



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño y control de sistema de aparcamiento automatizado

TRABAJO FINAL DEL

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

REALIZADO POR

Victor Sánchez Terrasa

TUTORIZADO POR

**Ángel Sapena Baño
Jordi Burriel Valencia**

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021

Resumen

En este trabajo final de máster se presenta el diseño de una cochera autónoma, inteligente e independiente. Se trata de una maquinaria instalada en una cochera, a la entrada de la cual, el usuario deposita su vehículo, y, en ese momento, la máquina desplaza el vehículo automáticamente a su plaza de aparcamiento. Para lograr esto, la estructura interna del edificio utilizado como cochera está adaptada a esta maquinaria.

A lo largo del trabajo se desarrollan los sistemas necesarios para el diseño de la grúa, incluyendo, el conjunto de la maquinaria que recoge y desplaza vehículos desde el punto de recogida hasta la plaza de aparcamiento y vice-versa.

Para la construcción de la grúa se incluyen datos sobre: la mecánica de la estructura, los accionamientos electromecánicos (para el desplazamiento tanto de la estructura como del vehículo), los sensores y los controladores.

Abstract

In this final master thesis, the design of an autonomous, intelligent and independent garage is presented. It consists of a machinery installed in a garage, at the entrance of which, the user deposits their vehicle, and, at that moment, the machine automatically moves the vehicle to its parking space. To achieve this, the internal structure of the building used as a garage is adapted to this machinery.

Throughout the work, the systems which are necessary for the design of the crane are developed, including the set of machinery that collects and moves vehicles from the collection point to the parking space and vice versa.

For the construction of the crane, there are included data about: the mechanics of the structure, the electromechanical drives (for the movement of both the structure and the vehicle), the sensors and the controllers.

Índice

1. Objeto	4
2. Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes	5
3. Planteamiento de soluciones alternativas y justificación de la solución adoptada	6
3.1. Sistema de control	6
3.2. Sistemas de acción y recepción	7
3.2.1. Máquinas eléctricas	7
3.2.2. Circuitos hidráulicos	9
3.2.3. Detección y sensores	9
3.3. Sistema de elevación	10
3.4. Sistemas para monitoreo y botonera	12
3.5. Comunicaciones	12
4. Descripción detallada de la solución adoptada	13
4.1. Elementos mecánicos	13
4.1.1. Plancha	13
4.1.2. Puente	13
4.1.3. Tren	13
4.2. Elementos de control y acción	14
4.2.1. Control	14
4.2.2. Comunicación	15
4.2.3. Elementos electromecánicos	15
4.3. Monitoreo	16
5. Justificación detallada de los elementos o componentes de la solución adoptada.	16
5.1. Estructura mecánica	16
5.1.1. Plancha	18
5.1.2. Puente	20
5.1.3. Tren	28
5.2. Elementos mecánicos	33
5.2.1. Relación plancha y puente	33
5.2.2. Relación puente y tren	34
5.2.3. Desplazamiento horizontal del tren	35
5.3. Elementos electromecánicos	35
5.3.1. Accionamientos	35
5.3.2. Hidráulica	36
5.3.3. Máquinas eléctricas	38
5.3.4. Sensores	39
5.4. Controladores	40
5.4.1. Convertidor de frecuencia	40
5.4.2. Autómata programable	40
5.5. Cableado	42
5.5.1. Instalación de comunicación	42

5.5.2. Instalación eléctrica	42
6. Exposición	46
6.1. Indicadores y control	46
6.2. Manipulación	46
6.3. Simulación del control	47
6.3.1. Conexiones	47
6.3.2. Programación	49
6.3.3. Interfaz	50
7. Conclusiones	51

1. Objeto

El objeto de este trabajo es presentar, diseñar y justificar una parte troncal de un sistema de almacenamiento autónomo de vehículos turismo con los datos constructivos. A este sistema se le denominará grúa en el presente texto, encontrándose en el nivel 2 de la pirámide de automatización.

El diseño permite la instalación de la grúa en edificios ya construidos efectuando la mínima obra y, además, pretende la construcción de la misma al mínimo coste. Eso no impide que se pueda realizar la construcción de una edificación implícita para este uso.

El presente trabajo se justifica aportando y ofreciendo una alternativa a las tecnologías y mecanismos actuales empleados en el sector de almacenamiento de vehículos, optimizando la forma de almacenaje en el estacionamiento de los mismos.

