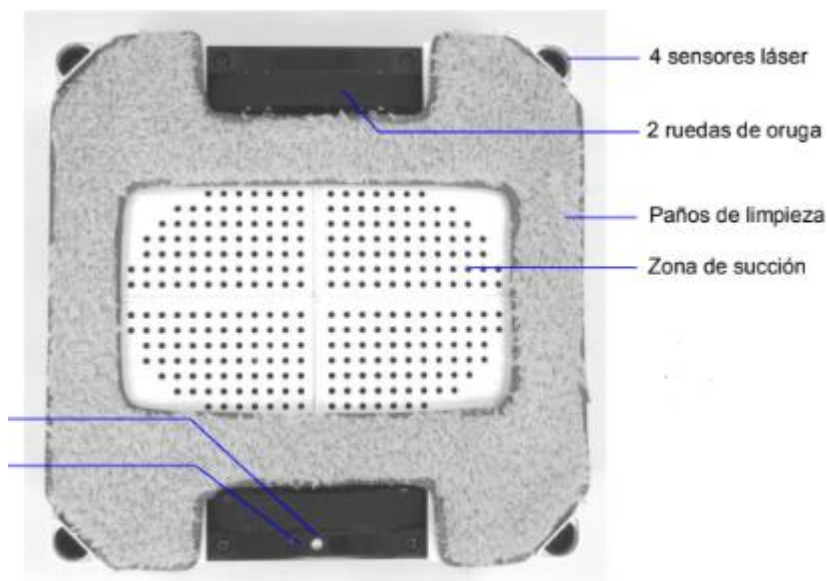


Fig.3.8. Posicionamiento de los sensores láser (SmartBot).

- Otra característica que está relacionada con la eficacia de la limpieza es el uso de una plantilla que cubre prácticamente todo el contorno de su base, compuesta de microfibra. La microfibra es el material que más se emplea en el sector de la limpieza. Es un material que ofrece unas características de alto valor añadido en ese sentido.
- La característica más importante que se debe observar para implantarlo es el uso de ruedas de oruga para el desplazamiento por la superficie de cristal.
 La tracción tipo oruga ofrece unas características únicas de adherencia, que cualquier rueda normal no te permite. Es importante fijarnos en este aspecto porque se realizará un estudio para determinar el tipo de tracción que deberá llevar nuestro dispositivo. También es importante el material utilizado, puesto que es el que hará de elemento de fricción con respecto al cristal.
- Las especificaciones técnicas de la máquina ideada por la empresa HOBOT son las que se ilustran a continuación.

Dimensiones del robot	240mm x 240mm x 100mm (LAA)
Peso del robot	1.2Kg
Dimensiones de la caja	340mm x 255mm x 125mm (LAA)
Peso total	2.35Kg

Voltaje de entrada	100~240VAC, 50Hz~60Hz
Salida del adaptador	Mínimo 24V/3.0A
Consumo de potencia	72W
Longitud del cable AC	1.0m
Longitud del prolongador	4.0m
Longitud cuerda seguridad	4.5m
Batería	Li-Po, 14.8V
Duración de la batería	20 minutos
Vida útil de la batería	2 años
Velocidad de limpieza	2.4 min/ m ² (Limpiar dos veces el cristal)
Area de limpieza máxima soportada	Alto: 6 metros Ancho: 5 metros

Fig.3.9. Especificaciones técnicas robot limpiacristales(SmartBot).

Dentro de las especificaciones técnicas encontramos parámetros que nos indican lo que ya se han comentado; un peso muy ligero, únicamente de 1.2 Kg. Una velocidad relativamente alta para estar realizando un trabajo en vertical y con una oposición al movimiento provocada por el ventilador.

También observamos especificaciones que pueden ayudar a entender el dispositivo, y es que es una máquina que trabaja con corriente continua transformada externamente a 24V. y 3A., dándonos un consumo de 72W. La batería únicamente se utiliza en fase de corte eléctrico y suministra lo suficiente para mantener la máquina, actuando solamente el ventilador, en estado de quietud durante 20 minutos [12].

Existen elementos mecánicos que se emplean en este dispositivo, que son fácilmente asumibles e incorporables a la idea de diseño propia, siempre bajo un estudio riguroso y empírico.

Se valorará la utilización de un sistema oruga de tracción para no perder adherencia ni fricción. Se realizará un estudio comparativo para dilucidar que aporta el sistema oruga con respecto al sistema de tracción con rueda o conjunto de ruedas, y que hacen que esta empresa lo emplee bajo condiciones tan desfavorables.

También es valorable el empleo de un ventilador a modo de succión para garantizar seguridad e incluso un mayor poder ascensional, aunque siempre que se añade peso al diseño debe de ser en detrimento de otras características esenciales, como por ejemplo la pérdida de efectividad en la limpieza.

Otra característica que se incluye en este diseño, y prácticamente en todos los que trabajan en el sector de la limpieza, es el uso de la microfibra como elemento más eficaz de limpieza. La microfibra aporta unas características únicas que se estudiarán más adelante.

3.3.2.Limpieza de suelos mediante robots

En esta sección se efectuará un trabajo idéntico que el anterior. Una vez se estudie una máquina de este sector en concreto, que se entienda como general a todos los diseños, se realizará un proceso de asimilación de tecnologías y valoración de la incorporación de las mismas al diseño.

En este caso se va a estudiar una variedad concreta de robots que fabrican las empresas relacionadas con este sector. Esta variedad es el robot friegasuelos, que tiene la característica principal en que no barre únicamente el suelo como lo hacen los robots que más abundan en este sector, si no que emplea agua como medio principal de limpieza; y siendo, en este sentido, un robot más completo que el que únicamente barre.

Esta característica le hace ser un dispositivo con dificultades técnicas, ya que necesita incorporar diferentes elementos y tecnologías en poco espacio; causando un detrimento de las funciones principales que se le presuponen.

A continuación, se realiza el análisis de funciones y elementos del SCOOBA 450 de la empresa iRobot; por ser este dispositivo el que tiene mayor desarrollo hasta la fecha y cumplir notablemente los objetivos que se le presuponen, como el de limpieza eficaz.

El sistema de limpieza se basa en un proceso de tres pasos:

1. **Barrido con aspiración:** La suciedad más volátil y que no está incrustada en el suelo es aspirada hasta un compartimento donde se almacena. Este paso también incluye un filtro para no dañar el aspirador.

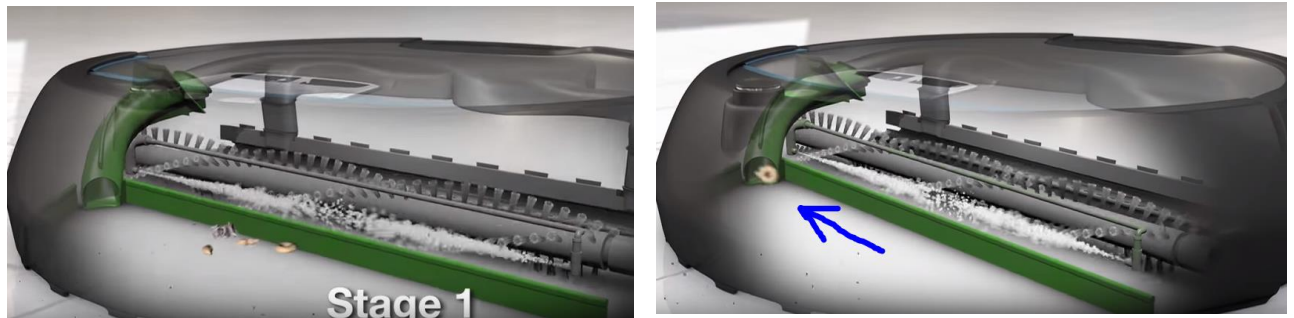


Fig.3.10. Paso 1 del proceso. Aspiración de residuos(iRobot).

2. **Lavado y cepillado:** En este paso la máquina suelta agua para reblandecer la suciedad más difícil y la desincrusta mediante un cepillo que gira a 600 rpm. Esta mezcla de agua y cepillo a grandes revoluciones es lo que debe garantizar la calidad del proceso.



Fig.3.11. Paso 2 del proceso. Lavado y cepillado(iRobot).

3. **Aspiración final y acabado:** Por último, esta empresa recurre a una nueva aspiración de la mezcla de suciedad y agua para acabar con los restos y un acabado final con la escobilla de goma.

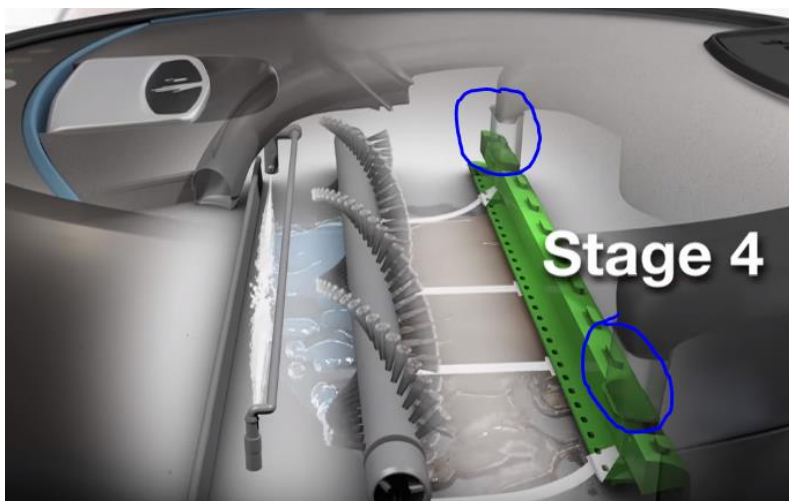


Fig.3.12. Paso 3 del proceso. Aspiración final y acabado(iRobot).

En este caso, el dispositivo realiza operaciones de recolección de residuos a través de un sistema de aspiración de gran potencia y consumo. Este tipo de operaciones son imposibles de implantar por razones obvias; el consumo que precisa adaptar aspiradores suficientemente grandes como para aspirar toda la suciedad que puede llegar a acumular una placa solar es sumamente elevado, lo que haría necesaria una batería de gran tamaño, aumentando el peso de la máquina y comprometiendo el diseño de la misma. También sería imposible el almacenamiento de la suciedad por el mismo motivo.

Peso	3,7 kg
Dimensiones	36,6 cm (diam.) 9,1 cm (alt.)
Autonomía	40-60 min / 45,7-73,6m ² (aprox)
Sistema de limpieza	3 ciclos
Antibacteriano	En un 99,3%
Tiempo de carga	3 h
Batería	NiMH 3000 mAh
Capacidad del depósito	0,7 L

Fig.3.13. Especificaciones técnicas Scooba 450.

Además de los pasos que sigue en el proceso de limpieza, este robot cumple unas especificaciones técnicas detalladas en la Fig.13. y que se estudiarán a continuación.

Las especificaciones más importantes de este dispositivo es la autonomía que oferta, aun consumiendo gran cantidad de energía en un rodillo a tantas revoluciones, en aspirar doblemente la suciedad y en moverse. Es capaz de limpiar una superficie de hasta casi 74 m² empleando, únicamente 0,7 L de agua. Son características muy buenas y relevantes, además de

ser apoyadas por una buena opinión de diferentes revistas de tecnología, incluso ganando el premio RedDot Design Awards en 2014 al diseño de producto a la excelencia e innovación.

Ahora bien, que características o tecnologías son útiles para implantar. Evidentemente el proceso de limpieza que sigue este dispositivo para garantizarle una limpieza óptima. Aunque no se incluyan etapas de aspiración, sí que se pueden añadir elementos que aporten una mayor eficiencia en la limpieza de las placas solares, puesto que se conocen las peculiaridades de dicha suciedad.

También se puede visualizar el tamaño del depósito que emplea y en la superficie que es capaz de abarcar con esa cantidad de agua. Combinándolo todo con el tamaño de la batería y el peso se puede ser capaz de escalar los resultados a un tamaño mayor de robot que, con un estudio empírico, se pueda determinar si es suficiente para vencer las pendientes previstas.

3.4. Soluciones parciales a subproblemas concretos

En este apartado vamos a proseguir con un análisis más exhaustivo sobre diferentes tecnologías que pueden aplicarse en nuestro diseño. La cantidad de mecanismos, formas de solucionar los problemas y diferentes tecnologías que hemos visto hasta el momento hace que debamos solucionar los debates internos de manera analítica o a través de estudios, para quedar totalmente decididos sobre el camino definitivo que tomará el proyecto.

Los diferentes subproblemas en los que debemos profundizar son los referidos al método de tracción que deberá llevar nuestra máquina para poder vencer las pendientes lógicas de un panel solar, con la añadidura de estar trabajando en superficies con agua y suciedad. Como hemos visto, el sistema de tracción oruga es un método que suele utilizarse cuando se trata de llevar a las máquinas por superficies de extrema complejidad, como el caso del robot limpiacristales o el empleado por la empresa hyCleaner para limpiar placas solares. Pero existen otras formas de tracción que pueden implantarse en nuestro diseño, como la tracción mediante conjunto de ruedas. Estos dos sistemas se llevarán a comparación para dilucidar cuál es el que mejor trabaja en superficies complicadas.

Otro subproblema que hemos encontrado reside en el tipo de material que deberá llevar el neumático de nuestro sistema de tracción. A través de un pequeño estudio tribológico podremos comenzar a realizar cálculos que nos saquen de dudas sobre qué tipo de material es el mejor para aumentar la fricción con la superficie en cuestión. También se valorará la implementación de diferentes métodos para aumentar la adherencia de nuestro neumático o banda neumática.

Como el objetivo final de nuestro proyecto es el de limpiar una superficie con un estado dado de suciedad, tendremos que resolver a través del estudio, que tipos de materiales son los mejores para solucionar esta problemática. Hemos visto en varios casos, el uso de rodillos giratorios con filamentos de plástico. También el uso de la microfibra está muy extendido entre los sectores de la limpieza. Todo esto será llevado a estudio. Dentro del subproblema de la limpieza se estudiará la implementación de un método que pueda arrojar agua, elemento imprescindible para una limpieza óptima.

3.4.1. Estudio de diferentes sistemas de tracción

En esta sección realizaremos un estudio general de tracción tanto de un sistema oruga como de un conjunto de ruedas. El estudio determinará, únicamente, cuál de los dos sistemas efectúa mayor poder de tracción en igualdad de condiciones. Es decir, para unas condiciones dadas e iguales, cuál de los dos sistemas ejerce mayor tracción sobre la superficie.

- **Características del terreno**

El análisis se basa en una ecuación exponencial presentada por Janosi y Hanamoto, que sirve para determinar el esfuerzo de deformación y el módulo de deformación (K) entre el suelo y sí mismo, y entre el suelo y el material en diferentes condiciones de humedad. Así pues, la ecuación sería la siguiente:

$$s = s_{max} \left(1 - \exp\left(-\frac{j}{K}\right) \right) = (c + p \tan \phi) \left(1 - \exp\left(-\frac{j}{K}\right) \right)$$

Siendo s el esfuerzo de cizalladura; s_{max} el esfuerzo cortante máximo del terreno, que obedece al criterio de Mohr-Coulomb; donde j es el desplazamiento de cizalladura; K el parámetro de deformación por cizallamiento propio de cada terreno. c y ϕ son la cohesión y el ángulo de resistencia al corte interno del terreno; p es la presión normal [13].

En la siguiente gráfica observamos la evolución que tiene el esfuerzo cortante frente al desplazamiento cortante para diferentes valores de K dados.

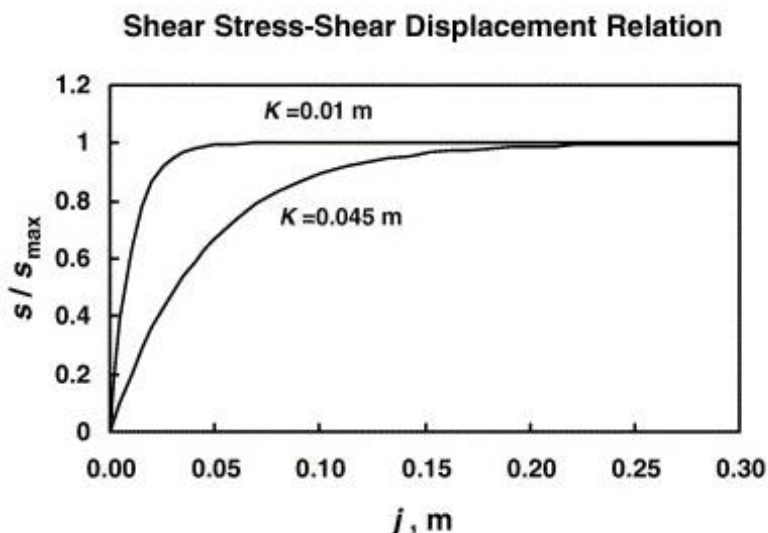


Fig.3.14. Curvas exponenciales de cortante para diferentes valores de K (Wong & Hang).

Podemos observar que, para valores altos de K, conforme aumenta el desplazamiento cortante, antes se aproxima el valor del esfuerzo cortante máximo del terreno al valor del esfuerzo de cizalladura que en valores más pequeños de K. Por lo que podemos afirmar que el valor de k es una constante del terreno fundamental para determinar el esfuerzo necesario del vehículo antes de que se efectúe desplazamientos considerables del terreno.

- **Comparativa de vehículo con ruedas y vehículo de tracción oruga**

Suponiendo un vehículo con ruedas en el que sus neumáticos tienen una superficie de contacto con el suelo esencialmente plana y rectangular con presión uniforme y el mismo contacto longitudinal L_{ti} con el suelo, y que el peso se distribuye de manera uniforme entre los neumáticos, el empuje total F_{ti} desarrollado por n_{ti} neumáticos en un porcentaje de deslizamiento i dado puede ser expresado por la siguiente ecuación.

$$F_{ti} = n_{ti} \left[cb_{ti}L_{ti} + \left(\frac{W}{n_{ti}}\right) \tan \phi \right] \left(1 - \exp\left(-\frac{iL_{ti}}{K}\right)\right)$$

Donde b_{ti} es el ancho de contacto del neumático; W es el peso del vehículo. Todos los demás parámetros son ya conocidos.

Podemos observar en la ecuación dos componentes del empuje: la primera componente tiene que ver con la cohesión del terreno, ligado al área de contacto del neumático. La segunda componente se refiere a las características inherentes del propio terreno sobre el que actúa.

Es lógico pensar en este caso, que el neumático tenga forma plana en la zona de contacto con el suelo, puesto que se refiere a condiciones de terreno firme con un neumático a bajas

presiones de inflado. En caso contrario, se observaría como una rueda rígida y esta ecuación no sería aplicable.

En el caso de la tracción de oruga se aplica la misma fórmula con los cambios pertinentes, esta sería:

$$F_{tr} = n_{tr} \left[cb_{tr}L_{tr} + \left(\frac{W}{n_{tr}} \right) \tan \phi \right] \left(1 - \exp \left(-\frac{iL_{tr}}{K} \right) \right)$$

Se observa aquí que los términos de la ecuación anteriormente descritos son de la misma naturaleza en este caso. Únicamente el valor ligado a la cohesión del terreno y, en consecuencia, a la forma y tipo de tracción, será el que haga variar el valor en la ecuación.

En la siguiente figura se observa la disposición general de una tracción de ruedas frente a una tracción oruga.

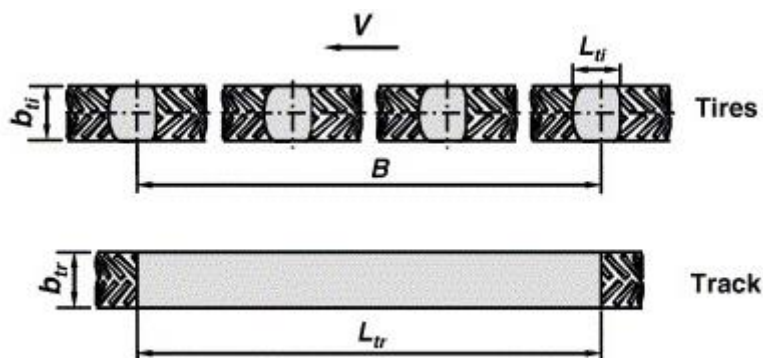


Fig.3.15. Vehículo con ruedas y vehículo con pistas. Comparación ilustrativa (Wong & Hang).

En el caso de las ruedas, la superficie en contacto con el suelo corresponde con una presión de inflado determinada, que variará para observar su influencia en la tracción y completar el estudio. El resto de parámetros son semejantes entre ambos supuestos para conservar una afinidad teórica.

Los resultados que arroja el estudio de la comparación de la tracción tipo rueda con la de tipo oruga, en superficie firme con arena poco húmeda se muestran en la siguiente figura.

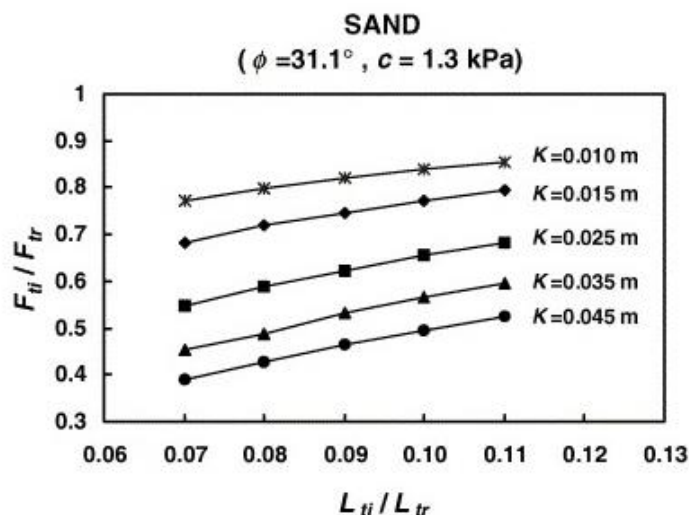


Fig.3.16. Relación de tracción a diferentes presiones y deformaciones del terreno (Wong & Hang).

Las conclusiones que se extraen del estudio son muy útiles para observar que, para cualquier caso en el que el suelo esté en condiciones idénticas, la tracción oruga aporta siempre más empuje que las ruedas. En este caso, la superficie estudiada es semejante a la que tendremos nosotros. El deslizamiento planteado es del 20%, y se observa la alta relación que tiene la presión de inflado de los neumáticos con la fuerza de empuje. También vemos que el factor de deformación del terreno hace que las distancias en el empuje se reduzcan para terrenos firmes; pero siempre siendo superior para la tracción oruga.

3.4.2. Estudio de métodos de adherencia pasiva

Uno de los principales problemas al que nos enfrentamos en este proyecto es la necesidad de sobreponer una inclinación esperada y determinada que toda placa solar tiene. Para ello, un estudio tribológico en las condiciones de trabajo es absolutamente necesario. Ante la imposibilidad de su realización por falta de medios, se efectúan comparaciones con estudios realizados en condiciones semejantes y que arrojan resultados y conclusiones que se puedan incluir en nuestro proyecto.

Antes de comenzar a explicar diferentes métodos para incrementar la adherencia de forma pasiva, realizaremos una breve explicación sobre algunos aspectos fundamentales de la tribología que nos harán situar la adherencia de nuestro dispositivo en el contexto en el que trabaja [14].

Factores que afectan a la fricción entre superficies

En superficies secas, por lo general se cumplen estas premisas:

- Para bajas presiones entre superficies, la fricción es directamente proporcional. A medida que aumenta la presión, el coeficiente de fricción aumenta ligeramente. Con un incremento brusco de la presión, el coeficiente de fricción aumenta drásticamente.
- Para bajas presiones entre superficies, el coeficiente de fricción es independiente del área de superficie.
- A bajas velocidades, la fricción es independiente de la velocidad superficial relativa. A velocidades altas el coeficiente de fricción disminuye.

Para superficies con una lubricación considerable:

- La resistencia a la fricción es independiente de la presión específica entre las superficies.
- A bajas presiones, la fricción varía directamente con la velocidad relativa entre superficies.
- A altas presiones, la fricción es alta a bajas velocidades.
- La fricción no depende tanto de los materiales que están en contacto.
- La fricción está relacionada con la temperatura, ya que afecta a la viscosidad del lubricante [15].

Tras completar estas premisas fundamentales, equiparando dos estados totalmente opuestos, incluyendo la velocidad como factor esencial y la presión entre ellas, para descubrir como varía la fricción entre dos superficies; se advierte en nuestro caso una complejidad de estudio teórico que conlleva a la suposición de estados genéricos y, que a través de diversos estudios prácticos ya realizados por otros autores podamos dilucidar un comienzo teórico en nuestro proyecto.

Requisitos necesarios del dispositivo

Nuestra maquina deberá cumplir los requisitos mínimos para poder realizar las operaciones para las que va a ser diseñado y deberá, además, cumplir los objetivos del proyecto. Un objetivo esencial es que la máquina debe de ser capaz de realizar las operaciones de una determinada manera sin perder adherencia y con alto grado de empuje. Para ello evaluaremos estas características:

1. **Velocidad y movilidad:** La velocidad mínima y máxima para la realización del trabajo es un aspecto muy importante a tener en cuenta. También es fundamental tener claro los tipos de movimientos que va a efectuar; si son movimientos necesariamente bruscos, si deben ser suaves o no, si su movimiento principal es vertical u horizontal, etc.
2. **Carga útil:** Importantísimo el peso del robot. Como hemos observado anteriormente, la presión entre las superficies hará variar el nivel de fricción entre ellas, con una velocidad determinada obtendremos el tipo de movimiento que queremos conseguir.

3. **Confiabilidad y seguridad:** Este aspecto tiene que ver con las garantías que ofrece el producto a no fallar durante la labor que desempeña. La seguridad de que no va a fallar es lo que dará al dispositivo un uso práctico y real. Para ello es importante garantizar una adhesión suficiente en toda la labor sin la necesidad de añadir elementos extra como cables de seguridad.
4. **Usabilidad:** Todo lo anterior comprende aspectos funcionales del robot, pero lo que realmente hace que sea útil es su capacidad de sobreponerse a todo lo que se hacía previamente antes de su existencia; ser competitivo frente a las técnicas que se venían haciendo con anterioridad [16].

Sistemas de adherencia pasiva

A continuación, haremos una breve descripción de los diferentes sistemas que se podrían implantar en nuestro dispositivo para garantizar, a través del aumento de la tracción mediante sistemas de adherencia pasiva, el cumplimiento de los diferentes requisitos de nuestra máquina.

1. Adhesión magnética

Es una técnica muy usual en robots de escalada para la detección de fallas en buques navales; también en el mantenimiento donde haya superficies ferromagnéticas. El principio de adhesión magnética es muy fiable para trabajos de estas características, ya que se pueden crear grandes fuerzas magnéticas en zonas muy pequeñas de superficie.

La fuerza de adhesión de un imán depende de su estructura interna, las características ferromagnéticas de la superficie y de la distancia del imán con la superficie.

En nuestro caso vemos una posibilidad real para comenzar a realizar un estudio práctico en el que se demuestre o no, la viabilidad de implantar imanes en el sistema de tracción de nuestro dispositivo, o en cualquier parte de él, para incrementar la adherencia con la superficie.

Conociendo la posibilidad de que las placas solares, por el mero hecho de que usan material metálico para captar los diferenciales de potencial que crea el semiconductor de silicio, puedan atraer materiales magnéticos, vemos gran futuro a un estudio más extenso en este campo.

2. Adherencia neumática con ventosas pasivas

Este sistema se emplea cuando las superficies no son ferromagnéticas, aunque es más usual ver los sistemas succión activa para trabajos con pendiente vertical más que la adherencia con ventosas pasivas. Aunque para sistemas que no son verticales completamente, como es el caso, con la fuerza ejercidas por ventosas pasivas debería ser suficiente aumento de adherencia.