Para cumplir los objetivos de almacenamiento autónomo de vehículos es necesario diseñar una serie de estructuras, además de calcular sus dimensiones, materiales... siempre teniendo en cuenta el tamaño del vehículo y la fuerza a realizar para sostenerlo y moverlo, además de, cómo ya se ha comentado, el coste económico.

Los elementos necesarios para la grúa son distintas estructuras mecánicas relacionadas entre sí y otros elementos mecánicos, eléctricos, de control... que permitan su montaje y automatización.

En primer lugar se requiere de una serie de estructuras diseñadas en el presente trabajo y denominadas según su finalidad. La plancha, la cual tiene como finalidad soportar el vehículo a estacionar en su superficie, el tren, que permite el movimiento de la plancha y el automóvil en todas direcciones, de forma que pueda dirigirse a su lugar de aparcamiento en el edificio, y, el puente, que interacciona con la plancha permitiendo el movimiento y aportando estabilidad a la grúa. Estas tres estructuras serán diseñadas con un tamaño óptimo que cumpla con las dimensiones y el peso supuesto del vehículo a transportar.

En el presente trabajo, además de estas estructuras, también se emplearán dispositivos computacionales electrónicos que permiten la automatización del sistema. La implantación de los mismos en la grúa es necesaria para que ésta pueda iniciar el funcionamiento en el momento en el que se le da la orden y funcionar de forma continuada hasta completar la orden solicitada. Para ello, se desarrollará un programa en los elementos de control utilizados, estos son:

- Un autómata programable, que controlará toda la estructura a través de sensores poniendo en marcha los accionamientos de la grúa.
- Los variadores de frecuencia, que controlarán y permitirán aprovechar las posibilidades de funcionamiento de las máquinas eléctricas que serán empleadas en la grúa.

El desarrollo del programa empleado para ello se llevará a cabo dentro del autómata programable en lenguaje estructurado, este también incluirá la interfaz visual para la pantalla de visualización.

Esta pantalla de visualización e interacción con el usuario, que se diseñará en el trabajo, complementa la grúa. Y tiene cómo objeto poder presentar el funcionamiento de la grúa independientemente del resto de elementos de la pirámide de automatización. Además, de permitir interaccionar y visualizar su funcionamiento.

2. Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes

En cuanto a las necesidades que presenta y suple la grúa existen varios aspectos a considerar. En este apartado se estudian de manera independiente las necesidades en cuanto al diseño de la grúa en sí, su estructura y los distintos elementos y sistemas empleados.

1. Generalidades y ubicación de la grúa: Este sistema está pensado para suplir las necesidades de aparcamiento en núcleos urbanos con problemas de plazas de aparcamiento. Por ello, está ideado para un edificio de 4 plantas o 16 metros, siendo esta una altura típica de edificio a encontrar en los distintos núcleos urbanos de occidente, bastando una pequeña remodelación y capacitación del edificio para admitir la grúa. La superficie del edificio no tendrá tanta importancia, permitiendo más o menos almacenamiento, sin afectar al comportamiento del sistema, por ser el desplazamiento horizontal de la grúa completamente lineal a través de vías de acero. Estas características del edificio permiten la construcción de la grúa con unas medidas de exactamente 5,5 metros, pudiendo ubicarse entre dos filas de plazas de aparcamiento, una a cada lado, permitiendo aprovechar mejor los espacios, y pudiendo ganar plazas extra en función del edificio donde se instale. En conclusión, la altura de la grúa se encuentra limitada a 16 metros, debido a la altura de los edificios, y la anchura, por no tener ningún límite en este aspecto, dispone de libertad.
2. Las estructuras y elementos mecánicos empleados: Estos pueden dividirse en dos:
 - a) Diseño propio: puente, tren y plancha. El diseño de estos elementos se hace en base al tamaño máximo de los vehículos turismos vendidos en Europa, es decir, vehículos con unas dimensiones máximas de 5,5 metros de largo y 2,5 metros de ancho y una masa máxima de 3500kg como establece la Unión Europea. La altura del vehículo, dado que depende de la estructura del edificio, no es un aspecto a considerar, permitiendo dar flexibilidad en este punto. Por otro lado, la plancha y el puente se diseñan de forma que su peso sea liviano para evitar así el consumo energético excesivo.
 - b) Elementos mecánicos utilizados: rodamientos, cadenas, tornillos... a emplear. Que han sido seleccionados según las necesidades de tamaño y peso a soportar.
3. Parte eléctrica: El movimiento de la estructura mecánica se logra gracias a una red eléctrica. El diseño de esta red eléctrica pretende suplir las necesidades energéticas de la grúa en el movimiento de la estructura, además de, en partes secundarias como es la interacción con el usuario en la pantalla de visualización. La instalación eléctrica debe ser alterna trifásica de baja tensión, a 400V, por ser la normalizada europea.
4. El sistema de control: Este está basado en suplir las necesidades de automatización. Requiere de dos sensores y de varios accionamientos dotando de una carga de control, procesamiento y emisión de información baja:

- a) Los sensores: Será necesario poder tener información sobre los siguientes sucesos:
 - 1) Conocer la posición vertical y horizontal del puente.
 - 2) Saber si la plancha está cargada o no y fijarla.
 - b) Los accionamientos: Han de ser capaces de cargar distintas masas y cargas, por lo cual el par necesario en cada caso varía, así como también varía la velocidad a la que se tiene que mover cada componente. Además de tener en cuenta el par y la velocidad, en algunos casos también es muy importante la precisión con la que realiza cada movimiento. En concreto se eligen varias máquinas eléctricas, que deben soportar distintas cargas, calculadas posteriormente:
 - 1) Una de las máquinas eléctricas empleadas, transporta la carga de coche y plancha, de forma horizontal.
 - 2) Otra máquina, a través de un sistema hidráulico, transporta el coche, la plancha y el puente, pero, de forma vertical.
 - 3) Cuatro máquinas eléctricas, actuando en equipo, transportan todo el conjunto (plancha, coche, tren, accionamientos...) de forma horizontal.
 - 4) Pistones electrónicos: extienden una cadena que permite cargar y descargar la plancha del puente.
5. Monitoreo usando elementos de visualización: Debido a que en este trabajo se está empleando un nivel 2 en la pirámide de automatización y no se contemplan los demás niveles superiores, existe la necesidad de monitorizar el estado del conjunto de la grúa. Para lo que se emplea, por su simplicidad y ahorro de elementos de visualización y acción, una pantalla táctil.

3. Planteamiento de soluciones alternativas y justificación de la solución adoptada

En este punto se estudian las distintas posibilidades que existen en cuanto al diseño de elementos y a la elección de sistemas y componentes de la grúa por apartados.

3.1. Sistema de control

Los sistemas de control son elementos encargados de ordenar al resto de elementos o/y percibir el estado. Para tener control de todos los elementos electrónicos se pueden emplear distintos dispositivos:

- El ordenador: Es un dispositivo formado por distintas piezas de alto rendimiento que le permiten tener una gran capacidad de cálculo. Por otro lado, es muy económico y voluminoso, con una gran diversidad de componentes para ampliar su funcionamiento siempre que tenga el accesorio adecuado. Esta versatilidad le hace frágil a interferencias o ambientes con ruido eléctrico y algunos de los componentes que le permiten algunas funcionalidades tienen un alto coste económico además de, unos requisitos de computación previos.

- El sistema empotrado: Es un sistema diseñado exclusivamente para un fin concreto, empleando para ello distintos microchips o dispositivos. Únicamente merece la pena su uso en grandes cantidades (a partir de millones) por el ahorro de coste a partir de determinado número de fabricación, ya que, de lo contrario, tiene un coste de fabricación alto a favor de una alta eficiencia para dicho fin.
- El autómata programable: Es un sistema empotrado diseñado para ambientes industriales donde se tenga la necesidad de controlar múltiples señales de entrada y salida. Funciona mediante relés de gran voltaje (entre 12 y 24 voltios), inmunidad al ruido eléctrico, resistencia a la vibración y al impacto con una potencia computacional baja y un funcionamiento repetitivo durante un tiempo determinado. Gracias a su producción en masa permite un coste económico medio.

Como existen dispositivos sencillos que requieren del funcionamiento de puertas lógicas, interruptores o relés, se opta por el uso de un autómata programable. Este se elige además por el poco coste computacional que requiere el control de estos elementos respecto al precio.

3.2. Sistemas de acción y recepción

Los sistemas de acción y recepción se refieren a aquellos elementos donde no existe interacción humana directa, sino que la acción o recepción está realizada por la consecuencia de un cambio físico o químico. Los elementos a tratar son: máquinas eléctricas, circuitos hidráulicos, detectores y sensores.