La fuerza de la ventosa está estrechamente ligada con el área de la misma y por eso, los robots que emplean estos sistemas suelen utilizar ventosas más grandes cuando se requiere mayor fuerza de succión hacia la superficie. En cualquier caso, un estudio sobre este aspecto será necesario para determinar la tipología de la ventosa en caso de ser el sistema de adherencia pasiva elegido para el proyecto.

3. Adhesión electrostática

Además de los sistemas clásicos de adhesión pasiva, existen métodos novedosos como la adhesión electrostática. Este sistema se fundamenta en almohadillas electro adhesivas que comprenden electrodos conductores y sustrato de aislamiento que se usan para generar fuerzas de Van der Waals con la superficie, a la que se adhieren.

Esta tecnología parece tener un gran futuro, aunque no está resuelta del todo. Experimentos recientes han demostrado que solo 0.02 mW/N de consumo son necesarios por término medio. Además, para superficies de vidrio se ha observado una fuerza de 0.84 N/cm².

Una variante de esta tecnología es la que se basa en utilizar fibras microscópicas que se adhieren a la superficie a nivel atómico. El problema que se observa es la escasa vida útil muy limitada y la necesidad de un sistema especial para despegarlos de la superficie.

4. Adherencia química

La ventaja general de este principio de adhesión radica en su bajo consumo de energía cuando el sistema no se mueve, mientras que durante el movimiento se necesita una cierta fuerza para pegar o despegar el material de la superficie.

Las investigaciones en este campo provienen de la ciencia de materiales para encontrar nuevos enfoques de adhesión, por lo que se desarrollan como pruebas de concepto y no suelen tener mucha aceptación en estos sectores [16].

4. ELECCIÓN JUSTIFICADA DE LA SOLUCIÓN

Tras el desarrollo de los campos anteriores, y habiéndose realizado de una manera extensiva las soluciones que se plantean hoy en día en el mercado; se realiza la elección de una solución definitiva que aporte valor dentro del sector y que sea posible la realización de un prototipo. Dividiremos este apartado en tres categorías: Elección del tipo de tracción, sistema de limpieza que se empleará y sistema de suministro eléctrico, control y sensores. Además, se añadirá una propuesta de implementación de un método de adherencia pasiva.

- **Tipo de tracción:** El sistema de tracción que se va a implementar en el diseño va a ser una tracción de tipo oruga. Este tipo de tracción es la que más fuerza tractora ejerce en cualquier ámbito, además de aportar más adherencia que un sistema de ruedas común. Como hemos observado en el capítulo anterior, la propuesta de la tracción tipo oruga es la más recomendable para cualquier superficie, ya esté húmeda o con elementos intermedios. No cabe duda de que es la mejor solución en este aspecto. Más adelante se realizarán estudios más detallados sobre la configuración y el diseño de la tracción.
- **Sistema de limpieza:** El aspecto más importante del diseño sin lugar a duda, el dispositivo debe ser capaz de limpiar las placas solares, y para ello se debe diseñar un sistema eficaz y a la vez versátil para cumplir con los objetivos del diseño. Para elegir la solución definitiva nos hemos fijado en esencia en la planteada por la empresa iRobot en su Scooba 450, donde se realizan varias etapas para conseguir la limpieza óptima. Nosotros hemos realiza algo similar, aunque con variaciones propias debido a la complejidad que poseen las placas solares para su limpieza. Lo dividiremos en tres etapas.

La primera etapa constituida por un rodillo en la parte frontal de la máquina, el cual hará las funciones de barrido en seco. Este rodillo dispondrá de grandes láminas de microfibra en su superficie y actuará a muy bajas revoluciones. Su misión principal será la de realizar un barrido de forma giratoria para eliminar el polvo y la suciedad más volátil sin dañar la superficie de la placa solar.

La segunda etapa será la etapa más importante y la que nos eliminará la suciedad más difícil de la placa. Consistirá en un rodillo ubicado en la parte central de la máquina apoyado por varias boquillas que rociarán agua sobre la superficie previo paso de este rodillo. Este rodillo tendrá menos longitud que el anterior, ya que no debe interferir con el sistema de tracción. El agua se suministrará a través de dos depósitos ubicados en los laterales de la máquina y bombeada con bombas sumergidas en esos depósitos. El

rodillo nuevamente será de microfibras, aunque se mezclarán con pelos de nylon para ofrecer rigidez y garantizar una limpieza óptima.

La tercera etapa consistirá en un perfil de caucho del estilo del que se utilizan en los limpiacristales de los coches. Se ubicará en la parte posterior de la máquina y se empleará para la retirada de agua, así como la utilización de esa agua para eliminar posibles restos de suciedad que se hayan podido quedar en la superficie.

- **Sistema de suministro eléctrico, control y potencia:** En este caso la elección y su justificación vienen dadas por los diferentes ejemplos ya vistos y sus especificaciones concretas. Para alimentar de corriente a la máquina se hará a través de una batería de 24V de li-ion de alto rendimiento y con una gran capacidad. El consumo de la máquina y la capacidad de la batería vendrán calculadas más adelante. El control de todo el sistema se realizará mediante una combinación de un sistema Arduino programable y un driver de control de motores para realizar todos los movimientos de la máquina de manera precisa, además de varios sistemas de protección necesarios en máquinas automáticas. En la parte de sensores se incluirán cuatro sensores láser situados en las periferias de la máquina y servirán para conocer los límites de las placas solares. Además, se incluirá otro sensor capaz de detectar suciedad situado tras el primer rodillo, que hará que la máquina pase a un modo diferente para garantizar la extracción de dicha suciedad.

Por otro lado, se valorará incluir en la banda de caucho que llevará el sistema de tracción, una serie de ventosas pasivas de pequeño tamaño por toda la superficie, garantizando el aumento de adherencia necesario para realizar todas las operaciones sin la pérdida de control. De esta manera podremos incrementar la inclinación a superar. Esta implementación se estudiará más adelante y, únicamente se hará efectiva tras un estudio de campo del sistema.

Tras esta explicación queda clara la disposición general de la máquina en el contexto donde realiza el trabajo y ya se puede llevar a cabo los estudios de los diferentes sistemas y el desarrollo de la solución.

5. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En este apartado se procede a concluir la parte anterior de forma definitiva a través del diseño en 3D con ayuda del programa de diseño asistido por ordenador SolidWorks. También se realiza el estudio definitivo de las diferentes soluciones, hablando de tamaño, forma y demás especificaciones finales. Así pues, se dividirá como en el apartado anterior en sistema de tracción, sistema de limpieza y sistema de control.

5.1. Sistema de tracción

El sistema de tracción es un sistema oruga diferencial, con independencia de movimiento entre sus dos orugas. Las dimensiones empleadas en la disposición de los diferentes elementos que componen la tracción de una de las orugas viene ilustrada a continuación.

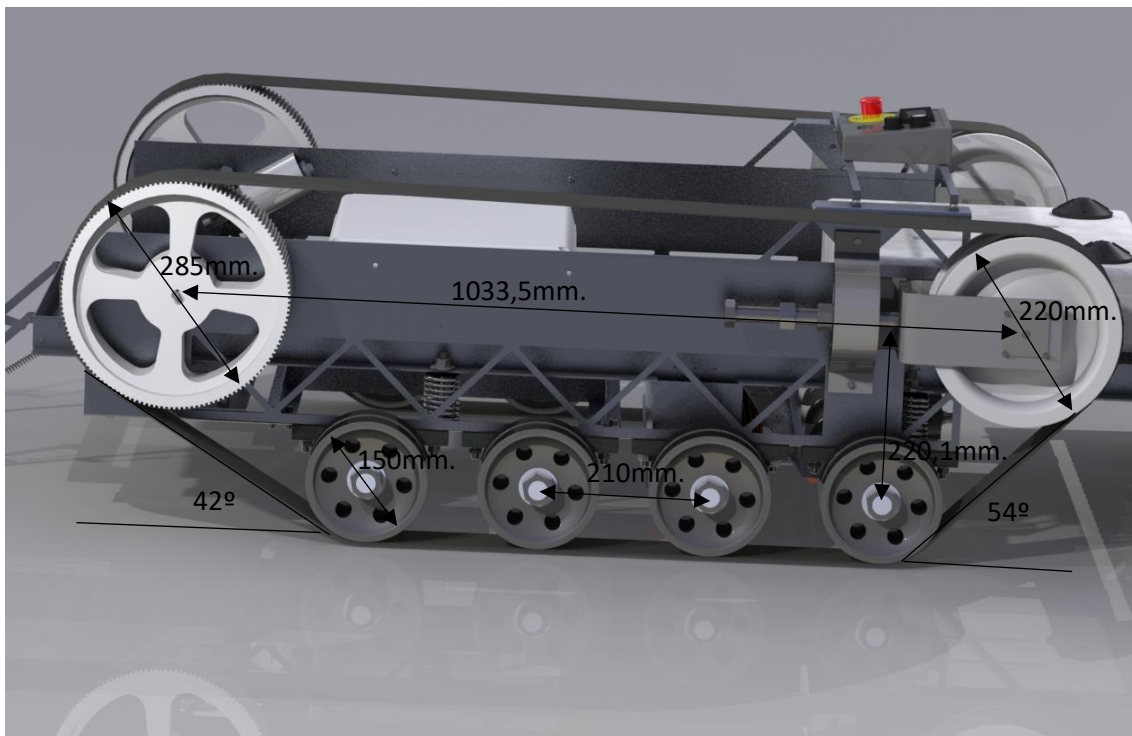


Fig.5.1. Dimensionado de la tracción oruga.

Las posiciones de los diferentes elementos no son aleatorias. Primero, la situación de las dos poleas, la motriz dentada y la seguidora son de diferentes tamaños para conseguir más fuerza de tracción, ya que hay mayor existencia de dientes en contacto con polea dentada. Además, esto viene a garantizarse con los diferentes ángulos existentes respecto a la línea de ruedas de presión. Las diferentes longitudes se resumen en dos conceptos ligados entre sí; la existencia de documentos que ejemplifican estas longitudes a través de softwares encargados para ello y también, conseguir cubrir todo el ancho de una placa solar estándar únicamente con la superficie de contacto de la banda y la superficie de la placa.

La parte más importante quizás sean las ruedas de presión, que mantendrán la mayor cantidad de superficie de contacto y soportarán el peso de todo el mecanismo, es por esto que vienen por parejas y que se instalen en rodamientos independientes rígidos y no de otra manera.

El sistema oruga se diseña trapezoidal con ángulos de ataque y de salida para solventar sin pérdida de adherencia las posibles irregularidades del terreno, así como los diferentes saltos de panel.

Para garantizar el cumplimiento del Real Decreto 487/1997, para la manipulación de cargas; y puesto que no cumplimos esas especificaciones previas al pesar la máquina completa alrededor de 60Kg, se pensó en separar los diferentes sistemas en la instalación, realizándose esta en 4 pasos diferentes para dividir este peso en segmentos menores.

Es conveniente destacar la distancia entre las dos tracciones oruga, puesto que una distancia muy grande entre ellas y efectuando un giro con radio de giro amplio hace disminuir la eficiencia y consumiendo más energía del sistema. El movimiento de giro de forma diferencial con ángulos de giro que hagan que los centros instantáneos de rotación de cada una de las tracciones estén alejados, hacen que pierda eficiencia aumentando el consumo como se demuestra en el paper ``Power analysis for a skid-steered tracked mobile robot``.

El material con el que se ha pensado fabricar todas las ruedas de presión y las diferentes poleas es el ABS, ampliamente utilizado en robótica en sistemas de este estilo.

5.1.1.Cálculo de la banda de rodadura

En este apartado se calcula la elección de la banda de rodadura o correa, además de la polea dentada, es decir, la transmisión de potencia.

El cálculo de la correa síncrona viene a realizarse, no por la tensión que debe soportar esta, si no por el paso entre sus dientes y su anchura, además de poder compenetrarse perfectamente con la polea dentada de 285 mm que se ha considerado implementar.

Para la elección de la correa síncrona y una polea dentada que casen perfectamente se realiza el estudio de elección a través de una empresa única que además vende la correa a metros.

Así pues, la empresa suministradora es MEGADYNE Group. En su catálogo de correas a metros encontramos tanto la correa que utilizaremos como la polea dentada. En el caso de la polea dentada no se identificará en su catálogo propio, puesto que venden las poleas en aluminio. Se constatará la existencia de esta y se plagiará sus especificaciones para posteriormente reproducirla en ABS.

La correa que se elige para este caso se denomina RPP8 OPEN -END (STRAIGHT CUT). Con una anchura estándar de 85mm. Para esa anchura esta correa tiene una fuerza a la rotura de 40950 N. A continuación, se muestra la sección transversal de una parte de la correa con diferentes características.

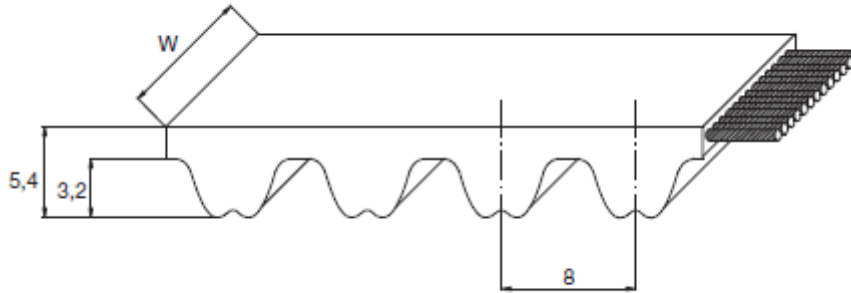


Fig.5.2. Dimensiones banda de rodadura

La fuerza de resistencia de los dientes en el caso de este tipo de correa a bajas velocidades es muy alta, por lo que pueden transmitir toda la potencia necesaria para impulsar el dispositivo en inclinaciones muy desfavorables.

Tabla 2. Resistencia del diente según la velocidad angular.

RPM (1/min)	0	10	50	100	200	500	1000	1500	2000
$F_{p\ spoc}$ (N/cm)	78	77	76	74	70	61	51	47	44

Para la polea, simplemente decir que, para el diámetro exterior elegido, el número de dientes de esta sería de 112.

5.1.2. Dimensionado del motor

Para el dimensionado del motor se parte de un supuesto en el que tenemos una polea motriz única, como en la imagen principal de este capítulo, en el que la parte de la banda de arriba se encuentra destensada (T_1) y la parte de abajo se encuentra tensa (T_2). La potencia a transmitir, según la ecuación de Poncelet, será $P = T_2 - T_1$, coincidiendo esta fuerza con la fuerza de rozamiento que debemos sobreponer (F_r).

La fuerza de rozamiento para que nuestro dispositivo no pierda la adherencia será igual o mayor que la fuerza de rozamiento calculada con el coeficiente estático de fricción. Así pues, la fuerza de rozamiento será:

$$F_r = \mu_s * (W/2)$$

Siendo μ_s el coeficiente de rozamiento estático y W el peso total del dispositivo. El coeficiente estático de rozamiento viene a calcularse a través de métodos empíricos como se demuestra en el paper "Onset of frictional sliding of rubber-glass contact under dry and lubricated conditions". Donde efectúa estudios en diferentes condiciones para calcular el coeficiente de rozamiento estático y dinámico del caucho sobre cristal. El coeficiente de fricción que nosotros entendemos posible entre el caucho y el vidrio es de 0,7, puesto que existen datos que arrojan esos resultados; aun así, se deberán hacer comprobaciones en laboratorio con diferentes muestras de caucho para determinar un coeficiente exacto en las condiciones en las que esta máquina va a desarrollar su trabajo.

Entonces ya podemos concretar que la fuerza de rozamiento será de **210 N**, multiplicando la mitad del peso de la máquina por el coeficiente estático.

Para comenzar el cálculo definitivo aplicamos suma de momento igual a cero en el eje del motor para concretar que:

$$M_m = F_r \cdot r$$

Siendo M_m el momento del motor en cuestión y r el radio de la polea síncrona motriz.

Con un radio de 0.143m, el momento motor será de 30,03Nm. Pero este par motor solamente está calculado en régimen permanente de actuación, sin incluir el arranque, donde se generaría mayor par motor. Para simplificar los cálculos se mayor esta solución aplicándole un factor de 1.5 para calcular el momento motor total. La solución final será de **45,054 Nm**.

Pero con el momento motor no conseguimos dimensionar el motor, para ello necesitamos la potencia del motor (P_m), que se calculará multiplicando el momento por la velocidad angular que llevará la polea dentada.

Para calcular la velocidad angular es necesario establecer una velocidad lineal del dispositivo. En este caso se propondrá una velocidad inicial de 1,5 km/h; sujeta a cambios, puesto que es la velocidad que varios competidores tienen en sus dispositivos.

Esta velocidad lineal en velocidad angular será de **2,914 rad/s**.

La potencia final y con la que se dimensiona el motor es de **131,28 W**.

El motor seleccionado tras los cálculos es un motor de 24V Bosch DPO-K cuyas especificaciones y curva de respuesta son las siguientes:

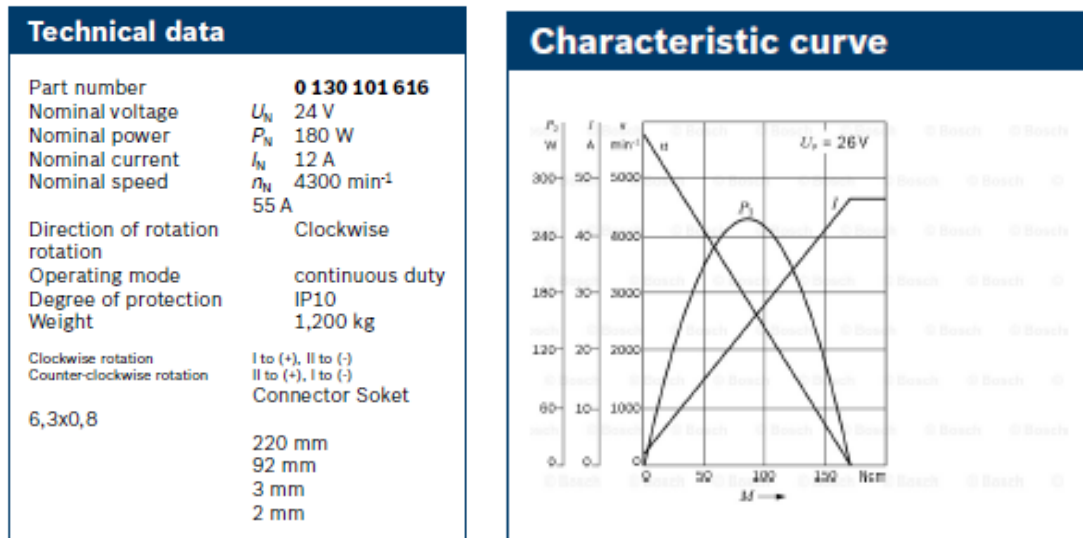
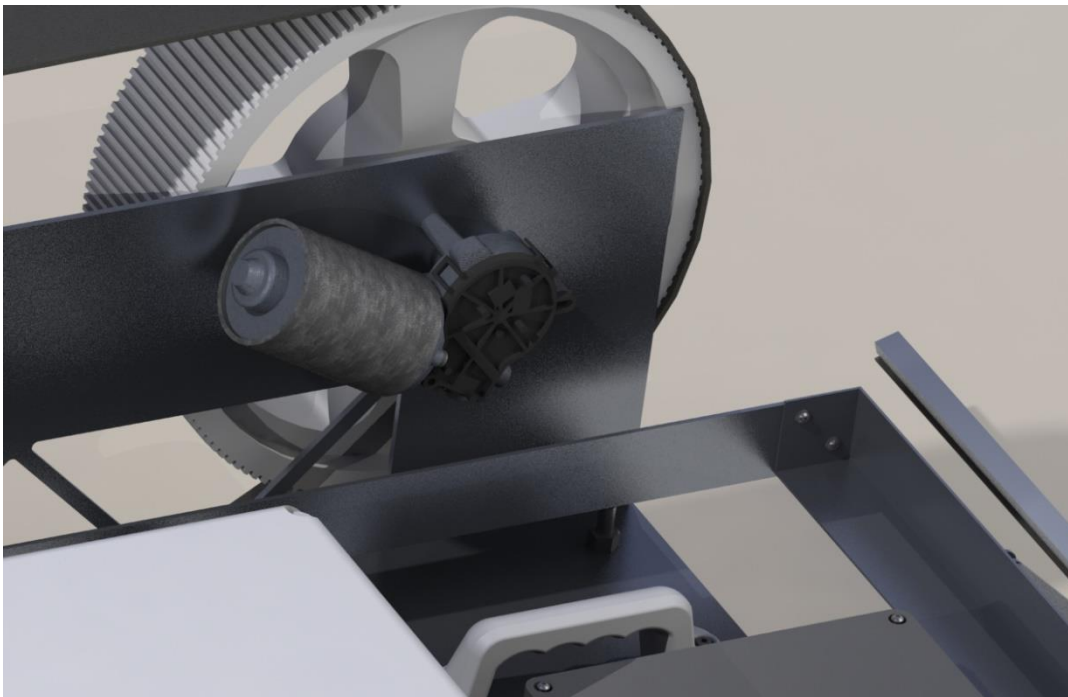


Fig.5.3. Especificaciones motor Bosch

Su disposición y su representación en SolidWorks se visualiza en la siguiente ilustración.



La visualización del sistema de tracción se realiza en la siguiente ilustración, donde se pueden ver los dos perfiles laterales con el sistema oruga acoplado y la pieza central compuesta de perfiles en T, para unir ambas tracciones y sostener otros elementos del dispositivo.

5.1.3. Materiales empleados y ubicación de elementos.

El material de todos los perfiles que se vean desde aquí hasta el final se pensó en fabricarlos en aluminio 2024-T3, puesto que sus características se acoplan perfectamente a las especificaciones de este proyecto y se encontró una casa que los vendía de diferentes tamaños bajo pedido.

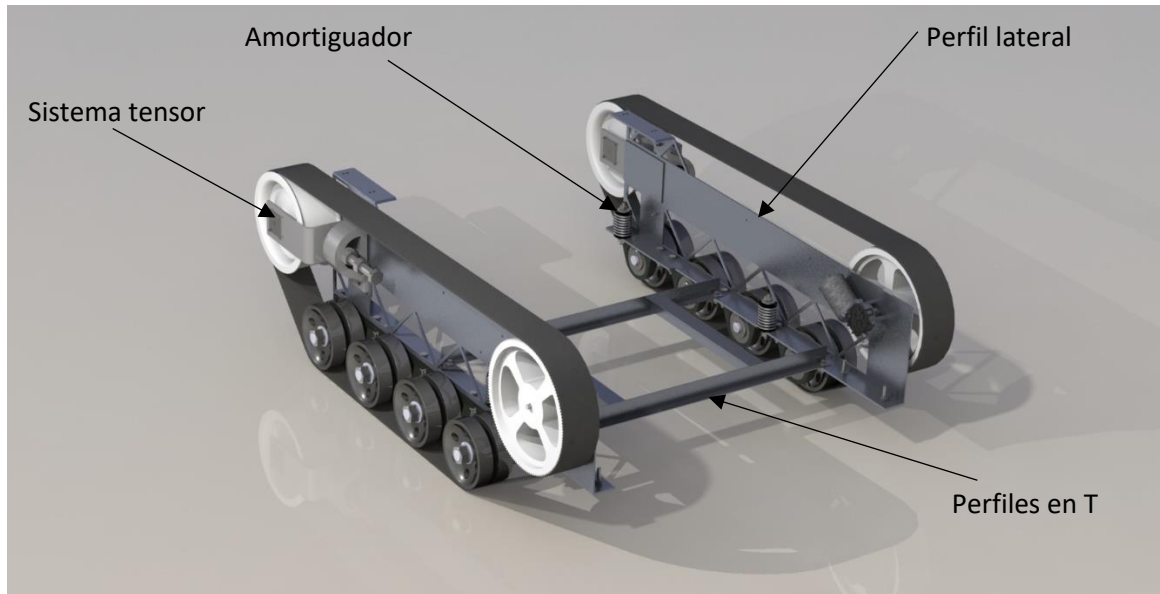


Fig.5.4. Sistema de tracción.

También se observa otros elementos como el sistema antivibraciones donde irá ubicado el sistema de limpieza. Este sistema absorberá todas las vibraciones ocasionadas por el movimiento giratorio de los rodillos para no transmitirlo al sistema de tracción y no pierda adherencia.

El sistema tensor es un sistema de tornillo que efectúa presión sobre la pieza que alberga a la polea seguidora. Esta polea únicamente sirve para guiar a la correa en su trayecto, es una polea "loca". El material que se ha utilizado para el sistema tensor es PE de alta densidad, por su gran resistencia a la tracción/compresión.

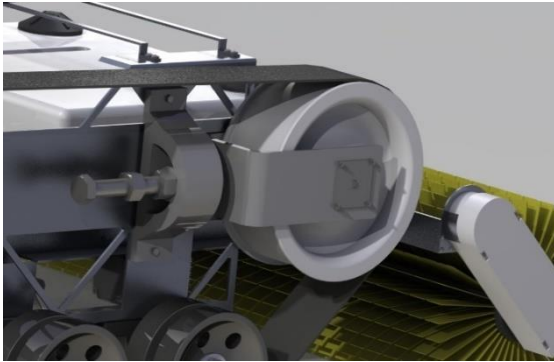


Fig.5.5. Detalle polea y tensor.

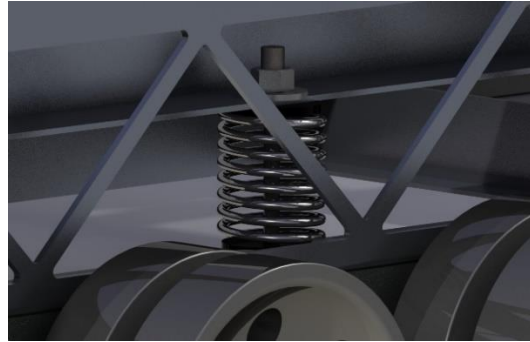


Fig.5.6. Detalle amortiguador.

5.2. Sistema de limpieza

El diseño del sistema de limpieza parte de la necesidad imperiosa de albergar un depósito de agua en su seno. Para poder conseguir sostener gran cantidad de agua, se necesita diseñar un sistema que garantice la eficiencia en el proceso de limpieza.

Este sistema contiene una estructura de aluminio como chasis, además de dos rodillos de diferentes características. El primer rodillo será de mayores dimensiones, compuesto de largas bandas de microfibra, y actuará en todo momento; además actuará sin el apoyo de agua. Además, se ajustará al chasis a través de un sistema que le permitirá el giro para poder ajustarse a las superficies.

El segundo rodillo se ubicará en una posición intermedia y será más pequeño que el anterior, puesto que estará entre las dos orugas. Este rodillo tiene también menor diámetro que el rodillo principal, aunque también será de microfibra. En este caso la microfibra tiene que ser más densa para poder contener mayor capacidad de agua. Se elige la microfibra por sus propiedades higiénicas y por la capacidad que tiene de contener hasta un 50% de peso en agua. Este rodillo, como se ha soslayado será el que actúe en combinación con agua.

El sistema de rociado de agua actuará en una posición intermedia entre los dos rodillos y tendrá unas características especiales que se detallan a continuación.

Dispone además del depósito, de 32 litros de capacidad, de dos bombas de agua conectadas una a cada extremo del depósito y actuarán dependiendo de la posición del dispositivo con respecto a la placa en su avance horizontal, actuará la que se encuentre en la posición inferior.

Estas bombas suministrarán agua a unas boquillas con un diámetro de salida que permita aumentar la presión del agua en gran medida, en el esfuerzo de desincrustar la suciedad más resistente.

Para finalizar, el sistema de limpieza tiene una membrana de caucho como la que actúan en los limpiaparabrisas de los vehículos en la parte posterior del sistema y así finalizar con la operación de limpieza secando la superficie y acabando de desincrustar posibles restos que se haya podido dejar el rociado más el rodillo.

En las siguientes ilustraciones se muestra el sistema en completo indicando todos los aspectos necesarios para su comprensión.

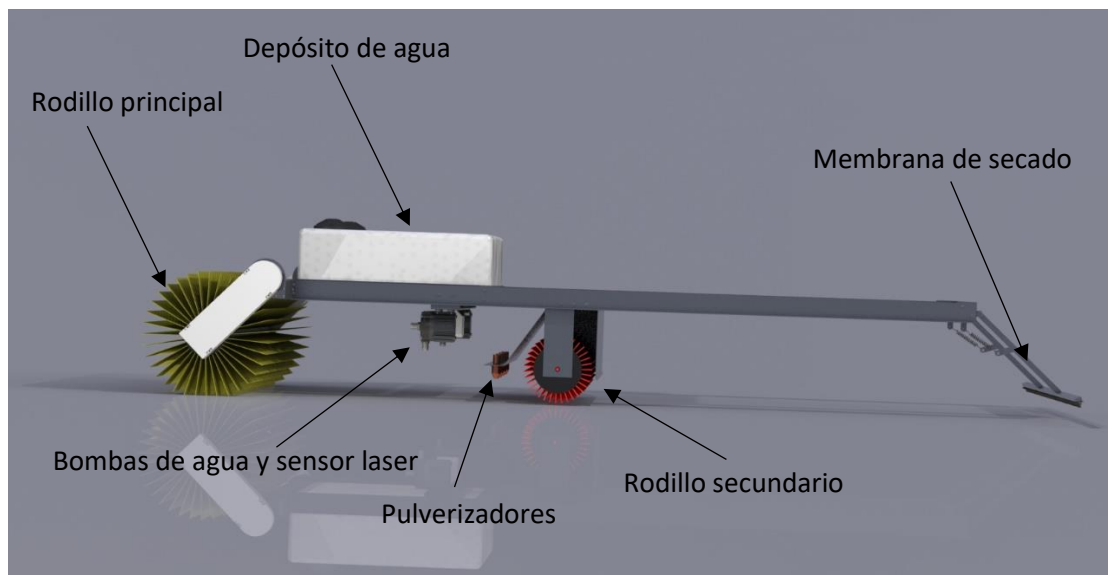


Fig. 5.7. Elementos sistema de limpieza.

El sistema de secado tiene dos muelles que presionan la membrana sobre la superficie consiguiendo adaptarla a la superficie de la placa solar y asegurando la desincrustación de suciedad y secado de la misma.

Esta membrana tiene características similares a las que se usan en los limpiaparabrisas de los vehículos, aunque debe ser más grande y resistente a elementos más corrosivos. La anchura que se ha propuesto en este prototipo ha sido de 1200mm, aunque de ningún modo sea algo definitivo, que deberá mejorarse continuamente conforme al proceso lógico de diseño de un producto final.

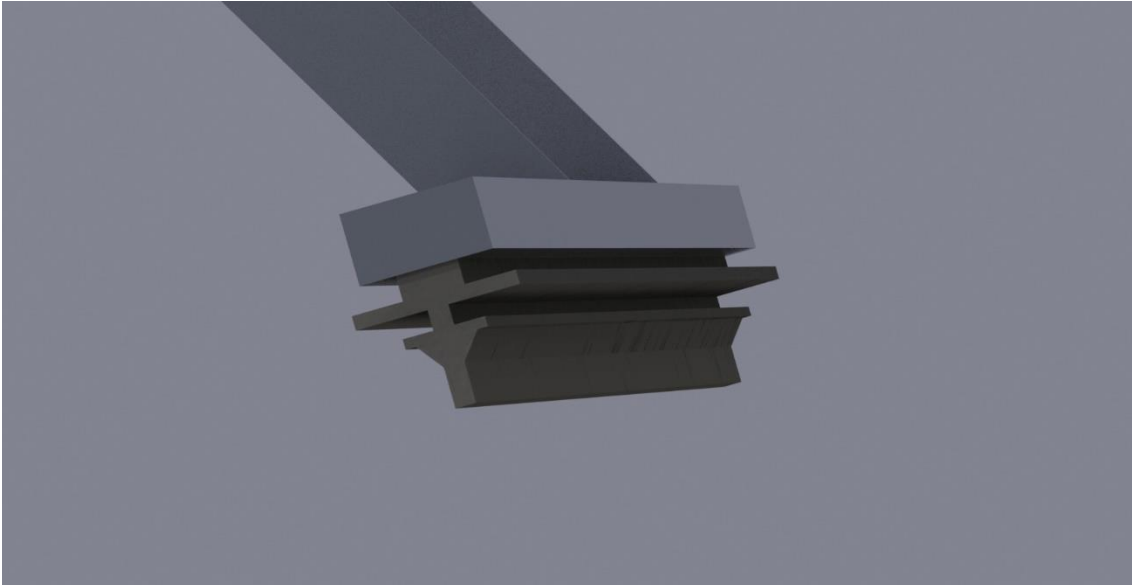


Fig.5.8. Detalle escobilla

Así pues, el sistema que se emplea para quitar la suciedad se basa en un modo multietapa, con tres etapas claramente diferenciadas que explicaremos a continuación. Conforme avance la máquina, las diferentes suciedades pasarán por las tres etapas. Aunque la segunda etapa solo se activará en determinadas circunstancias.

- 1ª Etapa: Esta primera etapa se conforma únicamente con el rodillo principal descrito anteriormente, este estará en movimiento durante todo el proceso de limpieza y su función es barredora. Este rodillo actuará como escoba barriendo los elementos más volátiles de la superficie, como polvo o motas debidas a la polución.
- 2ª Etapa: Esta etapa comprende todo el sistema de fregado, que incluye el depósito, el sistema de rociado con las bombas y solenoides, los pulverizadores y el rodillo secundario. Además, se incluye un sensor láser, el cual se hablará más en el apartado de sistema de control, que controla los niveles de suciedad por superficie. Esta etapa solamente se activará cuando el sensor láser detecte una cantidad superior de suciedad en una superficie determinada. La etapa actúa como una máquina de fregar, el rodillo y el agua a presión desincrustarán hasta el más mínimo punto de mugre.
- 3ª Etapa: La tercera etapa solamente incluye la membrana de secado anteriormente explicada y poco más se puede añadir sobre esta etapa.

Una vez explicado el sistema de limpieza y el modo de trabajo que se ha pensado para el proceso de limpieza, esta parte se ubicará sobre los amortiguadores explicados en el sistema de tracción, únicamente sobre estos, los que se encargarán de absorber toda la energía proveniente de las vibraciones lógicas de los rodillos.

La representación de las etapas se puede realizar a través de la siguiente ilustración, que muestra la planta del sistema de limpieza y, de una manera más clara se ven todos los elementos y como se integran para realizar las etapas.

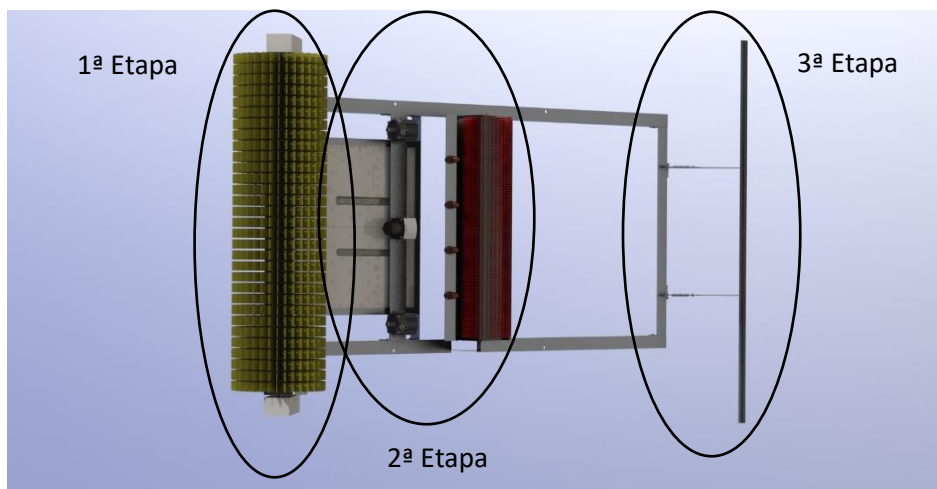


Fig.5.9. Visualización etapas de limpieza

5.3. Sistema de control y potencia

El sistema de control se ha convertido en la parte menos desarrollada en este diseño, puesto que los conocimientos sobre la materia van más allá que las atribuciones del autor inicial de este proyecto. Aun así, se pueden realizar cálculos sobre la capacidad de la batería, así como explicar brevemente algunos aspectos relevantes del sistema de control.

Lo primero decir que el sistema de control no tiene una disposición clara y extraíble de forma única del dispositivo, como pasa con el sistema de limpieza. El sistema de control y potencia es una composición de elementos que ayudan a la máquina a ubicarse en un contexto a través de sensores, y por medio de elementos de control como un Arduino uno y un driver. Lo integran también relés, solenoides y una botonera para la activación y desactivación de la máquina. Pero también una batería que se calculará en el siguiente punto.

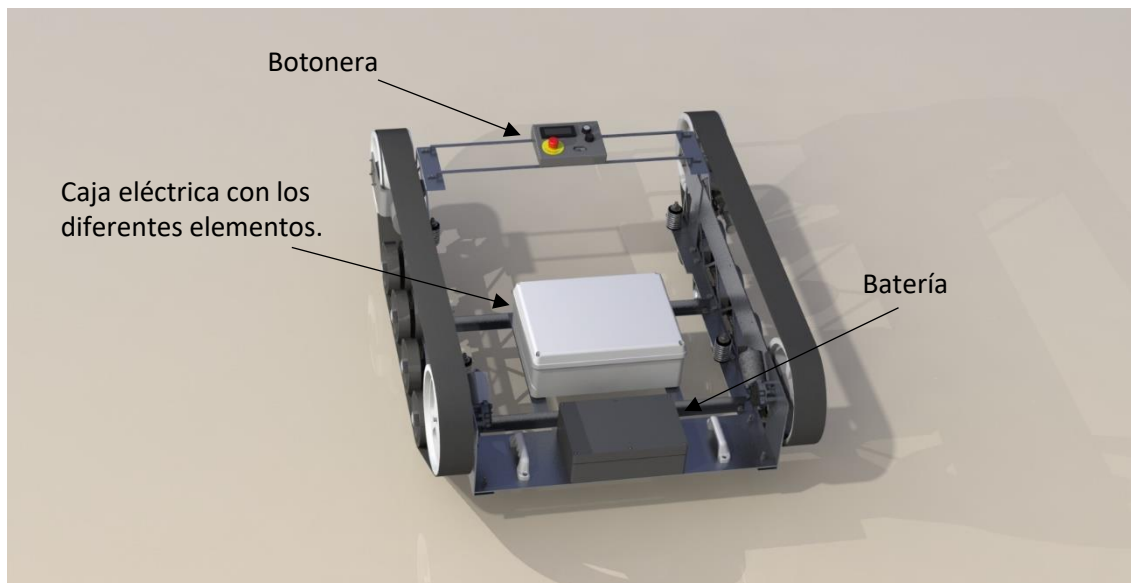


Fig.5.10. Elementos del sistema de control y potencia.

En la ilustración anterior se puede ver la ubicación de los elementos que integran el sistema de control.

La botonera incluye dos botones de marcha y paro, una seta de emergencia, una pantalla LCD para la visualización de errores o emergencias y un pequeño altavoz que avisará de las emergencias, así como el inicio de la marcha por parte de la máquina.



Fig.5.11. Botonera con sus elementos.

La caja eléctrica es la zona donde se van a encontrar los diferentes elementos eléctricos, como el Arduino, driver, contactores y relés y todo el cableado y conexionado de elementos. Lo único que se quiere transmitir es la posición elegida para contener todos los elementos, que será sobre los perfiles doble T del sistema de tracción.

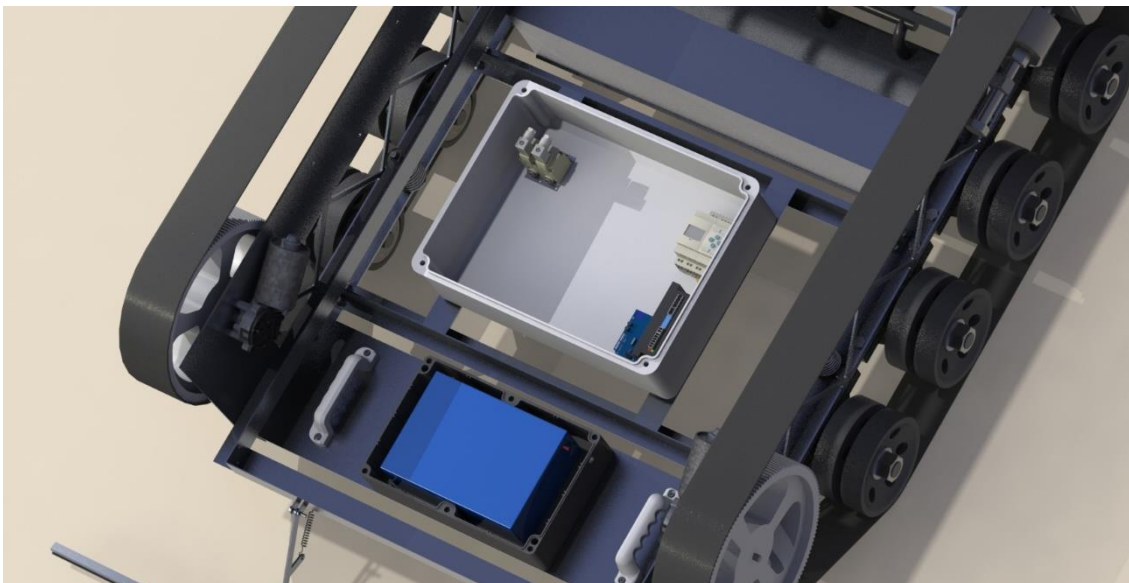


Fig.5.12. Elementos del control y potencia de la máquina.

La batería sí que es un elemento que se puede quitar del sistema de manera conjunta, al igual que el sistema de limpieza, a través de las dos agarraderas de los extremos.

También se quiere señalar que van a existir en el diseño cinco sensores, cuatro capacitivos en las esquinas de la máquina, con una posición sin determinar y un sensor láser encargado de visualizar la suciedad más complicada y proceder al activado de la segunda etapa de limpieza. Este sensor láser, elegido con anterioridad es el SICK-TIM 551, capaz de realizar las funciones que se le han propuesto. Su localización en el dispositivo es entre las dos bombas de agua como se puede observar en la siguiente ilustración.

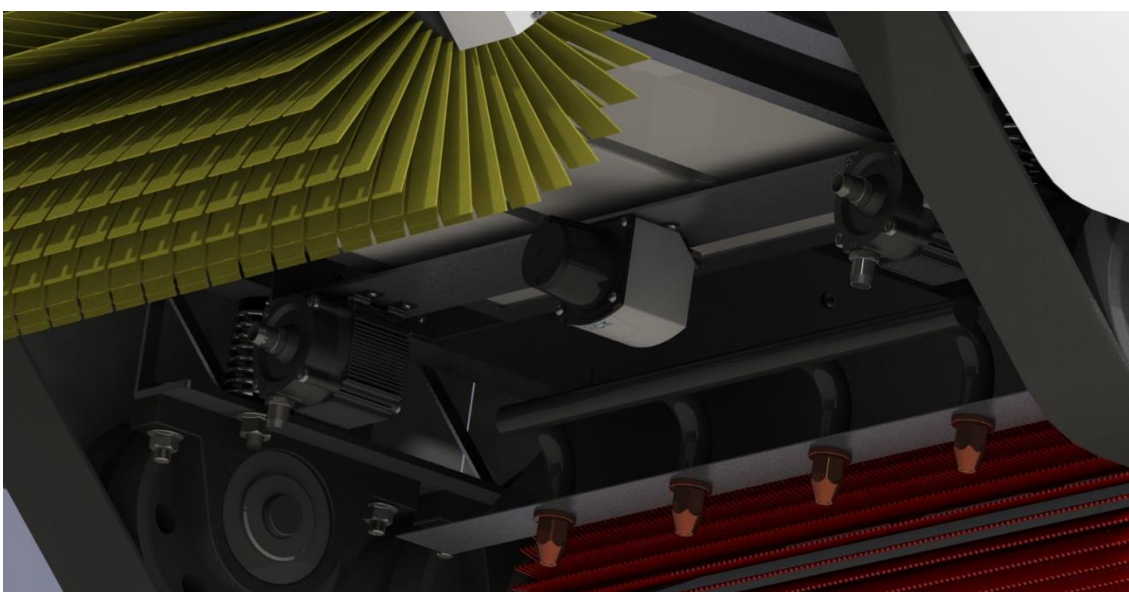


Fig.5.13. Detalle sensor láser.

- Cálculo de batería:

Para el cálculo de la capacidad de la batería se realizará un desglose previo con el consumo de los diferentes elementos de la máquina. Los elementos como los sensores capacitivos, se hará una estimación aproximada, que nos servirá para el cálculo.

- Motor F006WM0310-BOSCH: 131,28. Como se necesitan dos motores, la potencia total será de **262,56 W**.
- Motor Mellor Electric, 24 V dc, UBB 1001: 9W. Estos serán los motores que van a ir integrados en los rodillos. Puesto que se necesitan dos motores, la potencia conjunta será de **18W**.
- Bomba KOOLANCE PMP-600: 52W. Potencia conjunta máxima de las dos bombas de **104W**.
- Sensor láser SICK-TIM551: **4W**.
- Resto de componentes: La estimación aproximada del resto de componentes será de **50W**.

Una vez se sabe las potencias de los diferentes elementos, se realizará una distinción de dos modos de actuación. En el primer modo solamente actuarán todos los elementos que intervienen en el movimiento y en la localización de suciedad y posición de la máquina. Salvo la segunda etapa del sistema de limpieza actuará todo el resto del dispositivo. Como este modo estará actuando el 80% del tiempo presumiblemente, este será el factor para el cálculo total del consumo mientras la máquina esté en esta situación.

Así pues, el consumo de este modo será de $157,5W \times 0.8 =$ **267,65 W**

El segundo modo comprende todo lo anterior más la segunda etapa del sistema de limpieza, es decir, toda la máquina al completo. En este modo la máquina solamente actúa el 20% del tiempo, así que la potencia de esta etapa será de **87,71 W**.

La potencia total consumida por la máquina será entonces, de 355,36 W.

Para dimensionar la batería es necesario traspasar esta potencia a corriente consumida, para posteriormente, tras multiplicarlo por la autonomía esperada, conseguir la capacidad de la batería.

Así pues, $180,1W/24V = 14,80 A$ de consumo de corriente de todos los elementos que se incluyen en la máquina.

Como la autonomía esperada es de 2,5 horas. La capacidad de la batería deberá ser como mínimo de 37,02 Ah, por lo que se opta por coger una batería con **40 Ah** de consumo. La batería final que se elige para el proyecto es una batería LiFePo04, puesto que son unas baterías muy eficientes para estos tamaños de capacidad y voltaje.

5.4. Ensamblaje y montaje final

Una vez concretadas cada una de las partes del prototipo, se procede al ensamblaje final de todas ellas en un conjunto, además, se tendrá en cuenta una parte de diseño estético que cubrirá a la máquina para hacerla más comerciable y vistosa.

Ya se han podido ver en ilustraciones anteriores un anticipo de lo que será el ensamblaje de todos los elementos de la máquina, aunque a la hora del ensamblaje se seguirá un orden concreto.

Para unir las piezas se deberá hacer en el orden siguiente, el cual se acompañará con más ilustraciones para su comprensión.

Primero se realiza el montaje del sistema de tracción, que será el que soporte todos los demás elementos.

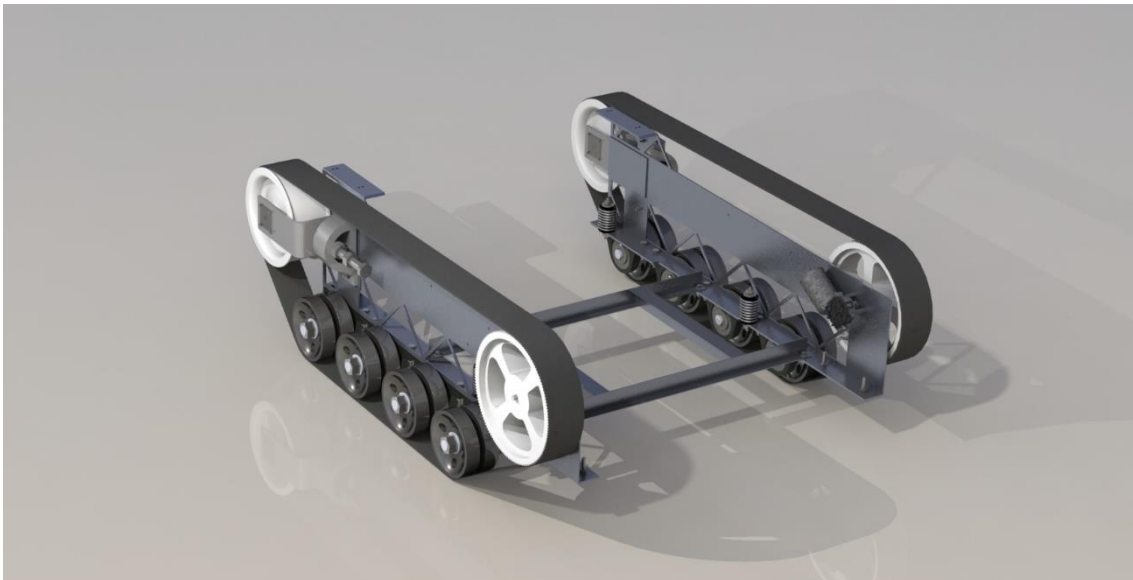


Fig.5.14. Primer paso en el montaje (sistema de tracción).

Posteriormente se instalará sobre este el sistema de control, incluido por la botonera y los perfiles que la soportan, la batería, y la caja eléctrica con todos los elementos integrados en ella.

La instalación de estos componentes se hará in situ en el lugar de trabajo tras haber colocado previamente sobre la placa el sistema de tracción.

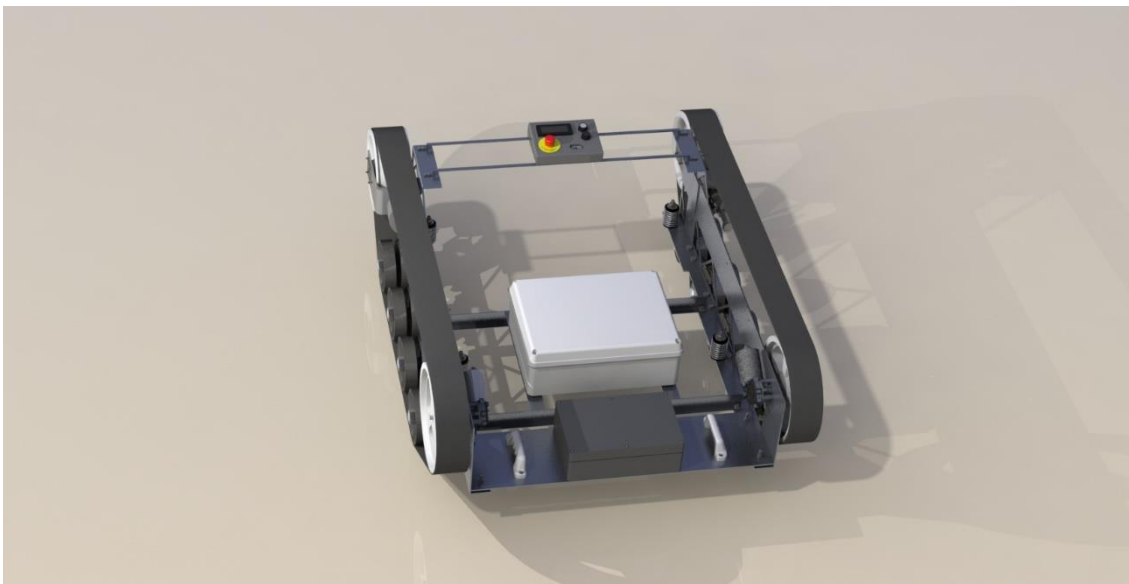


Fig.5.15. Segundo paso en el montaje (sistema de control y potencia).

Tras la instalación del sistema de control y conexionado de los elementos se procede a ensamblar el sistema de limpieza sobre los amortiguadores del sistema de tracción. En este paso no se incluirá el depósito, que se pondrá en último lugar. Tras colocar en su posición el sistema de limpieza y asegurarnos de que todo está bien conexionado, se procede a realizar las conexiones hidráulicas y el cebado de las bombas.

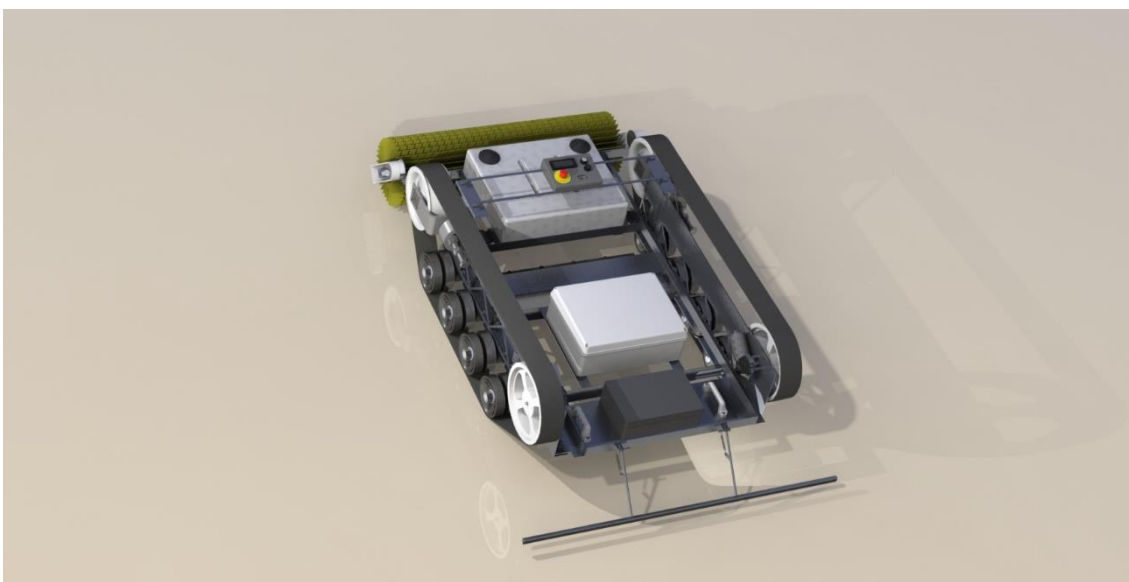


Fig.5.16. Tercer paso en el montaje (sistema de limpieza).

Tras el cebado de las bombas y asegurarse de que todo está bien conexionado se realiza un reseteo para ver si en la pantalla LCD nos comunica algún tipo de error o incidencia. Tras esto,

las cuatro etapas del montaje del sistema estaría resuelto, únicamente quedaría el montaje de la carcasa, que no se incluye en el montaje general puesto que no contiene características que ayuden a realizar el proceso de ascensión y limpieza. La función de la carcasa es estética, además de hacer cumplir la normativa.

La visualización del explosionado se representa a continuación. Servirá para hacerse una mejor idea del montaje, para posteriormente mostrar el aspecto final del dispositivo, tal y como resultaría el primer prototipo y el final de este proyecto.