3.2.1. Máquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas se diferencian principalmente en el tipo de electricidad a emplear: corriente continua o alterna. Entre las de corriente alterna se puede realizar otra diferenciación: síncronas y asíncronas.

- La máquina eléctrica de corriente continua: Es un motor que convierte energía eléctrica continua en mecánica. El principal inconveniente es el alto coste y difícil mantenimiento dado el desgaste de las escobillas al contacto con las delgas. Por contra, un beneficio que tiene, es el alto par del que dispone desde el inicio de su arranque y las altas velocidades que es capaz de alcanzar sin necesidad de electrónica, solo incrementando el voltaje, además de, con un tamaño y coste de adquisición muy reducidos.
- La máquina eléctrica de corriente alterna:
 - El motor asíncrono es un motor eléctrico de corriente alterna, en el cual, su rotor gira a una velocidad diferente a la del campo magnético del estator. Esto permite que sean máquinas eléctricas con reducido mantenimiento, económicas y, añadiendo un control mediante variador de frecuencia, consigue características casi atribuibles a las máquinas síncronas. Por contra es un producto con par muy variable en función de la velocidad y con cierta dificultad de control y precisión.

- Los motores síncronos son un tipo de motor de corriente alterna, en los cuales, el rotor está sincronizado con la frecuencia de la corriente de alimentación. Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión y del número de pares de polos del motor, encontrándose en velocidad de sincronismo. Esto permite que sean máquinas eléctricas sin mantenimiento, con un alto par desde el inicio de la rotación, con un reducido tamaño y, con una gran precisión de control rotativo gracias a los variadores de frecuencia. Por contra es un producto muy caro de adquirir.

En base a estas características y, con la ayuda de convertidores de frecuencia que permiten una precisión y par iniciales indistintamente del tipo de máquina, se emplean, por su relación mantenimiento/coste las máquinas eléctricas asíncronas.

Convertidores de frecuencia Los convertidores de frecuencia son dispositivos empleados para manejar máquinas eléctricas. Los tipos de convertidor de frecuencia que existen actualmente en el mercado son: control escalar, control vectorial (FOC) y control directo de par (DTC).

- El control escalar: Es la tecnología más económica. Funciona manteniendo el flujo constante para mantener el par constante, independientemente de cual sea la velocidad. El flujo varía de forma proporcional a la inversa de la frecuencia y la tensión, necesitando que varíen simultáneamente en la mismas proporciones para mantener el flujo constante. Aplicando la velocidad de referencia, el variador de frecuencia impone una frecuencia y calcula la tensión, manteniendo el flujo constante y permitiendo controlar la velocidad angular a un par fijo. Todo esto limita bastante la exactitud de funcionamiento de este sistema, sin poder realizar compensación de la velocidad en función de la variación de la carga, ni permitiendo controlar la posición angular de la máquina eléctrica directamente.
- El control vectorial: Teniendo predefinidas la resistencia y la inductancia del estator en el variador de frecuencia, introduce los siguientes valores para un mayor control del flujo:
 - Tensión nominal.
 - Intensidad nominal.
 - Factor de potencia.
 - Velocidad nominal en revoluciones por minuto.

A partir de esto el variador de frecuencia obtiene la información de distintas magnitudes desde los bornes para calcular la inductancia y momento del par del rotor. Esto le permite obtener control sobre la velocidad angular indistintamente del par, y, obtener además, cierta precisión de la posición angular en la que se encuentra el rotor.

- El control directo de par: Es el método más caro que emplea un conjunto de reglas cualitativas para el control del flujo del estator y par desarrollado, ya que, al permitir desacoplar las variables de par y flujo del estator, obtiene

un control sobre la velocidad angular indistintamente del par. Además de, conseguir una respuesta muy rápida y precisa de la posición y par requerida por el rotor en cada instante.

De estos sistemas se emplea el control escalar y el control directo de par para su uso en la grúa en determinados casos. El uso del control escalar es debido a que se tiene un detector externo que permite conocer el momento exacto para detener la máquina eléctrica, requiriendo un menor control. El uso de control directo de par es todo lo contrario, requiere un gran control dado la gran masa y par necesario para este caso.