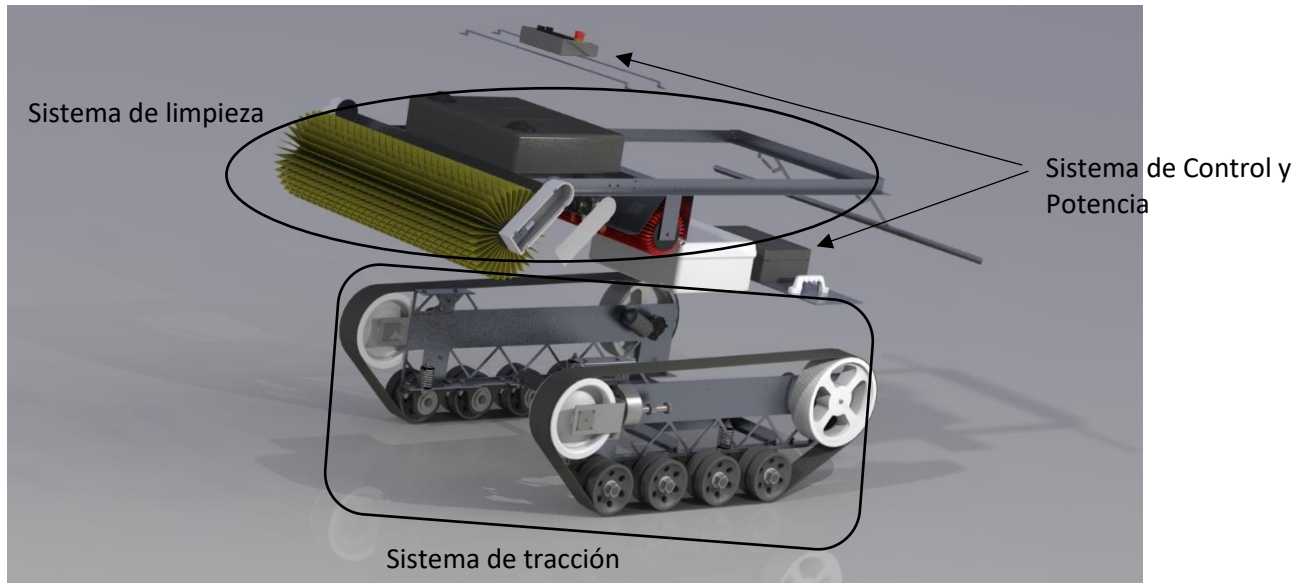


Fig.5.17. Explosionado diferentes sistemas 1

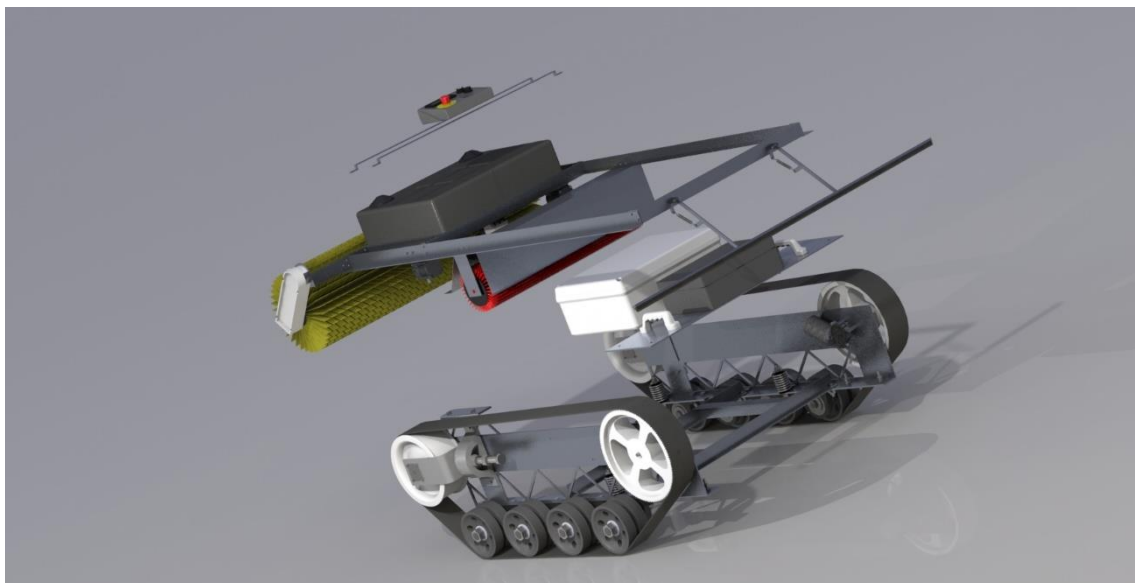


Fig.5.18. Explosionado diferentes sistemas 2

Como se puede observar, es muy sencillo entender la disposición de todos los sistemas dentro de un todo y su ubicación en el ensamblaje final.

A continuación, se muestra la visualización final que se ha propuesto para el dispositivo, la carcasa es un elemento que proporciona una visualización pulcra del dispositivo y cubre todos los elementos móviles para cumplir con la normativa vigente. Se propuso una carcasa que se pudiese dividir en dos mitades, para tener acceso a la parte delantera del dispositivo en caso de avería y no tener que tardar tiempo en desmontar, además tiene una zona por donde se tiene acceso a la botonera.

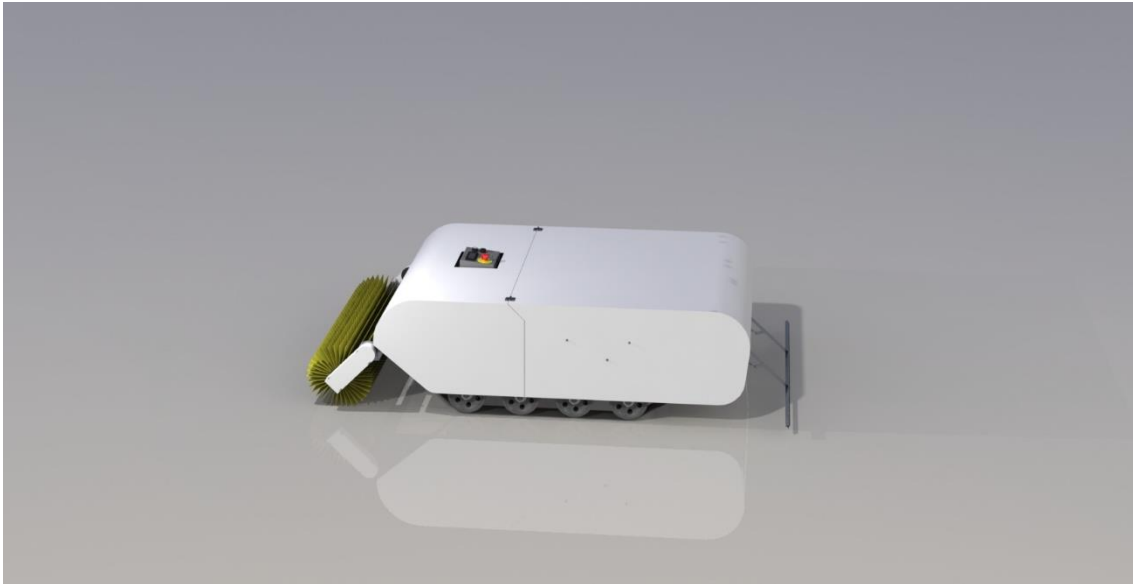


Fig.5.19. Visualización final 1

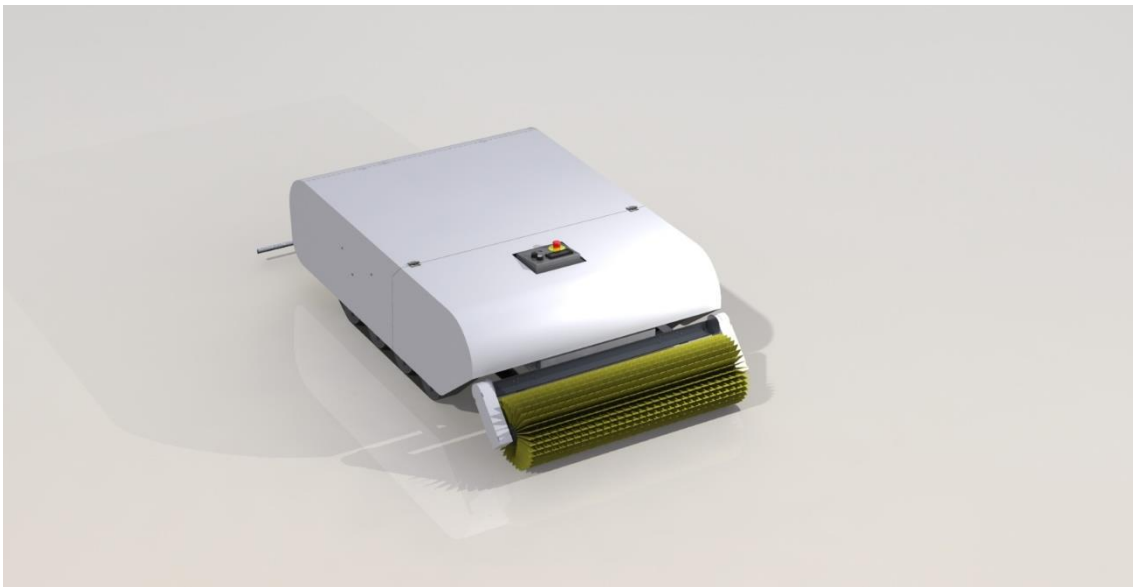


Fig.5.20. Visualización final 2



Fig.5.21. Visualización final 3

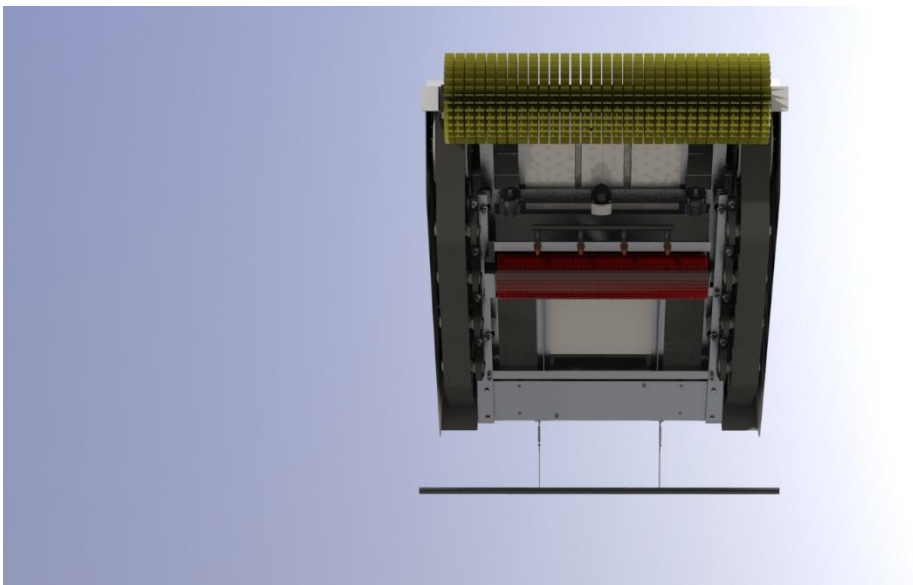


Fig.5.22. Visualización final 4

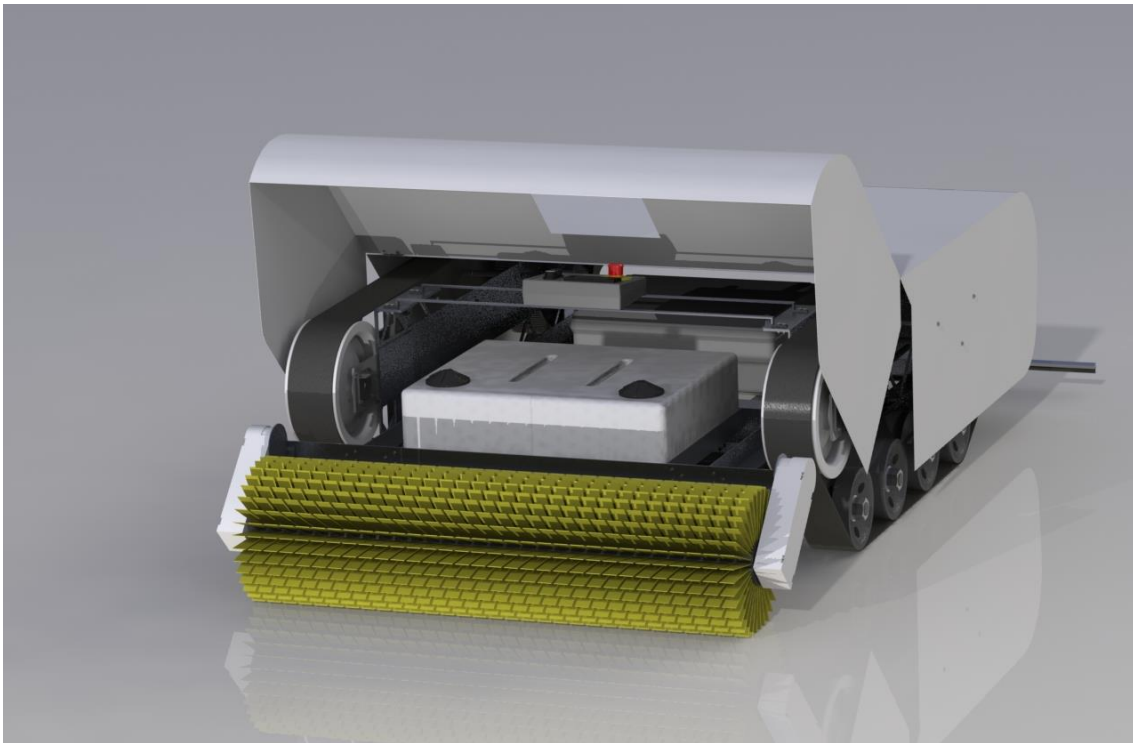


Fig.5.23. visualización final 5 (detalle carcasa levantada)

6. PRESUPUESTO

El presupuesto se realiza de manera aproximada, ya que no es posible conocer con precisión algunos de los precios finales tanto del prototipo como del futuro producto comercial. El presupuesto se subdivide en elementos empleados para unir los perfiles; es decir, tornillos, tuercas y arandelas. En perfilería comprada a mayoristas, las cuales tienen un valor mucho más elevado que si se comprasen para una producción de máquinas más grande. Y también se integra el presupuesto por elementos comerciales, de diversas casas y con precios, en algunos casos aproximados. La perfilería va a llevar un apartado que incluirá las horas de trabajo y las amortizaciones para su fabricación.

6.1. Tornillería

Tabla 3: Presupuesto tuercas.

MATERIAL	CANTIDAD	Precio Unitario	Precio Total
Tuercas	Unidades		
ISO 4032-M24-D	16	2,56 €	40,96 €
ISO 4161-M12-N	4	0,18 €	0,72 €
ISO 4032-M3-W-N	44	0,12 €	5,28 €
ISO 4034-M20-N	4	0,22 €	0,88 €
ISO 4034-M5-N	12	0,18 €	2,16 €
ISO 4034-M10-N	4	0,18 €	0,72 €
ISO 4161-M6-N	2	0,04 €	0,09 €
ISO 4034-M8-N	8	0,18 €	1,44 €
ISO 4161-M5-N	4	0,03 €	0,13 €
ISO 4161-M8-N	8	0,07 €	0,53 €
ISO 4036-M4-N	8	0,12 €	0,96 €
ISO 4161-M10-N	16	0,12 €	1,92 €
ISO 4032-M4-W-N	10	0,12 €	1,20 €
		TOTAL	56,99 €

Tabla 4: Presupuesto tornillos

MATERIAL	CANTIDAD	Precio Unitario	Precio Total
Tornillos	Unidades		
ISO 4015-M10*40*26-N	16	0,50 €	8,00 €
ISO 8765-M20*1,5*52	2	2,10 €	4,20 €
ISO 14583-M4*20*18,6	6	0,04 €	0,24 €
ISO 7045-M3*12-Z	16	0,16 €	2,56 €
ISO 4014-M5*25-16-N	4	0,26 €	1,04 €
ISO 4762-M6*25N	2	0,31 €	0,62 €
ISO 4014-M8*40*22-N	4	0,44 €	1,76 €
ISO 4762-M4*20-20N	4	0,25 €	1,00 €
ISO 4162-M8*20*20-N	8	1,00 €	8,00 €
ISO 7380-M8*40-40N	6	1,50 €	9,00 €
ISO 7045-M5*16-Z-16N	12	0,46 €	5,52 €
ISO 7046-1-M4*8-Z-8N	8	0,55 €	4,40 €
ISO 7380-M3*10-10N	36	0,30 €	10,80 €
ISO 7380-M3*8-8N	4	0,30 €	1,20 €
ISO 4015-M3*20*12-N	2	0,30 €	0,60 €
ISO 7380-M4*8-8N	10	0,45 €	4,50 €
		TOTAL	63,44 €

Tabla 5: Presupuesto arandelas.

MATERIAL	CANTIDAD	Precio Unitario	Precio Total
Arandelas	Unidades		
ISO 7089-5	6	0,01 €	0,04 €
ISO 10673-3,2-S	42	0,05 €	2,10 €
ISO 7093-10	4	0,24 €	0,96 €
ISO 10673-4,55-S	4	0,07 €	0,26 €
		TOTAL	3,36 €

6.2. Perfiles aluminio

Tabla 6: Presupuesto perfiles aluminio.

MATERIAL ALUMINIO	MEDIDAS (mm)	CALIDAD	UNIDADES (m)	€/m	Total
Tubo de aluminio	35 X 33	6060T66	6	1,77	10,62 €
Barra de Aluminio	6	2011 calibrado	3	8,73	26,19 €
Perfil ángulo	40 X 40 X 4	6060T66	6	3,88	23,28 €
Pletina de Aluminio	100 X 4	6060T66	6	6,71	40,26 €
Perfil ángulo	40 X 20 X 2	6060T66	6	1,95	11,70 €
Chapa	2000 X 1000 X 1	1050H24	3	19,47	58,41 €
				TOTAL	170,46 €

Se ha calculado de manera aproximada las horas de fabricación de los diferentes perfiles tras mecanizarlos, doblarlos y taladrarlos con diferentes máquinas.

El tiempo de trabajo estimado para la fabricación de los diferentes perfiles será de 17 horas para un único empleado. Para poder realizar los diferentes procesos de fabricación es necesaria la experiencia y nivel académico de un técnico superior.

El precio por hora trabajada de este tipo de oficio es de 15 €.

Por tanto, el costo de fabricación por parte del capital humano será de **255 €** brutos por máquina. En estos cálculos se incluye la amortización de las máquinas empleadas para su fabricación.

6.3. Elementos comerciales

Tabla 7: Presupuesto elementos comerciales.

ELEMENTOS COMERCIALES	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Rodamiento ISO 15 ABB-1710-20,DE,AC,20_68	2	15,00 €	30,00 €
Rodamiento ISO 15 RBB-176-16,SI,NC,16_68	3	15,00 €	45,00 €
Limpiaparabrisas SWF 132000 1m/ 04E05572	1	39,52 €	39,52 €
Batería LiFEPO4 24V40AH	1	284,00 €	284,00 €
Caja batería G378C 265*185*95mm	1	29,99 €	29,99 €
Motor DPO-K -24 V-180 W- BOSCH	2	250,00 €	500,00 €
Mellor Electric, 24 V dc, UBB 1001	2	106,03 €	212,06 €
Depósito de agua 32litros ELFO/V102234	1	72,01 €	72,01 €
Bomba de agua KOOLANCE PMP-600	2	80,58 €	161,16 €
Sensor láser SICK-TIM551	1	2.421,60 €	2.421,60 €
		TOTAL	3.795,34 €

El precio total de la máquina a través de los presupuestos e incluyendo todos los apartados anteriores será de **4.344,59 €**.

Como se puede observar, existe un elemento que se lleva más de la mitad del presupuesto, por lo que se insinúa lo importante que es dentro del proyecto. Este elemento es el sensor láser, el cual realiza la función más importante, que incluye la optimización del agua para rebajar el peso de la máquina y una rebaja en el consumo, puesto que la etapa dos del sistema de limpieza sólo se activará cuando este detecte suciedad dura, rebajando aún más el peso.

7. COMPROBACIÓN DE ESPECIFICACIONES

En este apartado se realiza un barrido por todos los objetivos y especificaciones propuestos en el apartado 3 del proyecto, para comprobar si se cumplen o no. Hay que diferir entre los objetivos y las especificaciones, puesto que los objetivos, o la mayor parte de ellos, sólo se conseguirán cuando el producto esté terminado de manera definitiva y será entonces cuando se valoren, aunque el producto no tendrá un final satisfactorio si no cumple cada uno de los objetivos propuestos. Se entiende que no será competitiva con unos objetivos distintos a los planteados, aunque sí que será si añaden más, además de los existentes.

En el apartado de especificaciones se encontró un verdadero problema en la fase de desarrollo de la solución, y es que, tras realizar todo el cálculo del peso de la máquina, una vez encontrados y elegidos los materiales y los demás elementos comerciales, y tras concretar un depósito con volumen suficiente, se observó que el peso llegaba a superar los 60 kg de peso.

Este peso se considera excesivo, aunque los cálculos siguientes, como el dimensionado del motor, cálculo de correa y batería están referidos a este peso y no debería de haber problema para realizar operaciones con ese peso.

Para solventar este problema y garantizar parte de la versatilidad que se incluye en los objetivos, se consideró durante el diseño que realizar el prototipo en tres partes, ya señaladas anteriormente, como son el sistema de tracción, sistema de limpieza, y sistema de control y potencia, se conseguía que un único operario pudiese montar en la placa la máquina al completo, aunque pudiese tardar más tiempo, la división que se hizo de la máquina hace que cada una de las partes pese menos de los 24 kg propuestos en las especificaciones. Eso sí, el depósito habría que llenarlo una vez instalada la máquina al completo, con una garrafa o depósito adyacente de agua osmotizada.

8. CONCLUSIONES

Este apartado se refiere a las conclusiones finales referidas a los aspectos técnicos de la máquina. Como se ha podido observar en el estudio de soluciones existentes en el mercado y soluciones más habituales al problema de la limpieza de placas solares, este proyecto es realmente novedoso. No existe ahora mismo en el mercado una solución que incluya de manera autónoma una limpieza con agua y que además le aporte versatilidad.

Uno de los principales retos ha sido comprender que este proyecto es un trabajo muy amplio y multidisciplinar; el cual incluye ramas de telecomunicaciones, automática y mecánica.

Este proyecto básicamente trata de manera amplia las soluciones mecánicas desde el punto de vista del diseño y la integración de todos los elementos indispensables para garantizar la limpieza en un todo que cumpla los objetivos propuestos.

El problema de solventar unos desniveles de inclinación como para competir con el resto de máquinas similares en el mercado ha sido el problema principal del proyecto. No existen documentos claros sobre coeficientes estáticos de fricción entre materiales incluíbles en la banda de rodadura y cristal. Este problema se ha solventado a medias, puesto que el coeficiente elegido no exime riesgos en los cálculos, puesto que no se ha estudiado en las condiciones de trabajo previstas para nuestra máquina.

Otro problema que se encontró durante la realización del proyecto ha sido la integración de agua en la máquina, como para limpiar grandes superficies sin añadir grandes pesos. Este problema se soluciona de una manera clara y compleja, una difícil decisión por el gran aumento del presupuesto del proyecto. Se solventó añadiendo un sensor láser de amplio barrido y precisión para detectar cualquier excremento en la superficie. Muchos de los robots de limpieza de casas que existen en el mercado llevan sensores parecidos, el de este proyecto es mucho más sofisticado y por consiguiente mucho más costoso.

Esto hizo disminuir la capacidad del depósito de agua. Aunque la elección más innovadora para este tipo de máquinas es la sucesión de etapas propuesta en el sistema de limpieza como garantía de limpieza total y de cumplimiento del objetivo de eliminar el 85% de la suciedad de la placa.

Esta sucesión de etapas se combina con rodillos de microfibra, capaces de duplicar su peso en agua contenida, además de garantizar la eliminación de sustancias menos pesadas de la superficie de la placa.

Otra solución de carácter técnico es la finalización del proyecto con una carcasa que otorga una imagen final a la máquina de producto terminado. Pocas son las máquinas de la competencia que se asemejan a este nivel visual final del dispositivo.

9. LÍNEAS FUTURAS

En este apartado se realiza un recorrido por todas las propuestas futuras que sería conveniente realizar o valorar para conseguir llevar este proyecto a comercializarse.

Algunas de estas líneas futuras comprenden aspectos técnicos que se debería investigar su implementación y otras líneas son aspectos administrativo-económicos con los que la máquina se convierta en un futuro real.

- La primera propuesta de futuro será la investigación, como se mencionó alguna vez en el proyecto, de la implementación de micro ventosas en la banda de rodadura capaces de añadir mayor adherencia a la máquina.

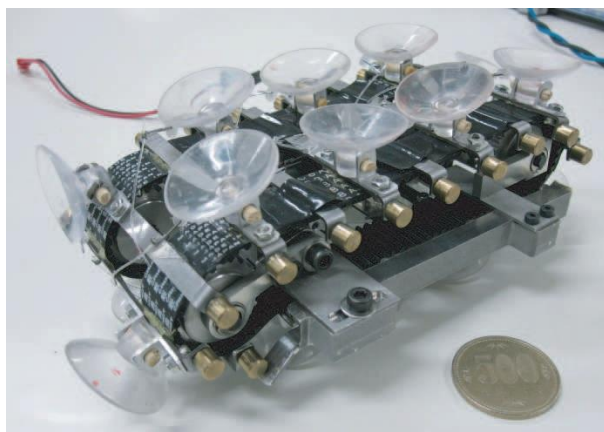


Fig.9.1. Ventosas en orugas.

Esta propuesta nació gracias a un prototipo explicado en el paper

“Design of a Wall-Climbing Robot

with Passive Suction Cups”, en el que se desarrolla una máquina capaz de subir por paredes de cemento de forma vertical gracias a la acción de un sistema de ventosas integrado en la banda de rodadura.

En este documento vienen estudiadas todas las fuerzas que intervienen que hacen que una máquina se venza cuando intenta superar pendientes verticales y añade este método para solventarlas.

La propuesta que se hace es incluir las ventosas en la banda de rodadura, siendo estas de tamaño mucho más pequeño y en mayor cantidad, para solventar posibles problemas en la succión en placas con mucha suciedad.

- Otra propuesta va destinada a rebajar el peso total de la máquina, bien para incrementar el poder ascensional de la máquina, bien para poder realizar un mayor control sobre esta.

La propuesta viene a ser un estudio para la sustitución de todos los elementos de aluminio por materiales compuestos, como fibra de carbono o poliamidas. Si no se pueden sustituir todos los elementos de aluminio, sí que gran cantidad de ellos con tal de rebajar el peso de la máquina, siempre valorando y comparando los precios finales de la máquina con esta sustitución.