3.2.2. Circuitos hidráulicos

Los circuitos hidráulicos normalmente requieren de un diseño con todos sus elementos: depósito, bomba, válvulas y accionamientos (motor, cilindro, pistón, etc.) En determinadas ocasiones y casos concretos existen circuitos hidráulicos ya diseñados que pueden ser empleados para el objetivo de dicho trabajo. Es decir, existen dos tipos de circuitos hidráulicos: los que tienen un diseño general y los que tienen un diseño específico.

- Diseño específico: Requiere de material y diseño específicos y de mayor coste.
- Diseño general: Puede servir en determinados casos genéricos, como en la elevación de cabinas o vehículos, pues realiza la misma función pero sin requerir del coste extra que supone diseñar un circuito hidráulico para este fin.

Al existir ya circuitos hidráulicos genéricos para la elevación cabinas o vehículos se opta por este caso, siendo habitualmente, económicamente más barato.

3.2.3. Detección y sensores

Para poder distinguir entre detección y sensores es importante previamente conocer sus semejanzas y diferencias:

- Un sensor mide magnitudes físicas o químicas convirtiendo las variables de instrumentación en variables eléctricas.
- Un detector es un dispositivo que detecta o percibe cierto fenómeno físico transformado en una señal eléctrica entre dos valores.

Para este caso solo es necesario el uso de detectores, ya que existen otros componentes de computo que sustituyen a los sensores al hacer un cálculo previo muy preciso de la unidad a obtener.

Respecto a los detectores existen distintas tecnologías: inductivo, capacitivo, térmico, por infrarrojos y fotocélula. Se estudia cada uno por separado:

- Inductivo: Están encargados de la detección de materiales ferrosos gracias al uso de una bobina, permitiendo así, que sean pequeño tamaño y económicos. Por contra, solo permite su funcionamiento en elementos ferrosos y a corta distancia.

- Capacitivo: Están encargados de la detección de no metales y metales gracias al uso de un condensador permitiendo que sea muy económico de pequeño tamaño, por contra solo permite su funcionamiento a muy corta distancia.
- Térmico: Están encargados de la detección de materiales a partir de determinada temperatura gracias al uso de una resistencia, permitiendo así que sean de pequeño tamaño y económicos. Por contra, solo permite su funcionamiento cuando los elementos se encuentran a partir de determinada temperatura y a corta distancia, pudiendo tener un gran rango de histéresis en función de la temperatura de trabajo.
- Fococélula: Están encargados de la detección del cruce de un objeto de gran opacidad. Funcionan gracias al uso de un emisor lumínico y un fotodiodo, permitiendo una alta respuesta de reacción y una gran distancia, además de ser de pequeño tamaño y económico. Por contra, requiere de dos dispositivos y ajuste.

Se opta por la elección de detectores de tipo inductivo por emplear en todo momento elementos férricos.

3.3. Sistema de elevación

La estructura de la grúa está basada en el funcionamiento de los elevadores de vehículos empleados en los talleres, tanto en su estructura mecánica cómo en el mecanismo de elevación y la electrónica necesaria. De esta manera, el siguiente trabajo se basa en el uso de metodologías empleadas actualmente en maquinaria ya existente. Actualmente existen dos tecnologías pioneras para elevadores: electromecánicos e hidráulicos:

1. El sistema electromecánico: Funciona empleando una polea en lo alto de la estructura, posicionando a un lado la cabina y al otro un contrapeso, estando estos conectados a través de cables acerados y compensando así el contrapeso, el peso estimado de la cabina con la carga. Una máquina eléctrica es la encargada de desplazar la cabina verticalmente mediante los cables acerados. Gracias al uso del contrapeso (que compensa la masa a cambio de tener el centro de masas a media altura y elementos móviles) se permite un mayor ahorro de energía porque la máquina eléctrica requiere menos potencia para elevar y bajar la cabina. Este sistema se aprecia de forma más visual en la figura 1.
2. El sistema hidráulico: Funciona elevando la carga directamente a través de pistones hidráulicos ubicados en el interior de los pilares, empleando el principio de Pascal, como se aprecia en la figura 2. Este método permite que ocupe menos espacio, además tiene una menor masa y permite que el centro de masas se pueda encontrar en la parte inferior. Por contra, este sistema realiza un mayor consumo energético y tiene una menor velocidad de elevación. El principio de Pascal se basa en un circuito cerrado donde, en un lado la superficie es menor que en el otro lado. Desde el de menor superficie, una pequeña fuerza y un largo recorrido, permiten desplazar al otro lado del circuito un objeto con una mayor fuerza durante un menor recorrido.