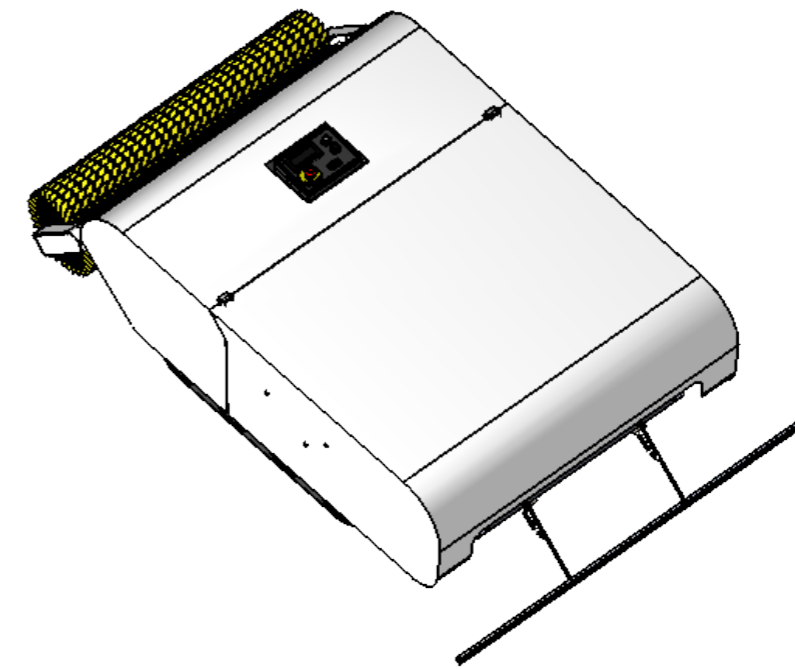
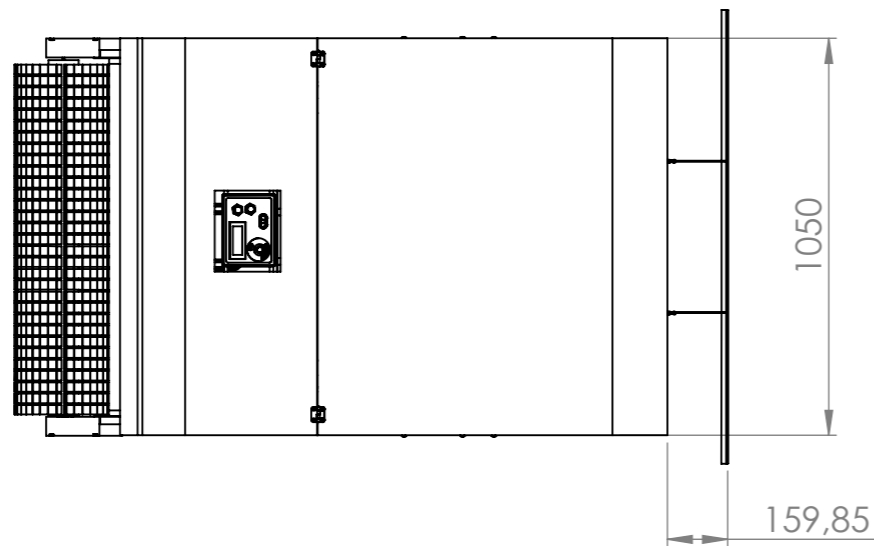
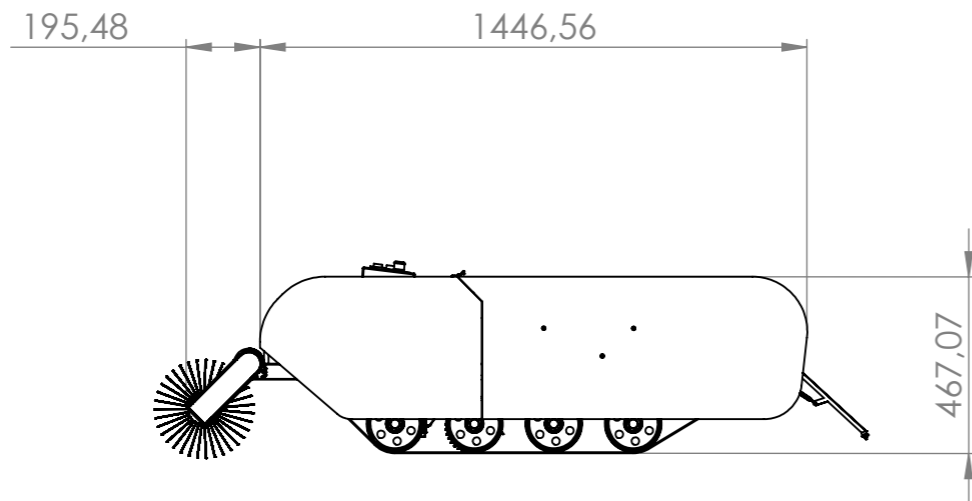
- Se deberá valorar la modificación de la etapa de secado en el sistema de limpieza. Se propone incluir un sistema que aspire el agua que deja a su paso la etapa 2, a través de un sistema como el planteado por la máquina roomba 450 de la empresa iRobot. Esta propuesta incluirá un filtro para la depuración del agua aspirada. Todo esto hará que se disminuya el volumen de agua a necesitar y, por consiguiente, el peso de la máquina.
Esta propuesta no es muy defendida por el autor, puesto que la pérdida de la calidad del agua hará que se modifique el porcentaje de limpieza que se consigue en el trabajo, además de que se necesita agua limpia y osmotizada para realizar una limpieza óptima de la placa solar.
- Se debe realizar un manual de uso y de instalación, y para eso se debe cumplir la normativa vigente en ese aspecto. En concreto, esta normativa viene reflejada en el apéndice D, requisitos generales que debe cumplir el manual de instrucciones de una máquina sujeta al mercado CE, de la guía técnica sobre el Real Decreto 1215/1997.
- Este es el primer prototipo de un extenso estudio teórico para el desarrollo de un producto comercial. Esta máquina sufrirá las variaciones que se estimen oportunas, con el fin de cumplir los objetivos propuestos, puesto que el rediseño es un proceso cíclico y cambiante. Este prototipo teórico es el inicio intelectual de un proyecto novedoso y complejo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T.Díaz y G.Carmona, «"Componentes de una instalación solar fotovoltaica",» de *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS*, McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2010, p. 216.
- [2] IRENA, «www.irena.org,» Junio 2017. [En línea]. Available: <http://www.irena.org/publications/2017/Jun/Renewable-Energy-Benefits-Leveraging-Local-Capacity-for-Solar-PV>. [Último acceso: 11 Octubre 2017].
- [3] e. a. Mohammad Reza Maghami, «"Power loss due to soiling on solar panel": A review,» ELSEVIER, Malasya, 2015.
- [4] e. a. M.Vivar, «"Effect of soiling in CPV systems",» ELSEVIER, Madrid, 2010.
- [5] R. M.Mani, «"Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status",» ELSEVIER, India, 2010.
- [6] e. a. R.Xu, «"Analysis of the optimum tilt angle for a soiled PV panel",» ELSEVIER, Liverpool, 2017.
- [7] B. Aragón, "*Estudio del efecto de la limpieza de módulos en plantas fotovoltaicas*", Sevilla: Escuela superior de ingenieros universidad de sevilla, 2011.
- [8] Miraikikai, «Miraikikai,» Miraikikai, inc, 24 Marzo 2004. [En línea]. Available: <https://www.miraikikai.jp/>. [Último acceso: 2017 Noviembre 6].
- [9] I. Miraikikai, «Good Design Award,» Solar Cleaning Robot, Abril 2017. [En línea]. Available: <http://www.g-mark.org/award/describe/45470?token=HfSZ1MLjH&locale=en>. [Último acceso: 6 Noviembre 2017].
- [10] hyCleaner, «hyCleaner Black Solar,» hyCleaner, [En línea]. Available: <https://hycleaner.eu/en/produkte/hycleaner-black-solar/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2017].
- [11] Globalem, «Globalem co,» Globalem, 1 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://globalem.co/sistema-auto-limpieza/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2017].
- [12] SmartBot, «Hobot 268,» Smart Bot Hobot, [En línea]. Available: <http://hobot268.smartbot.es/sites/default/files/descargas/FICHA%20DE%20PRODUCTO%20HOBOT268%20v1.1.pdf>. [Último acceso: 13 Diciembre 2017].
- [13] W. H. J.Y. Wong, «"Wheels vs Tracks",» ELSEVIER, Ottawa, 2004.
- [14] D.H.Buckley, "Surface effects in adhesion, friction, wear and lubrication", Cleveland, Ohio: ELSEVIER, 1981.
- [15] R. Beardmore, «Roymech,» Roymech, 17 Enero 2017. [En línea]. Available: http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/Tribology_index.html. [Último acceso: 20 Diciembre 2017].
- [16] K. D.Schmitz, «"Climbing robots for maintenance and inspections of vertical",» ELSEVIER, Kaiserslautern, 2013.
- [17] e. a. L.Dorobantu, «"The effect of surface impurities on photovoltaic panels",» de *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, Las Palmas de Gran Canaria, 2011.
- [18] e. a. T.Webber, "*Impact & consequences of soiling and cleaning of PV modules*", Denver: PI Photovoltaik-Institut Berlin, 2015.
- [19] e. a. Frank L. Roth, «"Frictional properties of rubber",» National Bureau of Standards, United States, 1942.
- [20] e. a. H. Huang, «"Design and performance analysis of a tracked wall-climbing robot for ship",» ELSEVIER, Shandong, 2017.

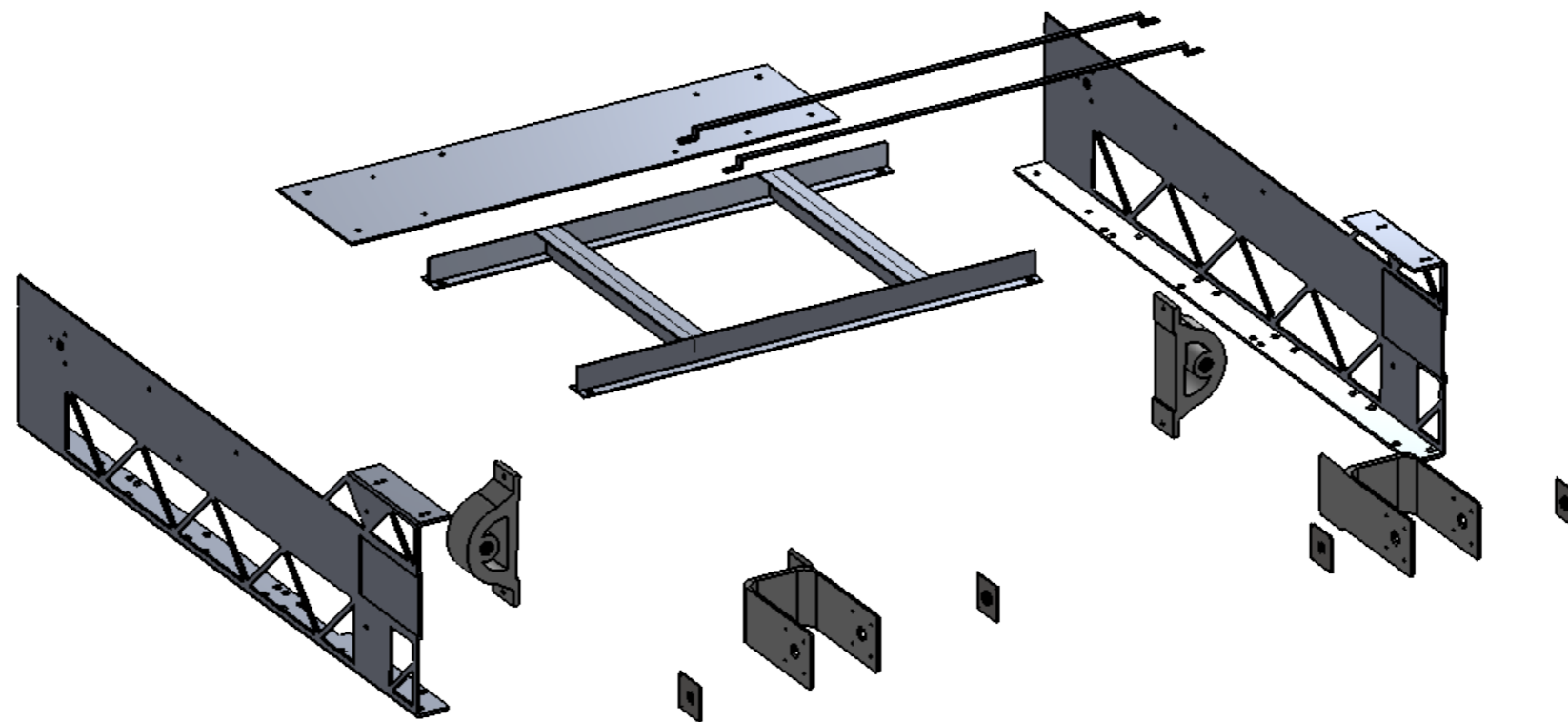
- [21] e. a. L.Morales, «"Power Analysis for a Skid-Steered Tracked Mobile Robot",» Universidad de Malaga, Malaga, 2016.
- [22] e. a. J.Y.Wong, «"Parametric analysis of tracked vehicle performance",» Carleton University, Ottawa, 2016.
- [23] S. Y.Yoshida, «"Design of a Wall-Climbing Robot with Passive Suction Cups",» Tianjin, 2010.
- [24] A. A.Koenen, «"Tribological and vibroacoustic behavior of a contact between rubber and glass (application to wiper blade)",» ELSEVIER, La verrière, 2006.
- [25] e. a. M.Ciszewski, «"VIRTUAL PROTOTYPING, DESIGN AND ANALYSIS OF AN IN-PIPE INSPECTION MOBILE ROBOT",» University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, Kraków, Poland, Warsaw, 2014.
- [26] S. Rodriguez, «Análisis del scooba 450,» Robots Aspiradores, 20 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://robotsaspirador.es/analisis-scooba-450/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2017].
- [27] iRobot, «scooba 390,» iRobot, 5 Abril 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=HxxV6lJnTzo>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].

ANEXOS



NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Vistas generales de las dimensiones del dispositivo final.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Dispositivo final.	A3
	Departamento de Ingeniería	Escala de la hoja 1:20	
	PESO:	HOJA 1 DE 1	





NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Explosionado del sistema de tracción para su montaje	
VERIF.	TITULACIÓN	A3	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	TÍTULO:	Ensamblaje tracción.
	Departamento de Ingeniería	Escala de la hoja	1:10
	PESO:	HOJA 1 DE 1	

8 7 6 5 4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

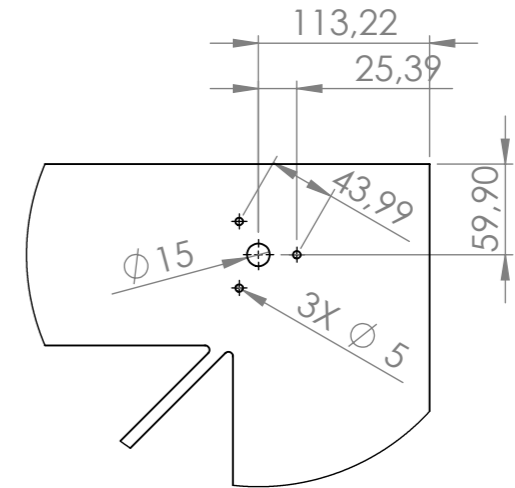
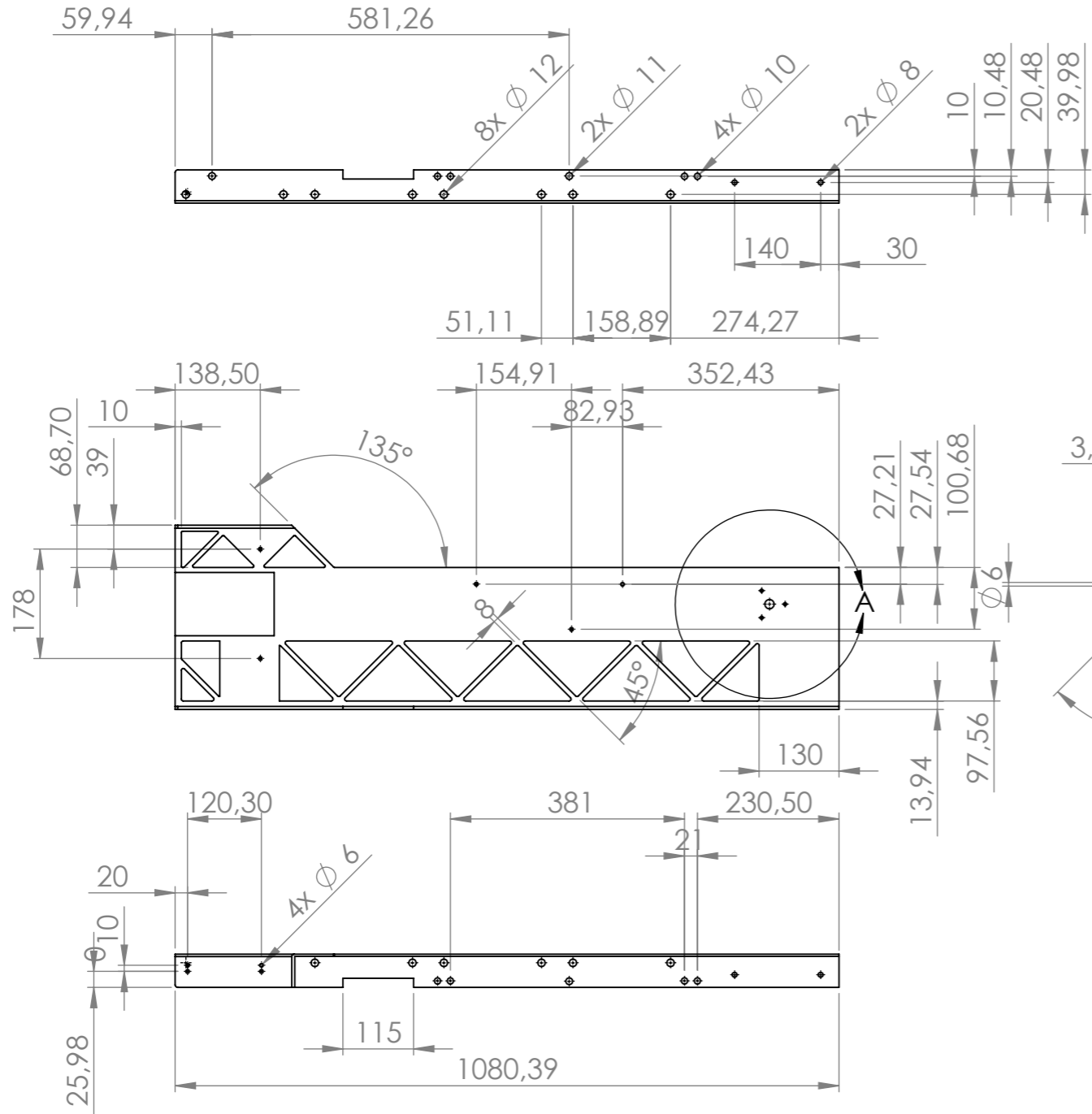
C

B

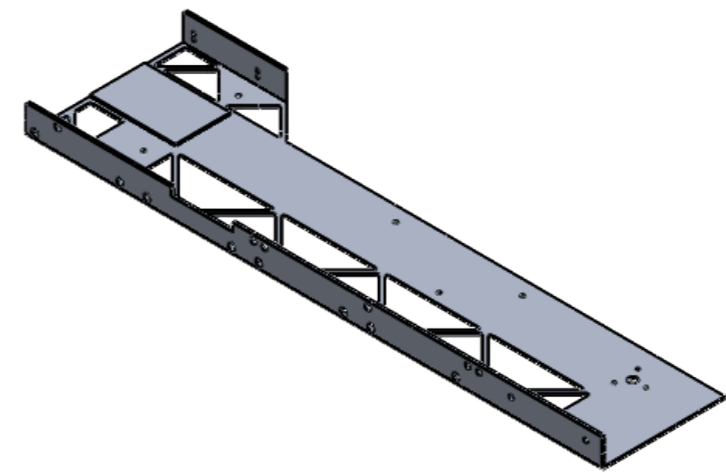
B


A

A

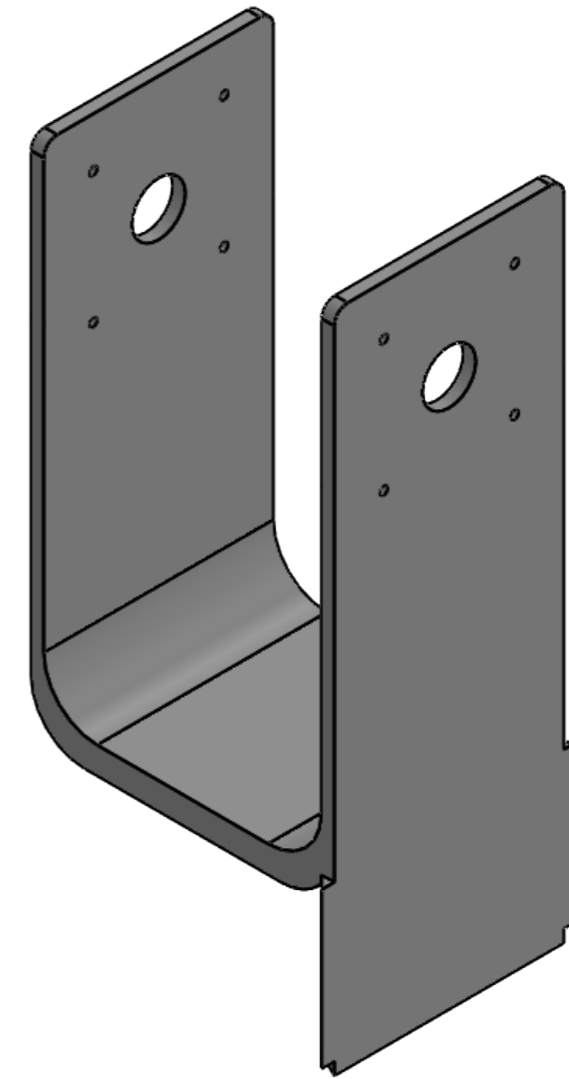
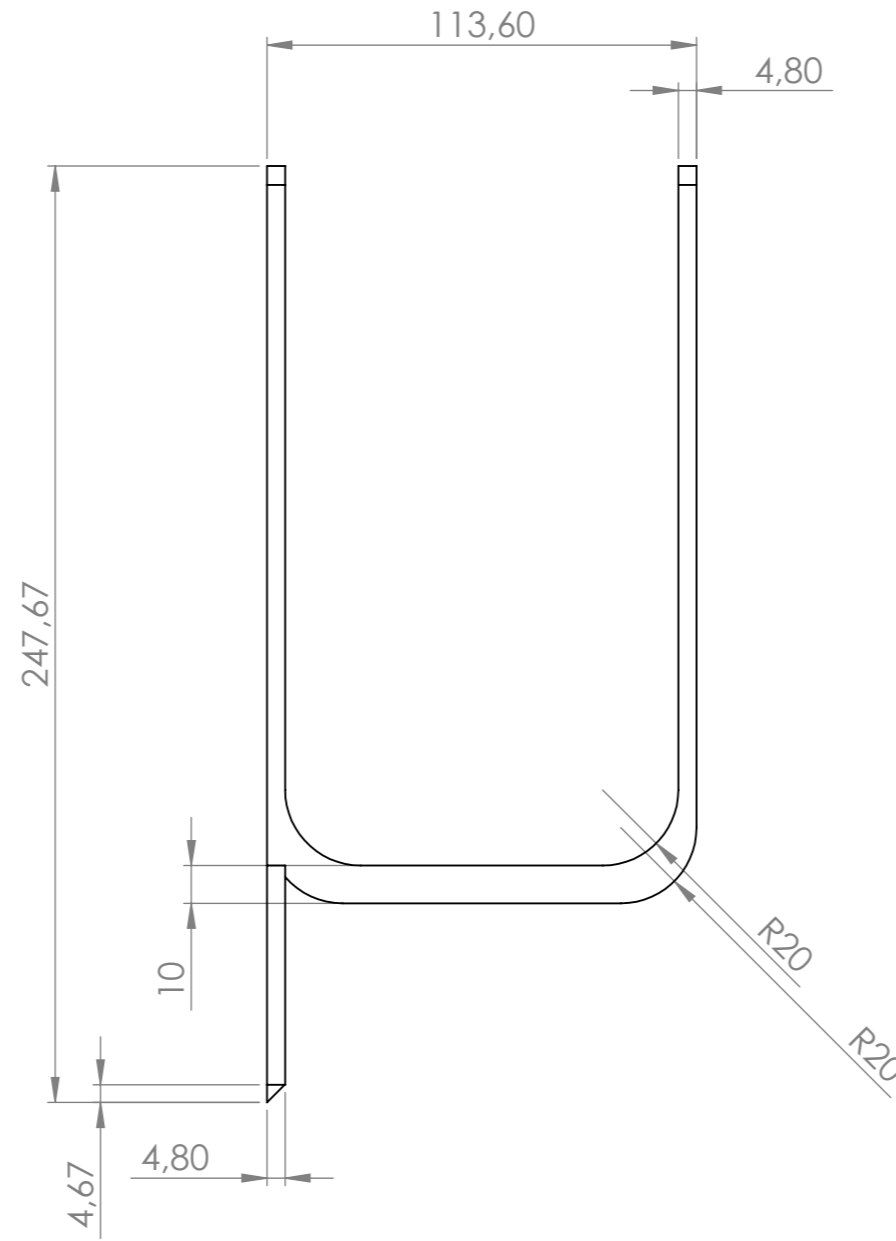
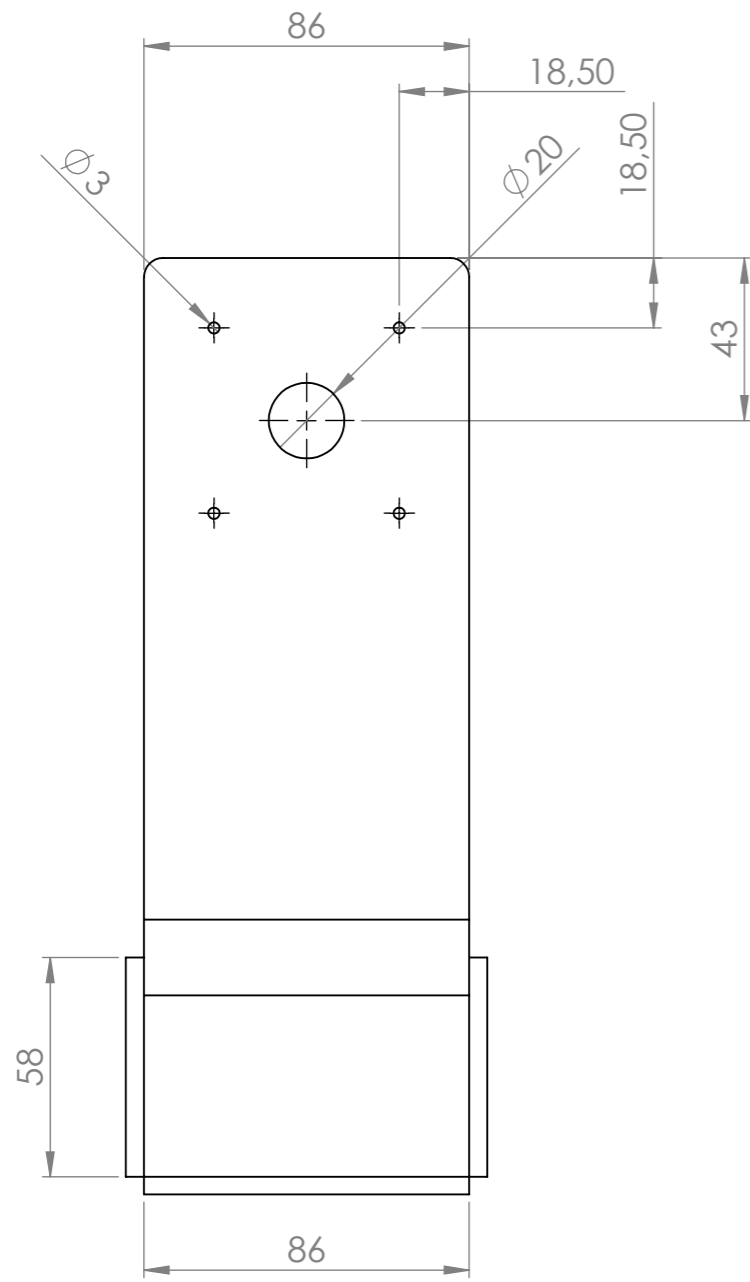


DETALLE A
ESCALA 1 : 5



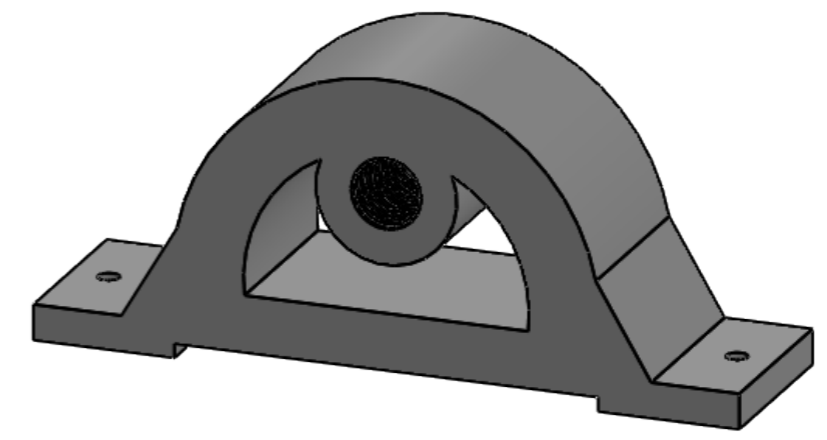
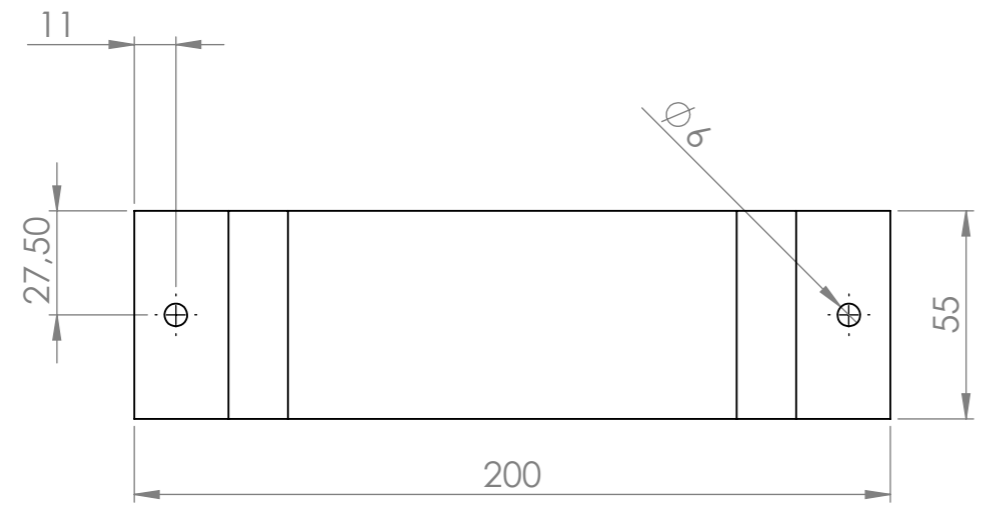
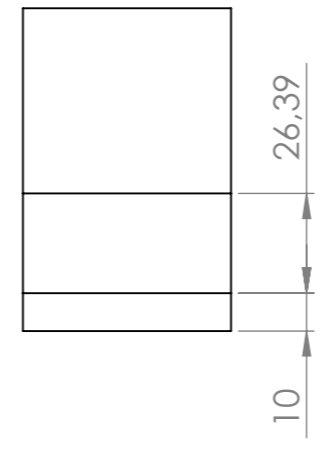
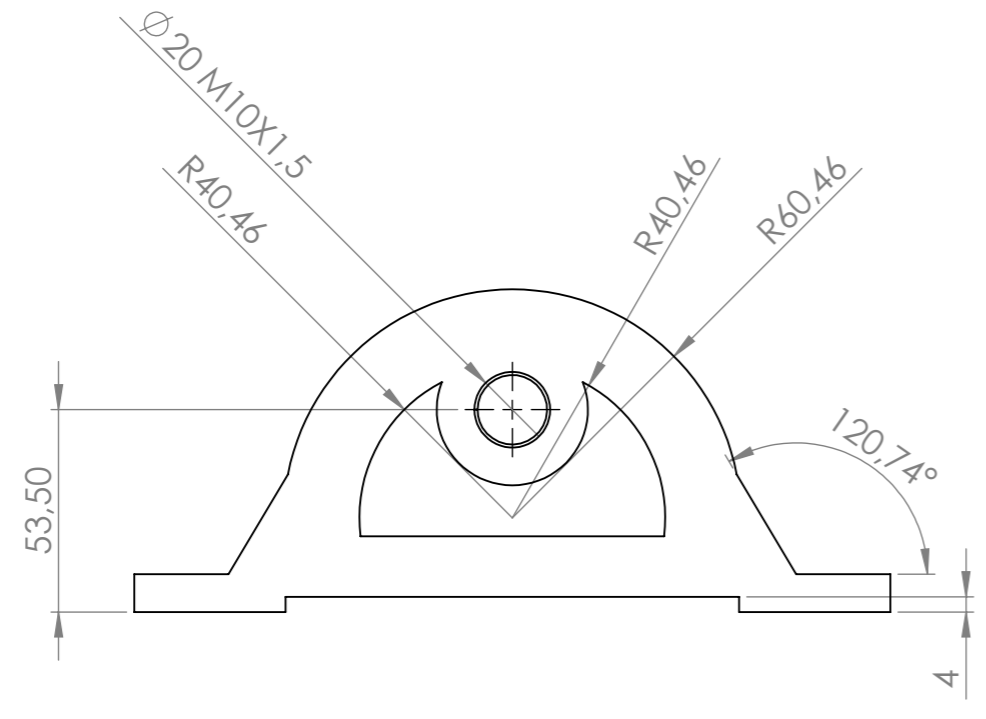
NOMBRE		FECHA		DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo		25 de Mayo de 2018		Perfil derecho del chasis. Le aporta rigidez y la forma característica del diseño.	
VERIF.		TITULACIÓN		TÍTULO:	
		Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico		Perfil Chasis dcho.	
		Departamento de Ingeniería		A3	
		PESO:		Escala de la hoja 1:10	
				HOJA 1 DE 1	


8 7 6 5 4 3 2 1

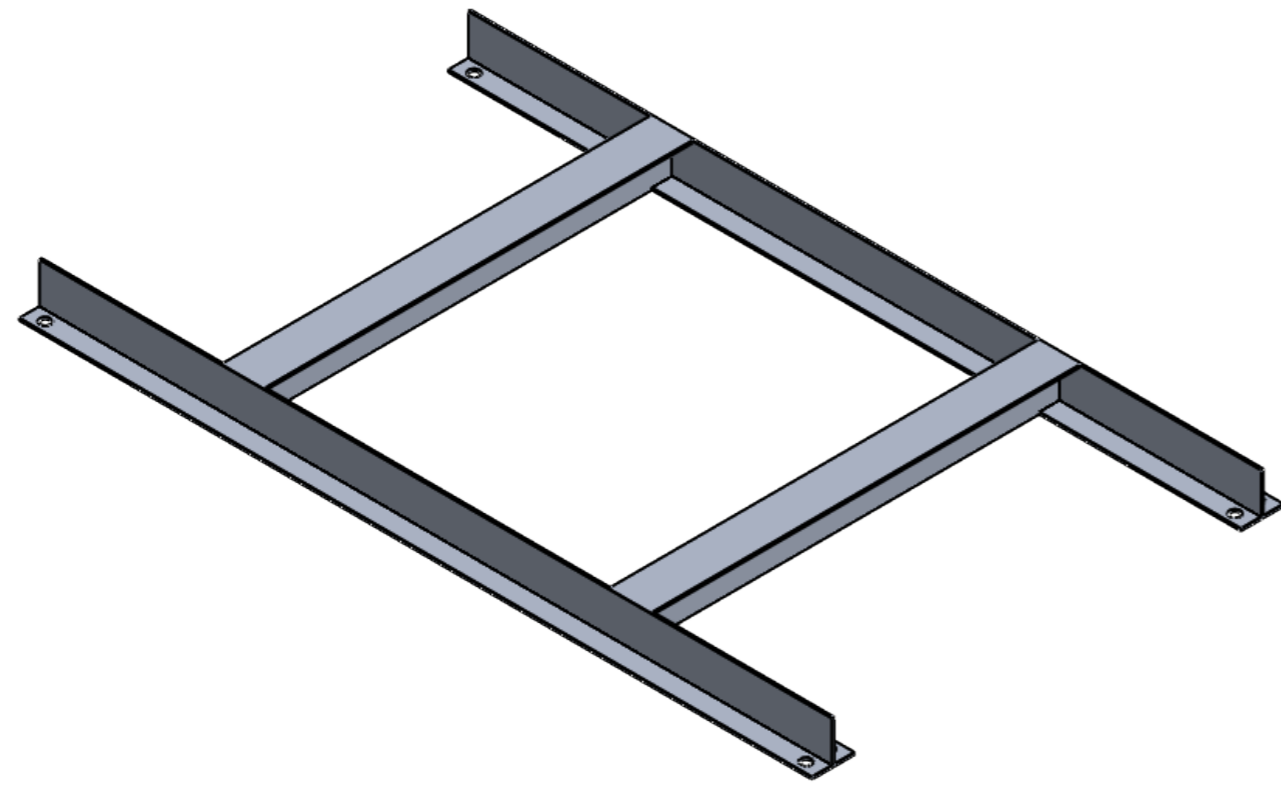
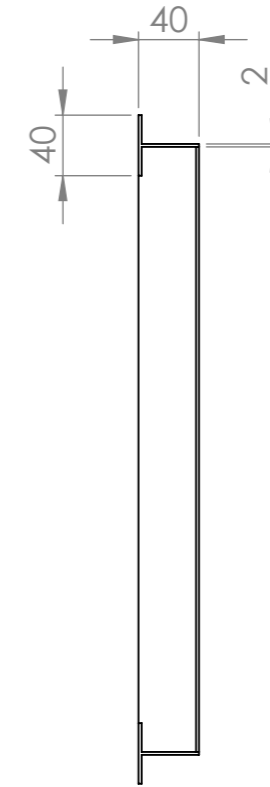
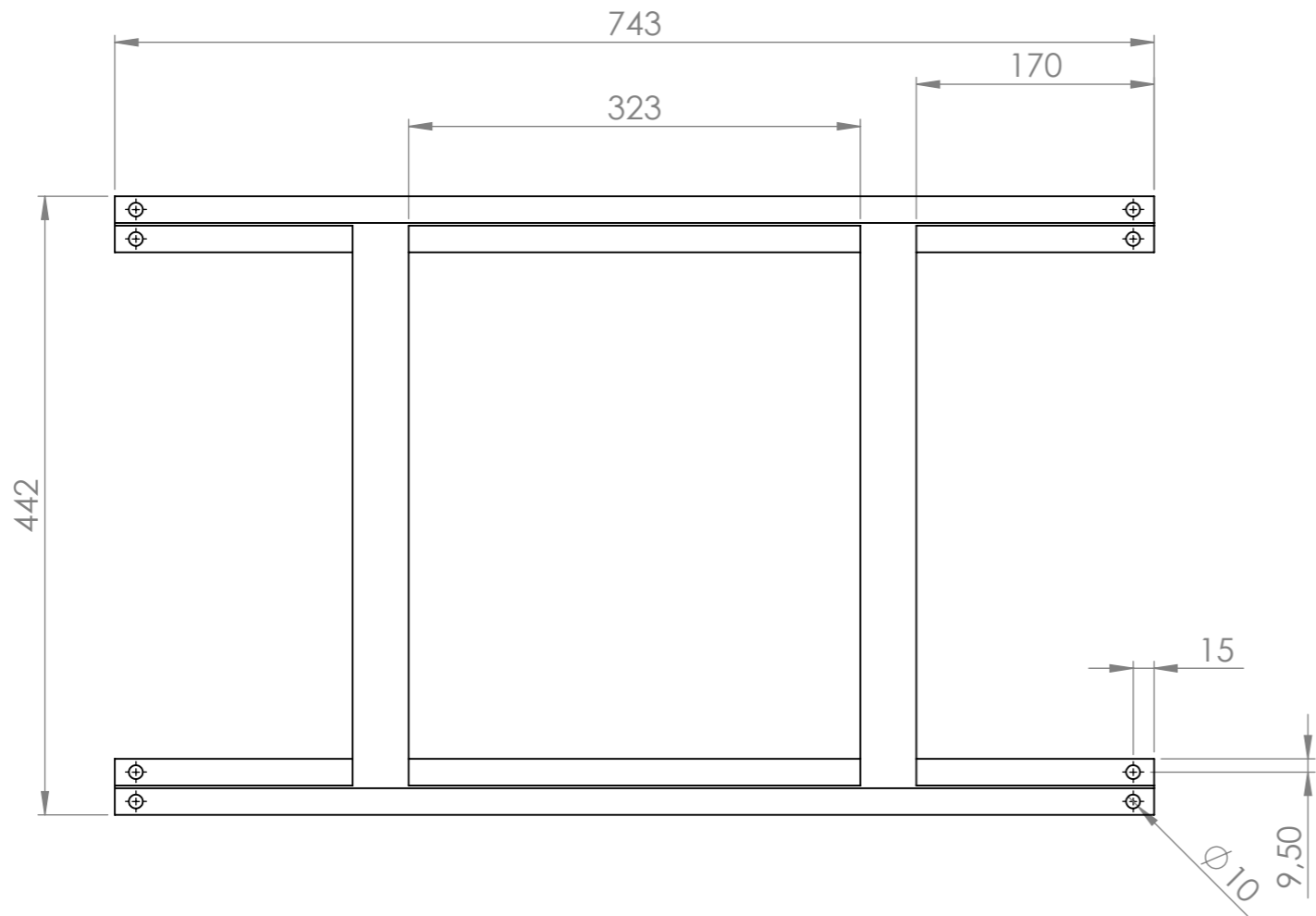


NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Pieza que soporta la polea y permite el movimiento rectilíneo para tensar la correa.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Departamento de Ingeniería	A3
	PESO:	Escala de la hoja 1:2	HOJA 1 DE 1



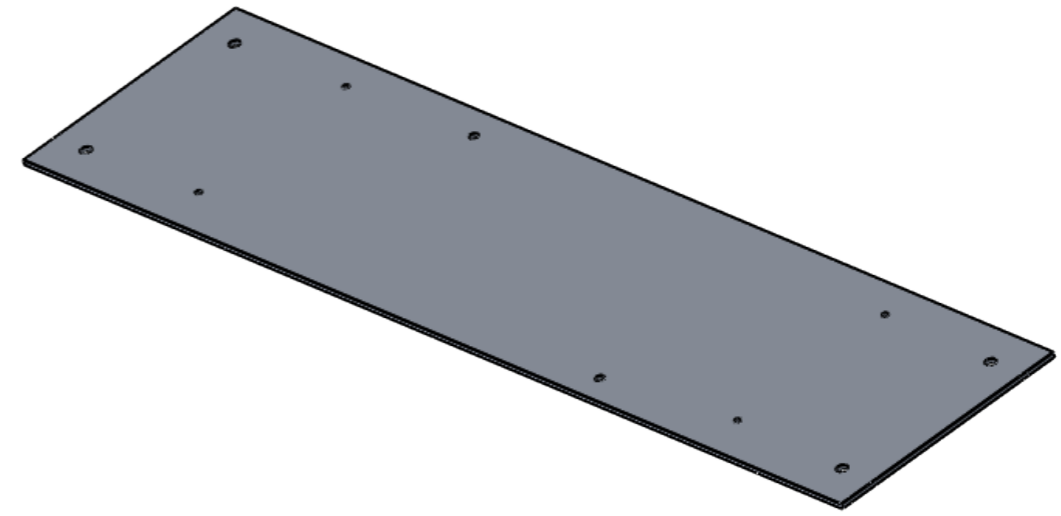
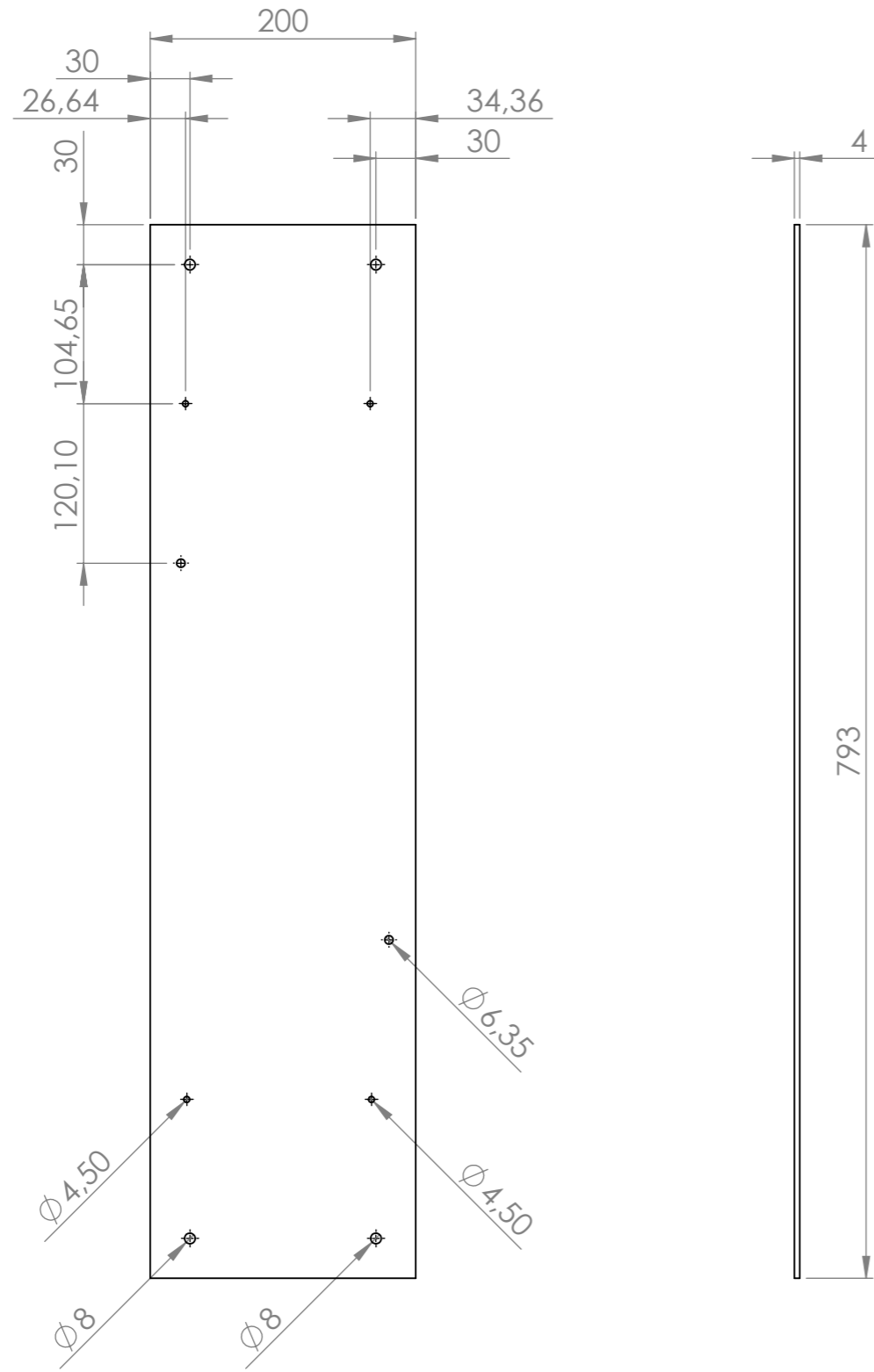


NOMBRE		FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ.	Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Pieza roscada que soporta el tornillo de presión para tensar la polea.	
VERIF.		TITULACIÓN		
		Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico		TÍTULO:
		Departamento de Ingeniería		Tensor polea
		PESO:		Escala de la hoja 1:2



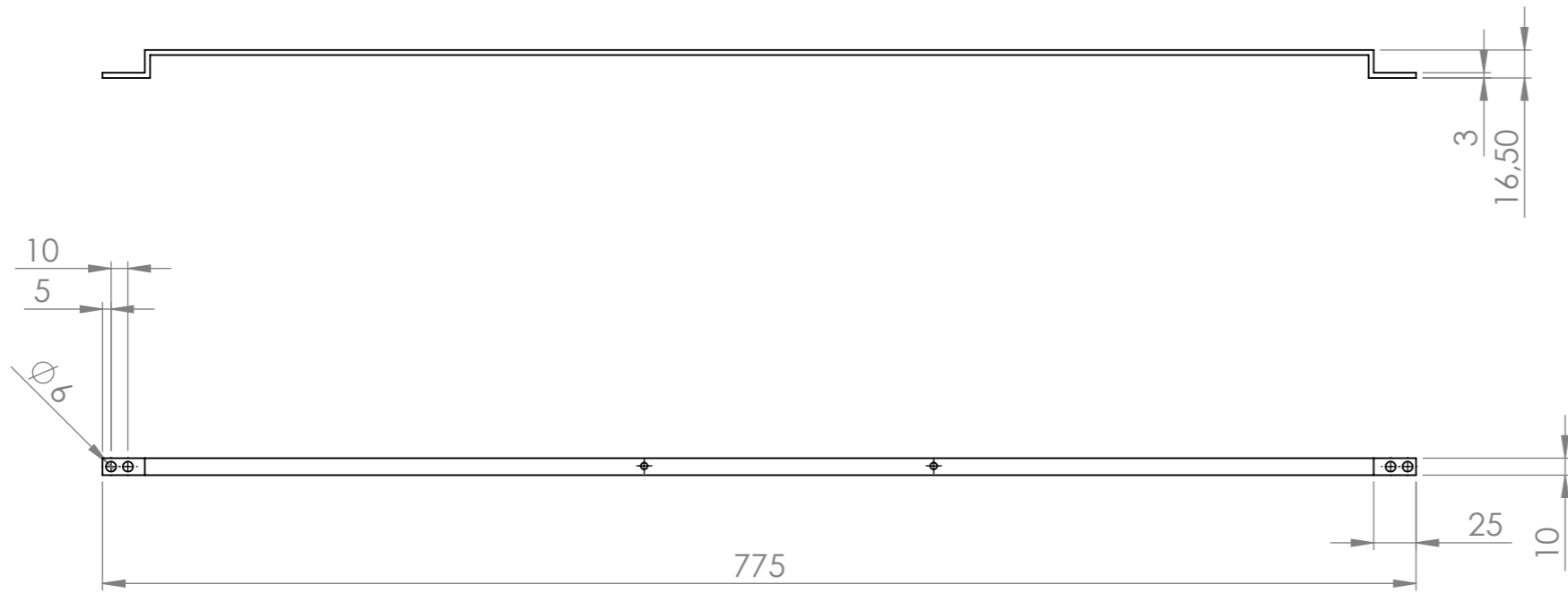
NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Composición de perfiles en T de aluminio para soportar el cuadro eléctrico y darle rigidez y forma al chasis.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Departamento de Ingeniería	Soporte cuadro eléctrico
	PESO:	Escala de la hoja 1:5	A3
			HOJA 1 DE 1





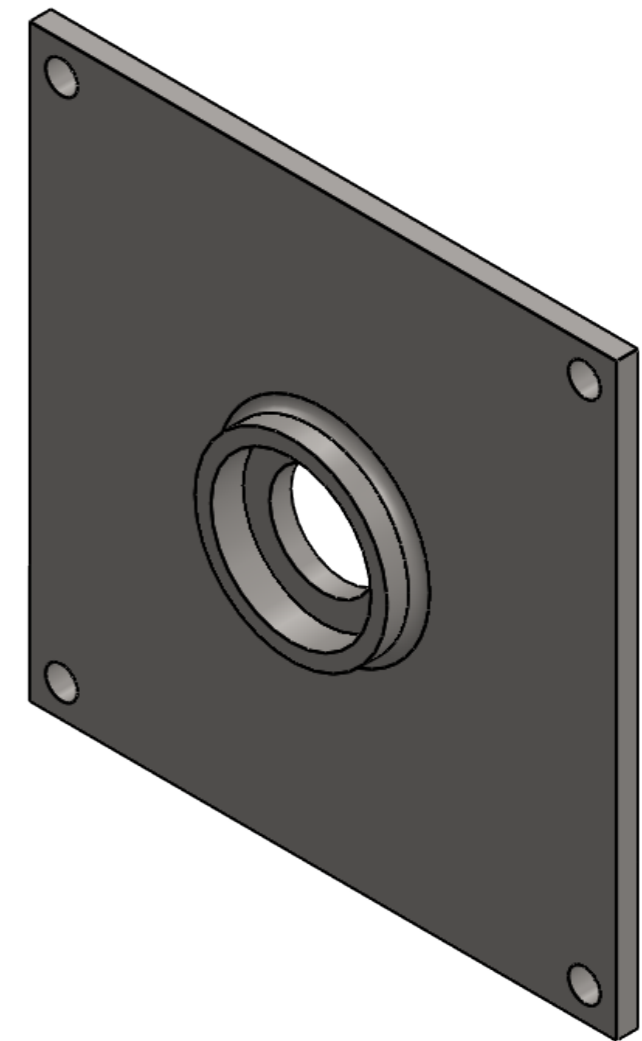
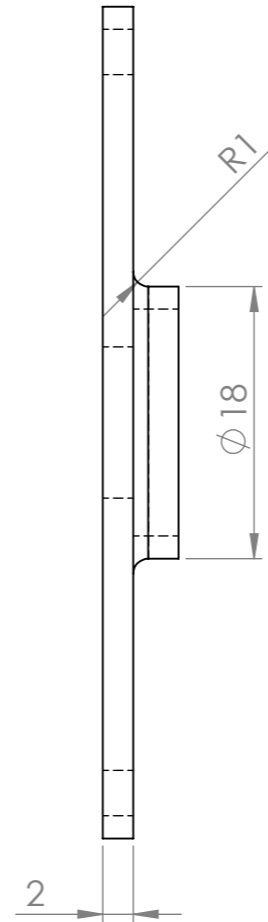
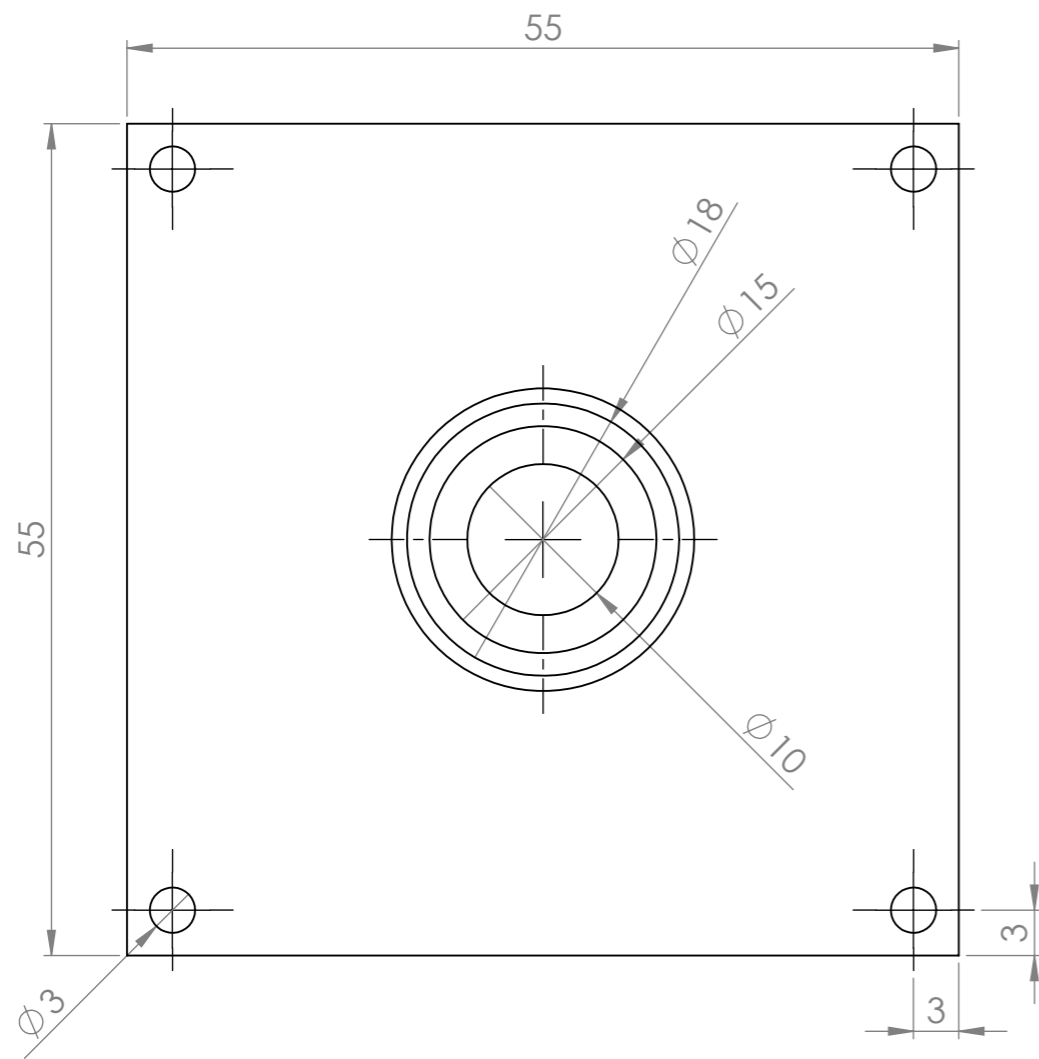
NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Placa de aluminio que sirve únicamente en albergar y soportar la batería.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Departamento de Ingeniería	A3
	PESO:	Escala de la hoja 1:5	HOJA 1 DE 1