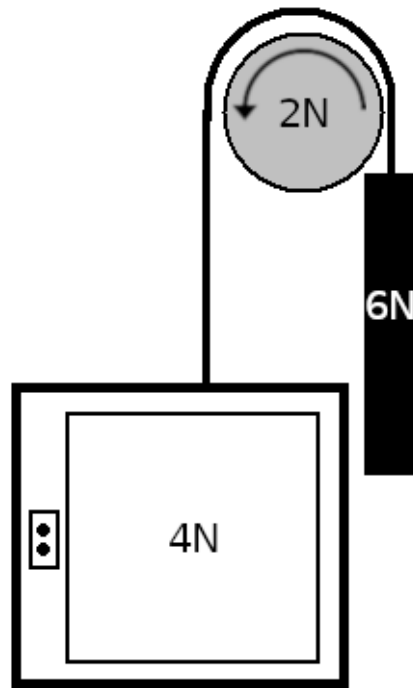


Figura 1: Funcionamiento de un sistema electromecánico.

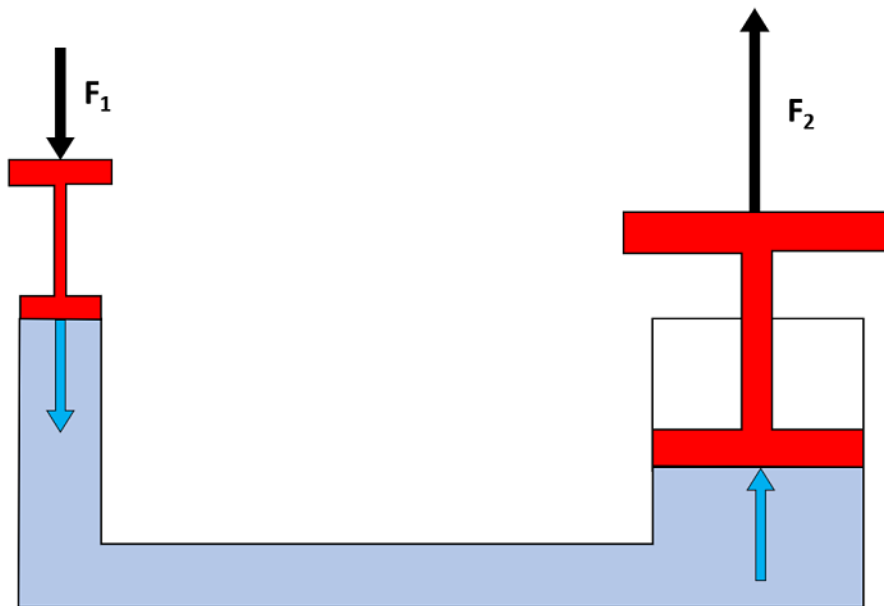


Figura 2: Funcionamiento de un sistema hidráulico con el principio de Pascal.

La grúa a diseñar no solo se desplaza en vertical sino también en horizontal, como se comenta anteriormente, pudiendo así colocar a los vehículos en las plazas de aparcamiento. Por el desplazamiento horizontal se toma la decisión de elegir el método que permite tener el centro de masas más bajo, ya que esto permite diseñar una estructura más ligera, liviana, evitar problemas de fatiga y rotura con los materiales y evitar posibles inestabilidades por tener centro de masas alto.

Por todas estas necesidades, se emplea para la grúa el sistema hidráulico, teniendo las ventajas de un centro de masas bajo, una menor masa de la estructura y un sistema empleado actualmente en la elevación de vehículos bastante experimentado. Por contra, las desventajas son, un mayor consumo energético y una menor velocidad de elevación.

3.4. Sistemas para monitoreo y botonera

Los sistemas para monitoreo y botonera solo son empleados para la presentación del sistema. Ambos hacen una acción al pulsar un botón, y se espera una reacción a visualizar en el monitor, por tanto están claramente relacionados entre si:

- Como sistemas de monitoreo se puede hacer uso de luces, altavoces, timbres, zumbadores, instrumentos de visualización de unidades o pantallas.
- Como sistema de botonera se pueden emplear pulsador, teclados, interruptor, temporizador, conmutador, potencímetro o sistemas táctiles.