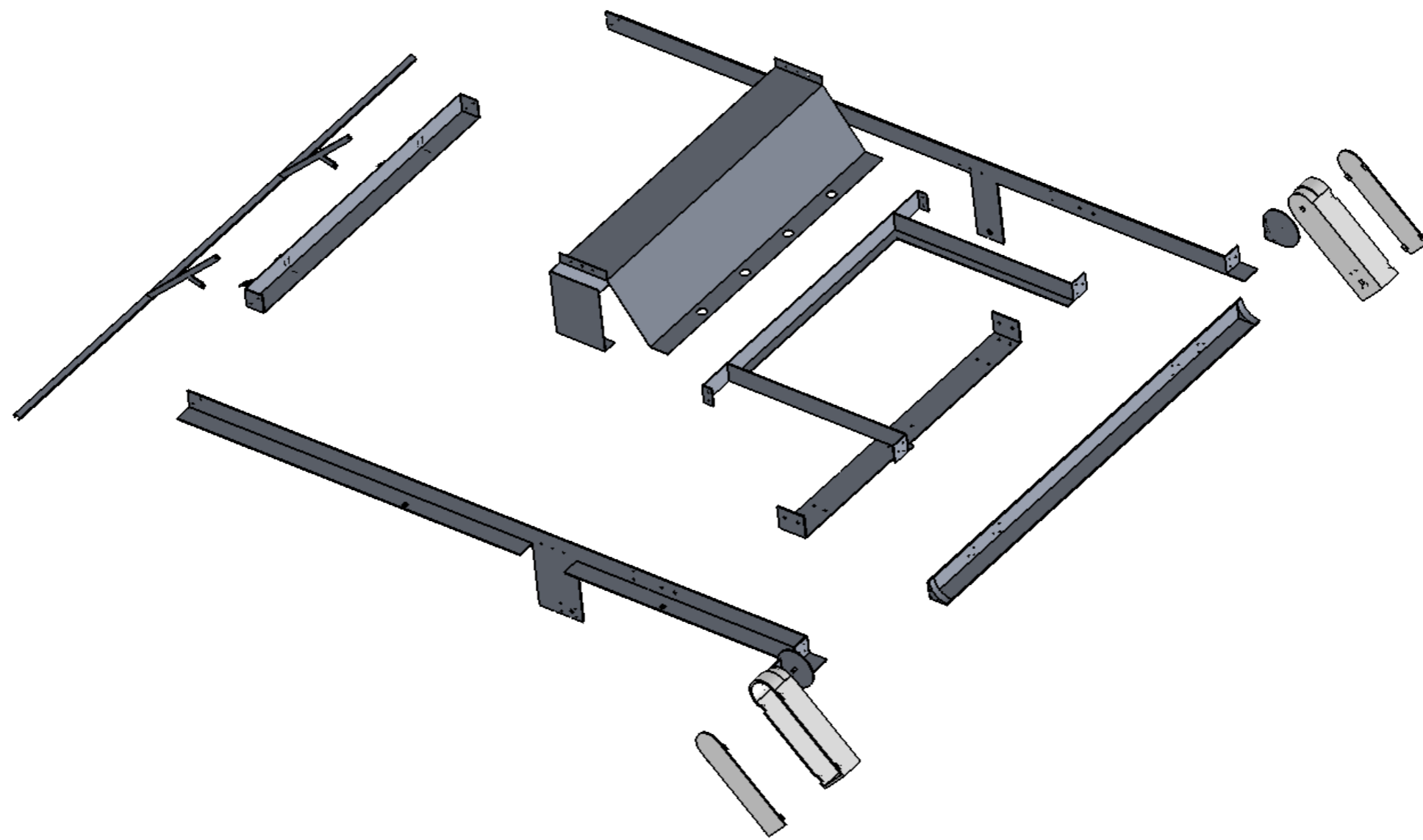
NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Placa de aluminio para soportar la botonera y se ubique en la posición seleccionada.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Departamento de Ingeniería	A3
	PESO:	Escala de la hoja 1:4	HOJA 1 DE 1




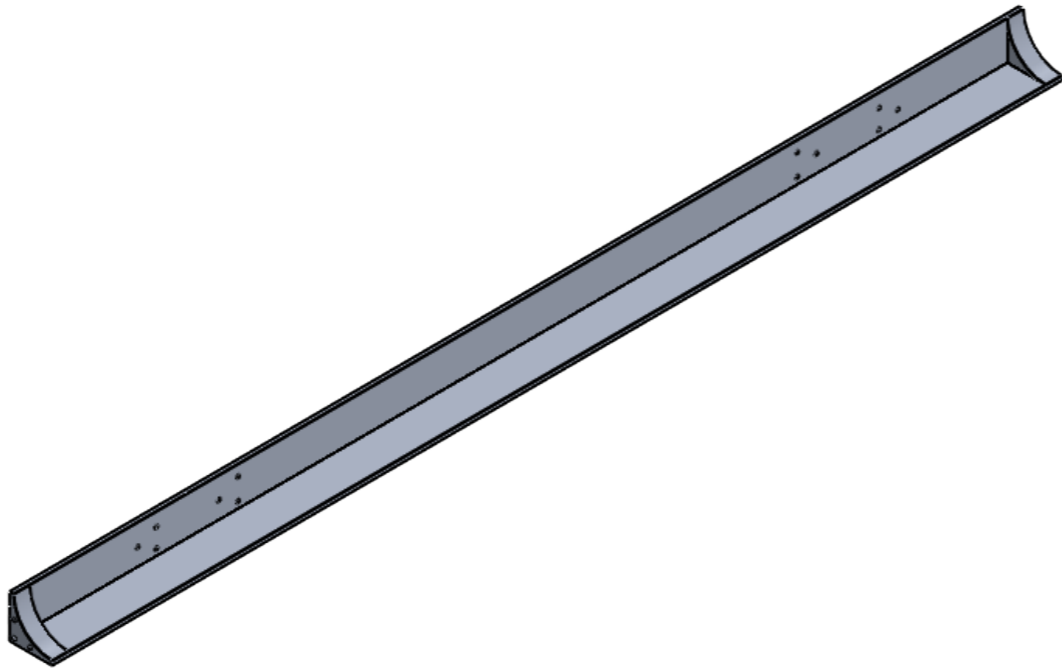
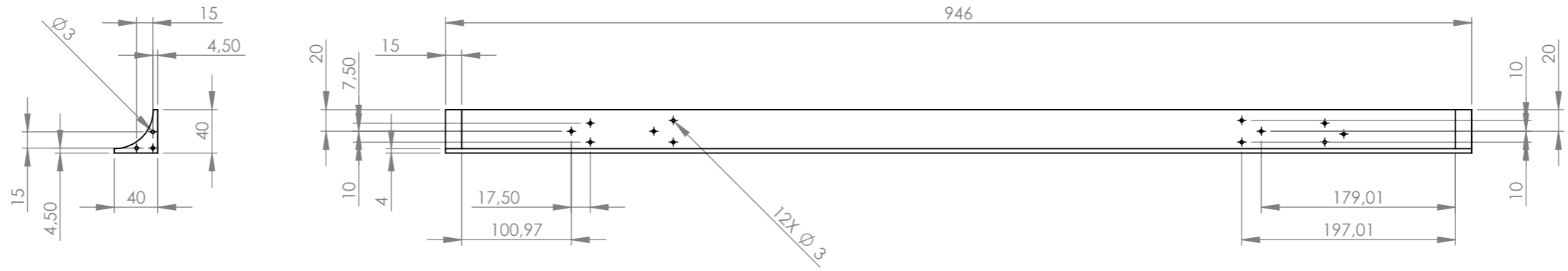


NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Pieza para albergar el rodamiento que sostiene la polea de tracción.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Base rodamiento polea	
	Departamento de Ingeniería	A3	
	PESO:	Escala de la hoja 2:1	HOJA 1 DE 1

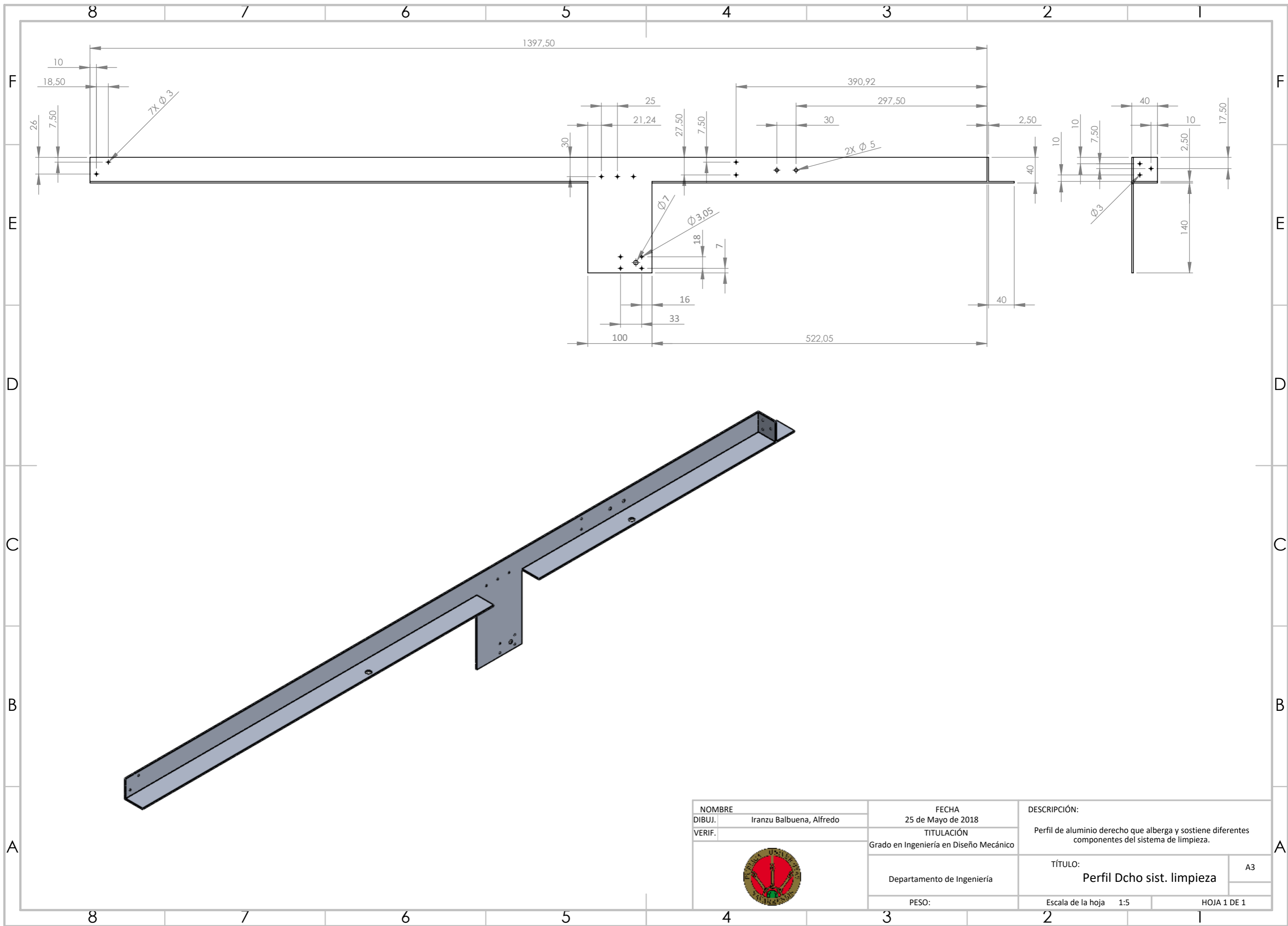




NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Visualización del explosionado del sistema de limpieza para su montaje posterior	
VERIF.	TITULACIÓN	N.º DE DIBUJO Ensamblaje limpieza	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico		
		Departamento de Ingeniería	A3
		PESO:	Escala de la hoja 1:10

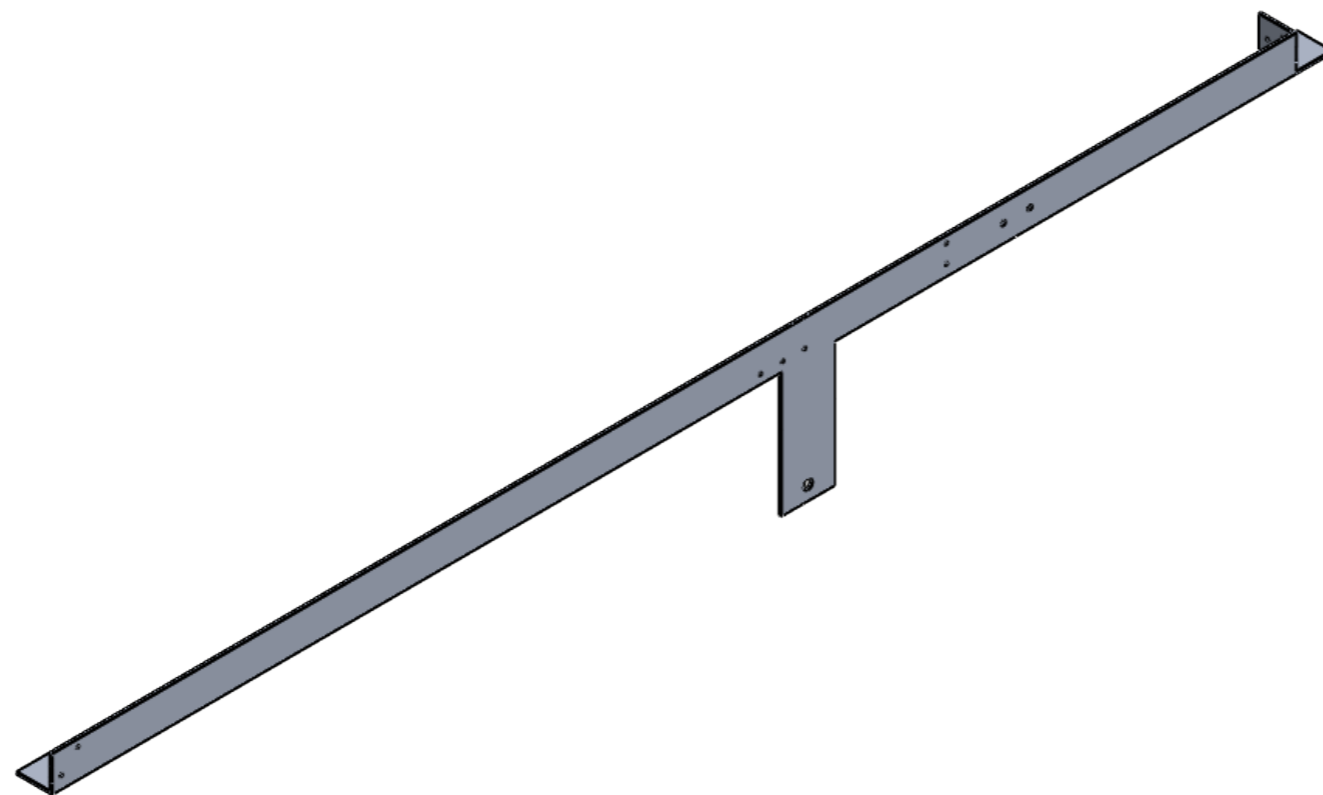
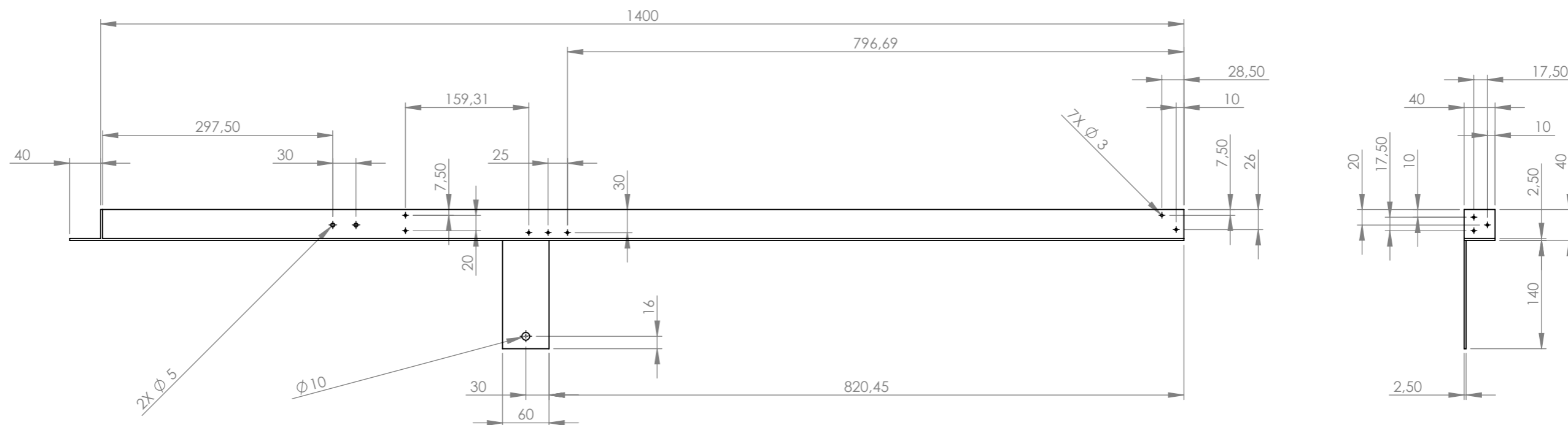


NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Perfil principal del sistema de limpieza. Perfil frontal.	
VERIF.	TITULACIÓN	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	
	Departamento de Ingeniería	TÍTULO:	A3
		Perfil principal sist. limpieza	
PESO:	Escala de la hoja	1:5	HOJA 1 DE 1



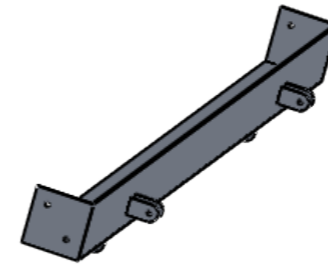
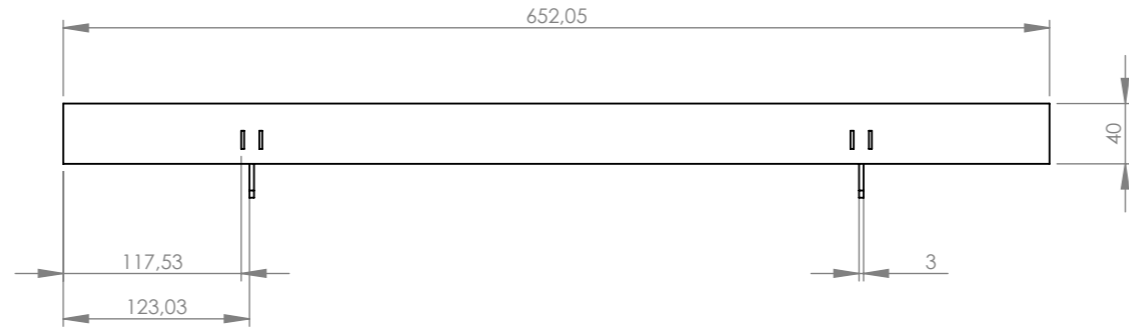
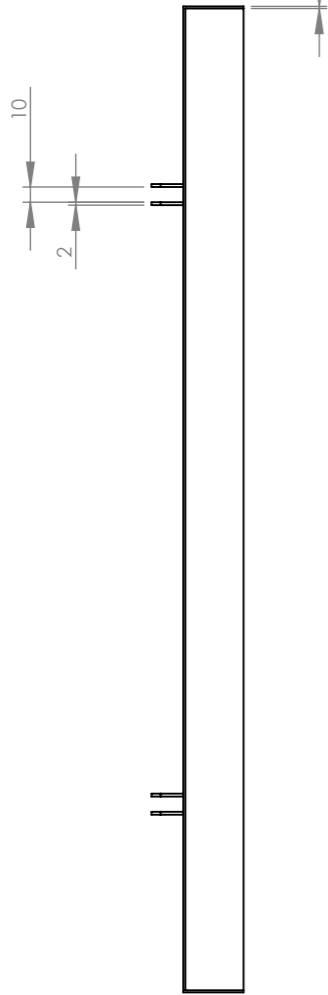
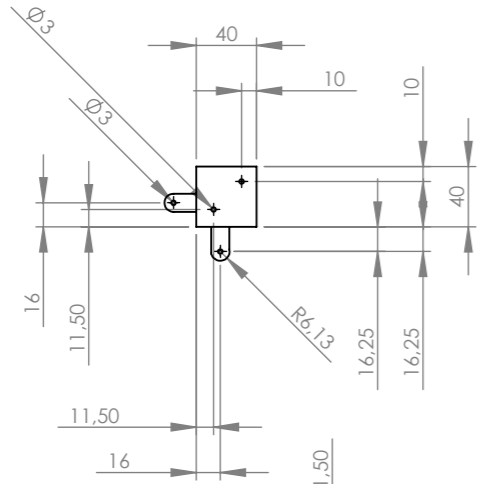
NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Perfil de aluminio derecho que alberga y sostiene diferentes componentes del sistema de limpieza.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	A3
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Perfil Dcho sist. limpieza	
	Departamento de Ingeniería	Escala de la hoja	HOJA 1 DE 1
	PESO:	1:5	




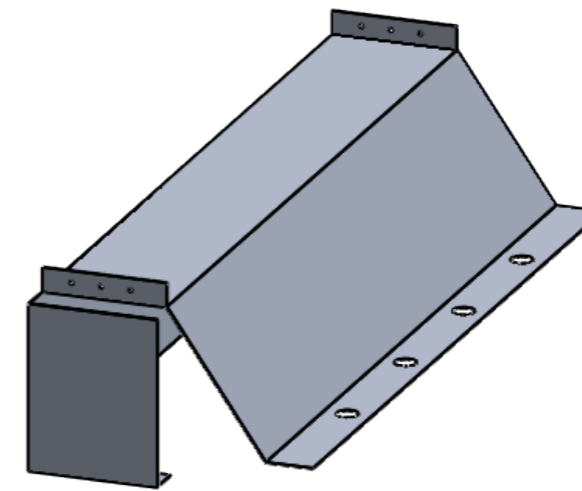
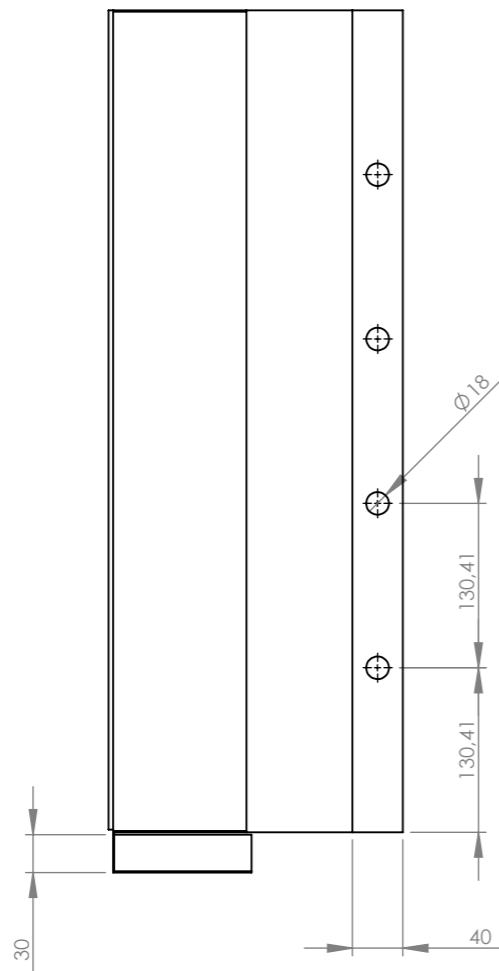
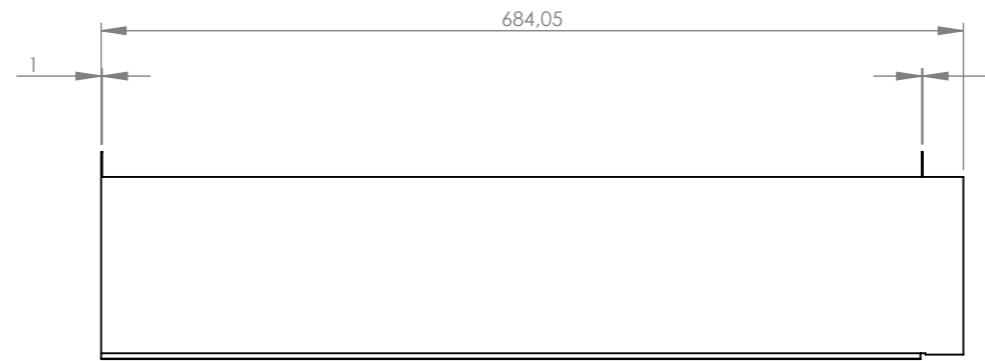
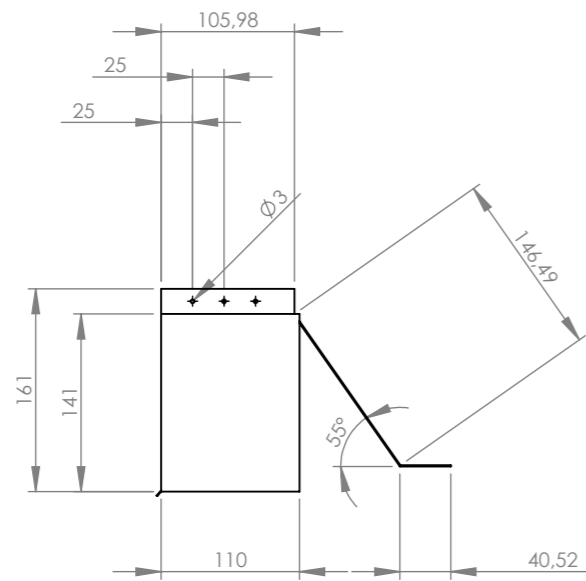


NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Perfil izquierdo del sistema de limpieza.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Perfil izdo sist. limpieza	A3
	Departamento de Ingeniería	Escala de la hoja	HOJA 1 DE 1
	PESO:	1:6	

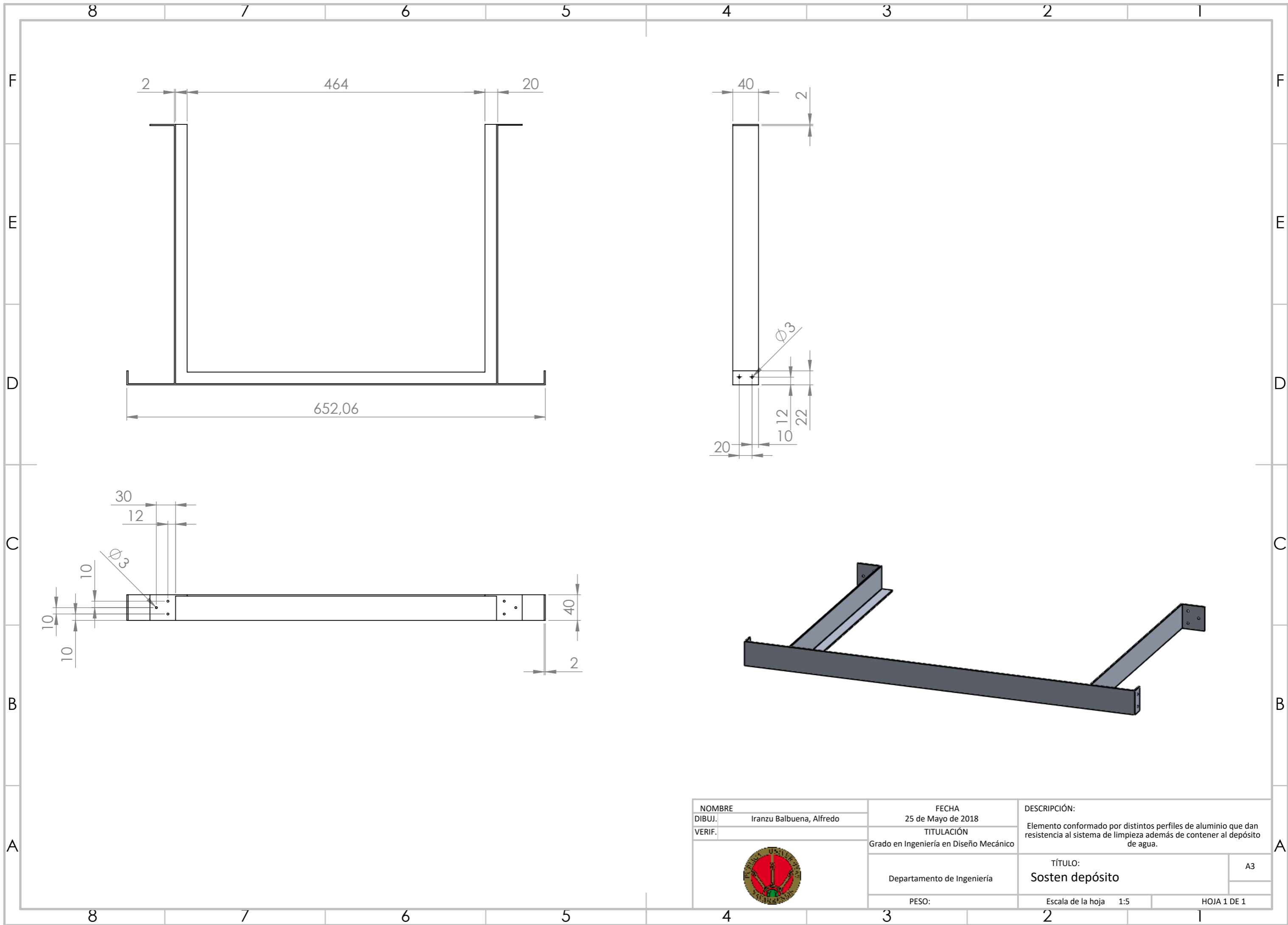




NOMBRE		FECHA		DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo		25 de Mayo de 2018		Perfil compuesto que se ubica en la parte final del mecanismo y sirve como soporte del sistema de secado.	
VERIF.		TITULACIÓN		TÍTULO:	
		Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico		Larguero limpiaparabrisas	
		Departamento de Ingeniería		A3	
PESO:		Escala de la hoja 1:5		HOJA 1 DE 1	

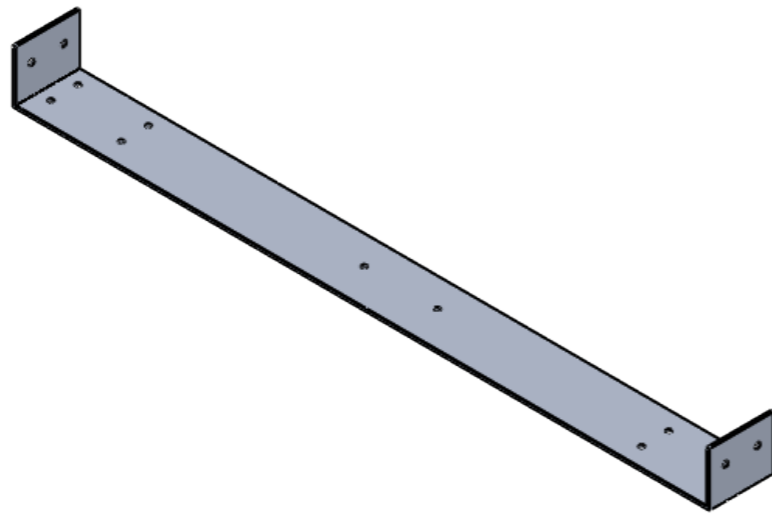
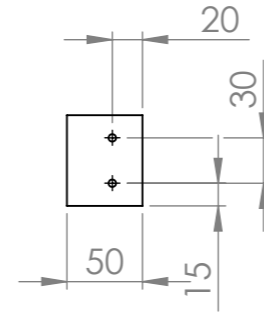
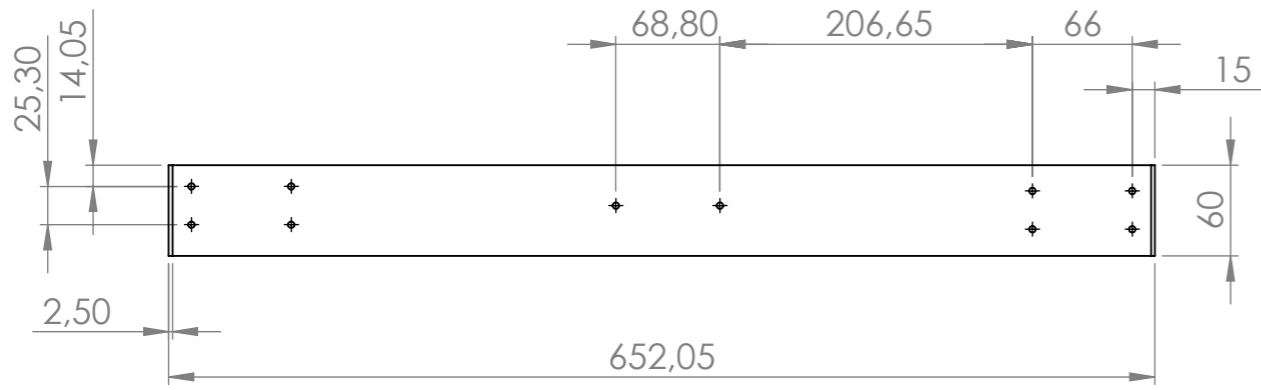


NOMBRE		FECHA		DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo		25 de Mayo de 2018		Chapa de aluminio que permite cubrir el motor del rodillo y proteger al resto de elemento del agua.	
VERIF.		TITULACIÓN		TÍTULO:	
		Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico		Cobertura Rodillo	
		Departamento de Ingeniería		A3	
		PESO:		Escala de la hoja 1:6	
				HOJA 1 DE 1	



NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Elemento conformado por distintos perfiles de aluminio que dan resistencia al sistema de limpieza además de contener al depósito de agua.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Sosten depósito	A3
	Departamento de Ingeniería	Escala de la hoja	HOJA 1 DE 1
	PESO:	1:5	





NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Lámina de aluminio que soporta las bombas de agua y el láser.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Departamento de Ingeniería	A3
	PESO:	Escala de la hoja 1:5	HOJA 1 DE 1



8 7 6 5 4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

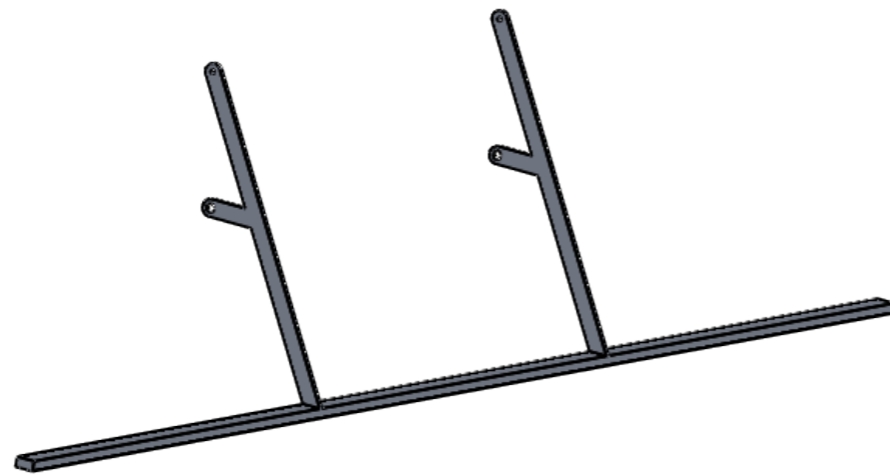
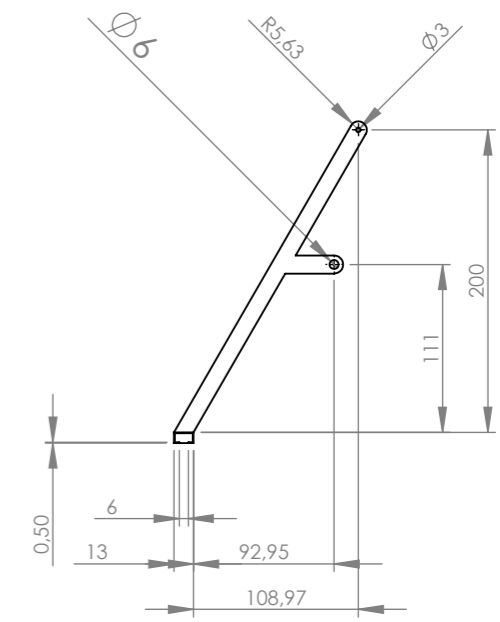
C

B

B

A

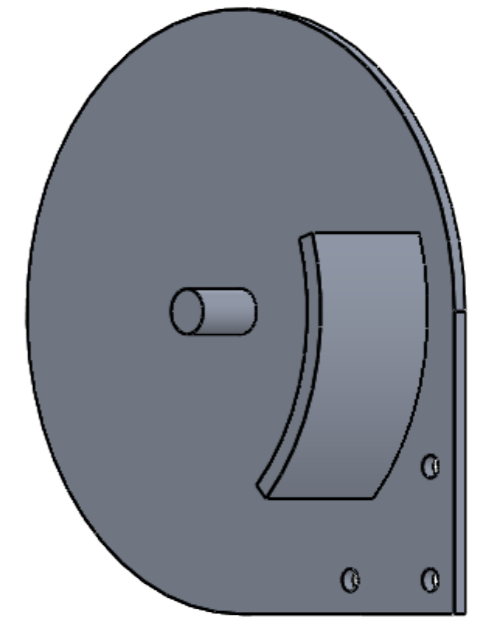
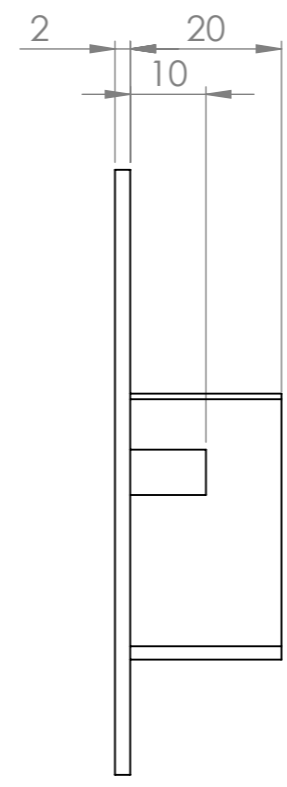
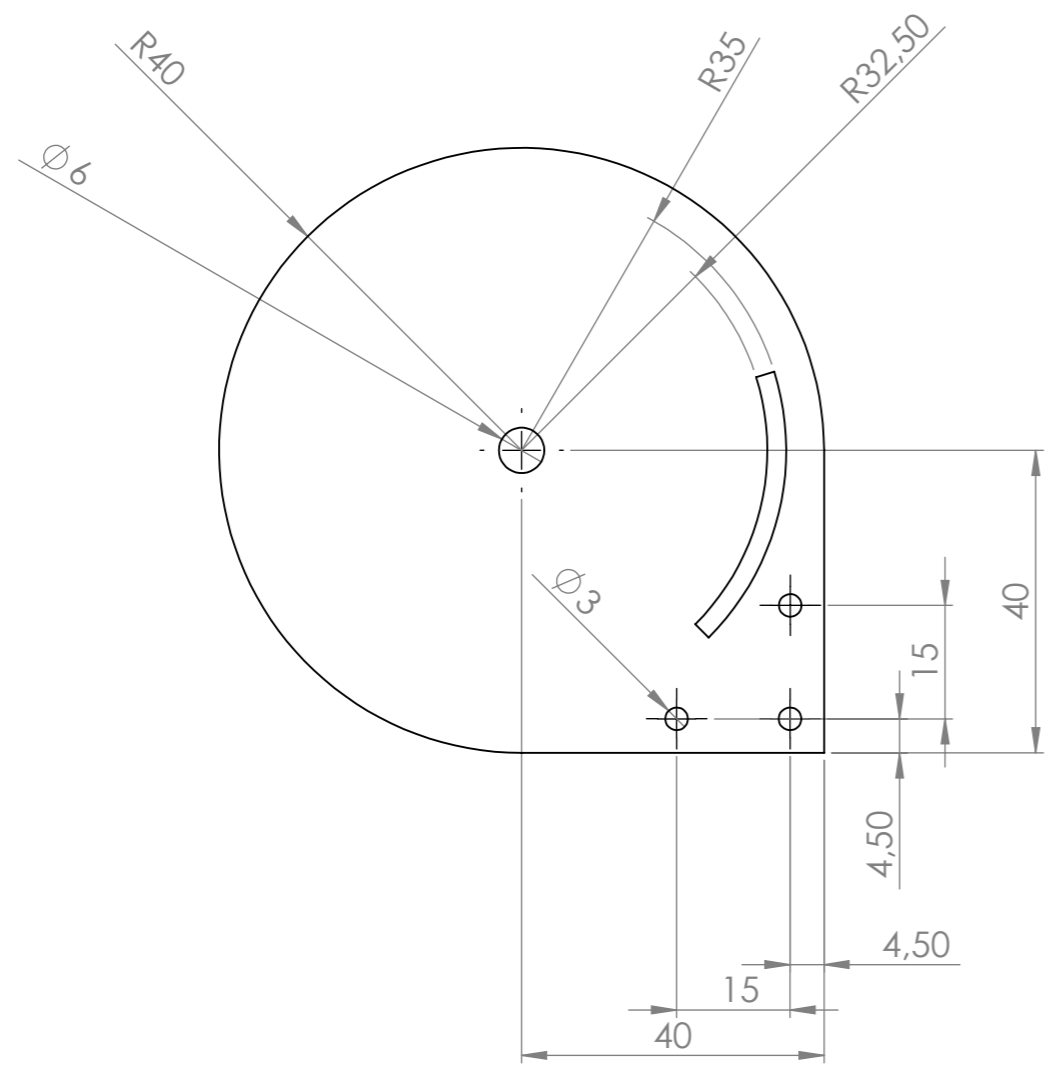
A



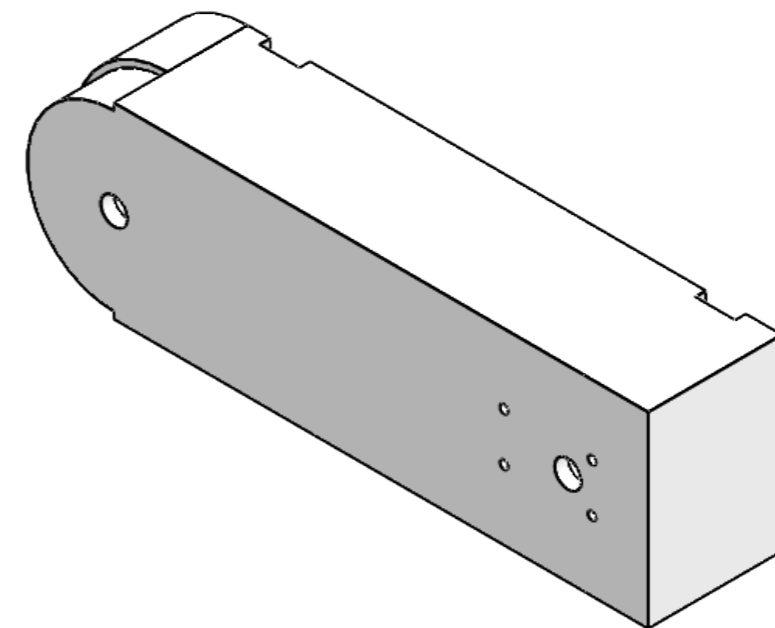
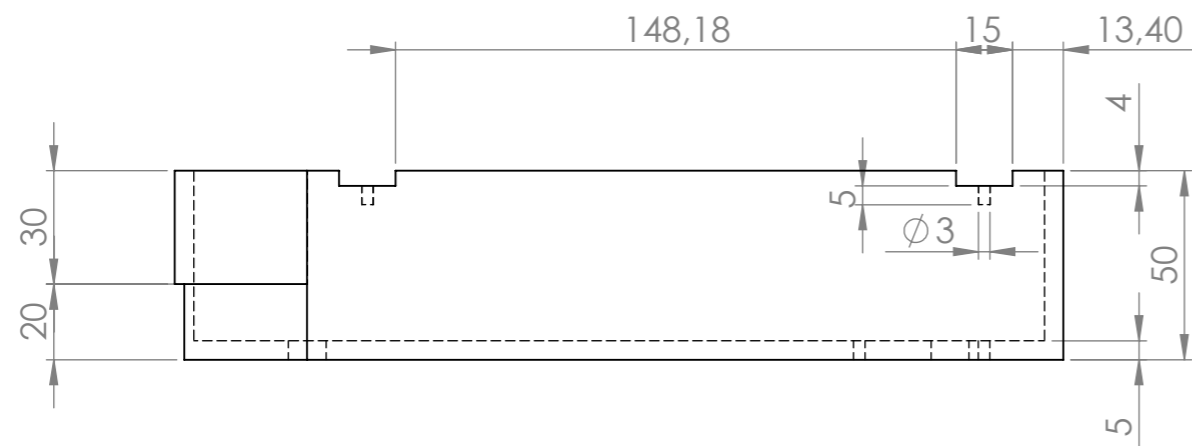
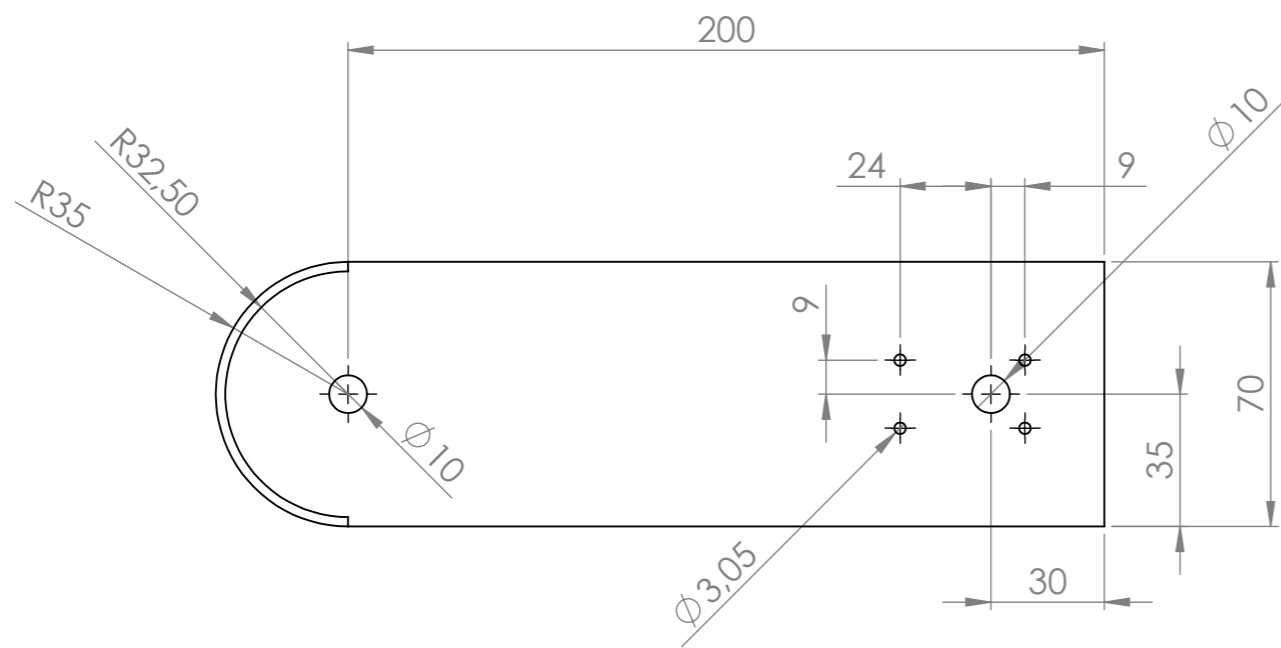
NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Pieza que ayuda a aplicar tensión al elemento limpiacristales, además de albergarlo.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Porta-Limpiaparabrisas	A3
	Departamento de Ingeniería	Escala de la hoja	HOJA 1 DE 1
	PESO:	1:5	



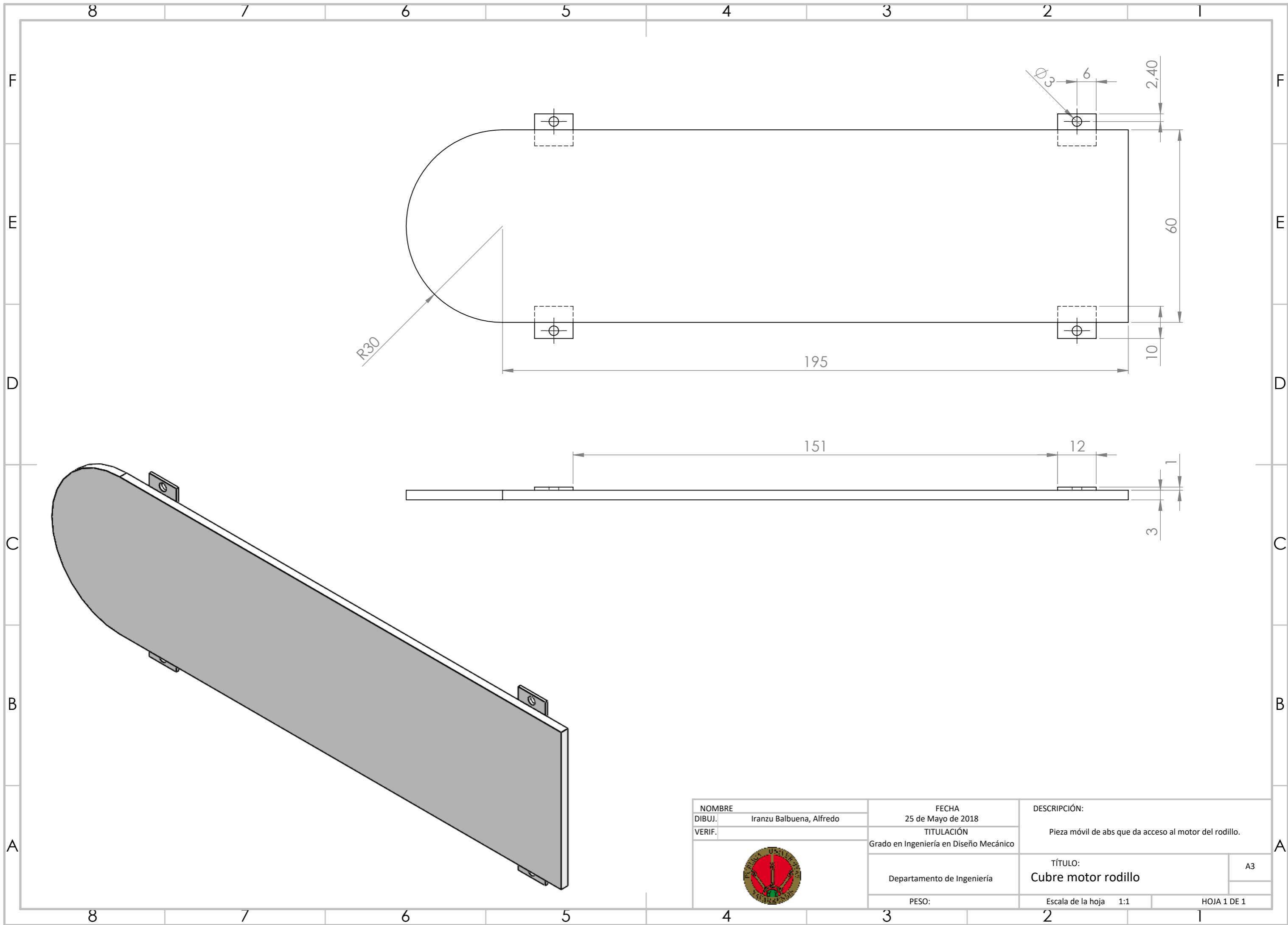
8 7 6 5 4 3 2 1



NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Elemento que otorga versatilidad y amortiguación al rodillo principal.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Pieza amortiguación rodillo	
		Departamento de Ingeniería	A3
		PESO:	HOJA 1 DE 1
		Escala de la hoja 1:1	



NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Elemento cuya función es proteger el motor del rodillo y sostenerlo	
VERIF.	TITULACIÓN	A3	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	TÍTULO:	
	Departamento de Ingeniería	Cobertura Motor Rodillo	
	PESO:	Escala de la hoja 1:2	HOJA 1 DE 1



NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJ. Iranzu Balbuena, Alfredo	25 de Mayo de 2018	Pieza móvil de abs que da acceso al motor del rodillo.	
VERIF.	TITULACIÓN	TÍTULO:	
	Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Cubre motor rodillo	A3
	Departamento de Ingeniería	Escala de la hoja	HOJA 1 DE 1
	PESO:	1:1	