Como solución por sencillez y coste económico se hace uso de una pantalla táctil, puesto que de esta forma se tiene tanto el sistema de interacción como de monitoreo.

3.5. Comunicaciones

Las comunicaciones entre los distintos elementos se realizan mediante cable unifilar conectando el sistema de control directamente con el accionamiento o detector. Por lo tanto, se van a tener en cuenta los sistemas de comunicación que permitan el funcionamiento por un solo cable:

- La conexión directa: Consiste en un sistema de dos valores donde un estado alto significa activado y un estado bajo inactivo, por lo tanto, necesita de una línea de comunicación por función o dispositivo. Es poco sensible a interferencias al funcionar entre 0-12 voltios.
- 1-Wire: Es un protocolo de comunicaciones en serie basado en un bus, un maestro y varios esclavos de una sola línea de datos en la que se alimentan, permitiendo el funcionamiento hasta 2^{48} dispositivos con una velocidad de 16,3 kbit/s y con una longitud máxima de 300 metros. Sufre un corte de 0,5 segundos aproximadamente cada vez que existe una interferencia o fallo de comunicación.
- El I²C: Está diseñado como un bus maestro-esclavo. La transferencia de datos es siempre inicializada por un maestro y el esclavo reacciona. Es posible tener varios maestros mediante un modo multimaestro, en el que se pueden comunicar dos maestros entre sí, de modo que uno de ellos trabaja como esclavo, hasta 127 nodos con una velocidad 5 Mbit/s, una longitud máxima de 7,6 metros y muy susceptible a interferencias.
- CAN: Es un protocolo de comunicaciones en un bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos ofreciendo alta inmunidad a las interferencias mediante el autodiagnóstico y la reparación de errores de datos, permitiendo hasta 128 nodos con una velocidad 50 kbit/s y con una longitud máxima de 1000 metros.

Por interferencias, sencillez y compatibilidad entre los dispositivos, se hace uso de la conexión directa entre el autómata programable y el resto de dispositivos.

4. Descripción detallada de la solución adoptada

Tras el estudio de las soluciones, el desarrollo de la grúa comienza en el diseño y planteamiento de su estructura mecánica. Posteriormente se tratarán los distintos sistemas de control, dispositivos, monitoreo... estudiados y a implantar en la grúa.

4.1. Elementos mecánicos

El funcionamiento de la grúa consiste en desplazar el vehículo de un lugar a otro. Para lograr esto, se han diseñado varios elementos mecánicos citados a continuación.

4.1.1. Plancha

La plancha es donde posa el usuario su vehículo para ser transportado de forma segura. Esta es una lámina con una hendidura a un lado de la parte superior para ayudar al usuario a colocar el vehículo sobre la plancha. Bajo, en el centro de la parte inferior, tiene una cremallera en forma de sierra, empleada por el puente de la grúa para recoger y dejar la plancha en el lugar deseado.

4.1.2. Puente

El puente es una estructura con forma de 'H' encargada de cargar y descargar la plancha de la grúa. La forma de 'H' es debido a que en las partes exteriores, denominadas brazos, es donde se posa la plancha, obteniendo este parecido desde el alzado. Para reducir la fricción y la energía para desplazar la plancha sobre el puente se emplean rodamientos a lo largo de los brazos. En la parte central se encuentra una cadena que gira alrededor del puente gracias a unos piñones, tensores y máquina eléctrica, esta se denomina cadena del puente.

Cadena del puente: Se engancha a la cremallera en la parte central se encuentra una cadena que gira alrededor del puente gracias a unos piñones, tensores y máquina eléctrica. Esta cadena se engancha en la cremallera de la plancha para arrastrar y desplazar la plancha encima o fuera del puente. La cadena se extiende un poco sobrepasando el tamaño de la grúa, así puede engancharse desde el primer momento a un lado de la parte inferior de la plancha en el lugar que se encuentra la plancha. Esto es gracias a un pistón electrónico que se extiende en el momento de desplazamiento de la plancha y se contrae cuando se mueve el conjunto de la grúa, pudiendo variar así la longitud de actuación de la cadena.

4.1.3. Tren

El tren es la estructura base que soporta la masa del resto de elementos y componentes que además tiene los dispositivos para activar la grúa, permitiendo controlar la posición tanto vertical como horizontal.

El tren esta formado por dos pilares huecos con forma de C conectados por un túnel que permite distanciarlos a una distancia determinada y salvaguardar el cableado indistintamente de su tipo. El tren esta enlazado con el puente de dos formas: colgado al puente mediante cables de acero y sosteniendo con pistones hidráulicos para desplazar el puente verticalmente.

Estos elementos interaccionan entre sí mediante:

Cables de acero y poleas: El sistema de cables de acero usa como apoyo y movilidad poleas para ayudar al puente a mantener la estabilidad y comunicar el puente y el tren. Las poleas se encuentran a ambos extremos a lo largo del pilar, de forma que hay dos poleas en cada extremo superior y cuatro poleas en los extremos inferiores. El cable empieza estando sujeto en la parte superior del puente en el enganche. Una vez enganchado, recorre el pilar hasta la polea de la parte superior del pilar para, ahí, dar media vuelta y bajar hasta la posición inferior del pilar, donde da un cuarto de vuelta pasando por el túnel al pilar opuesto, en la cual, de nuevo da un cuarto de vuelta hasta la parte inferior del puente para ser atado de nuevo.

Cilindros hidráulicos telescópicos: Para la elevación del puente respecto al tren se hace uso de cilindros hidráulicos telescópicos ubicados en el interior de cada pilar. El extremo inferior de los cilindros está fijado al tren por la parte inferior e interior del pilar. El extremo superior del cilindro tiene un piñón.

Cadena del pilar: Esta cadena parte desde el inferior e interior del pilar y asciende hasta los piñones, los cuales se encuentran en los cilindros, dando media vuelta hasta unirse con el puente.

Barras de sujeción: Cada pilar del tren está apoyado por dos barras de sujeción hasta los dos metros de altura dando más rigidez a la estructura para permitir iniciar la elevación del puente antes de llegar al destino, dada la escasa velocidad de elevación por el sistema hidráulico. Mirando desde el alzado, también se puede observar la forma de 'H' que tiene esta estructura, en este caso, los pies se encuentran en la parte inferior de los pilares para mantener la estabilidad de toda la grúa.

Ruedas y raíles: El tren se desplaza horizontalmente a través de unas ruedas que se encuentran en los extremos de los pies, haciendo contacto con raíles, para permitir el desplazamiento como si fuese lineal.

4.2. Elementos de control y acción

En este punto se explica como se relacionan estos elementos de control y comunicación con el resto de elementos que requieren de electricidad.

4.2.1. Control

Se emplea un autómata programable para la activación de accionamientos, recolección de datos de los sensores y como centro de cálculo con la ayuda de variador

de frecuencia para controlar todo el sistema. El autómata programable se encuentra instalado en la base del tren, junto a los dos elementos de mayor potencia. El autómata programable dispone de la cantidad de puertos de entrada suficientes para abastecer a todos los dispositivos, con una capacidad de cálculo sobrada para mantener bajo control el estado, actuación y situación de todo el conjunto.

Otro elemento de control empleado específicamente para máquinas eléctricas es el variador de frecuencia, que maneja las máquinas eléctricas directamente a través de la alimentación eléctrica que reciben estos componentes. Los variadores de frecuencia están conectados lo más próximo a las máquinas eléctricas para evitar en mayor medida las pérdidas eléctricas producidas por la longitud del cobre del cable eléctrico.

4.2.2. Comunicación

La comunicación con el resto de componentes se realiza mediante conexión directa con cable unifilar en un sistema de envío y respuesta en dos valores de estado, alto y bajo. Esta comunicación se hace mediante maestro-esclavo, siendo maestro el autómata programable y encontrándose en el rol de esclavo el resto de componentes.

El autómata programable tiene puertos de entrada y salida. En los puertos de entrada es donde recibe la señal de los detectores, mientras que en los puertos de salida envía la señal de activación de los dispositivos, estos pueden ser accionamientos, convertidores de frecuencia y sistema hidráulico.

El autómata programable y el resto de elementos están conectados físicamente por un cable para cada elemento que funciona como esclavo, por tanto, el autómata programable tiene tantos cables de comunicación como dispositivos que requieren comunicarse con él.

4.2.3. Elementos electromecánicos

Máquinas eléctricas: A los pies de la grúa, se encuentran las máquinas eléctricas que mueven horizontalmente la grúa, dando la transmisión del movimiento a las ruedas que posee para lograr este fin, y junto con ellas, el variador de frecuencia pertinente. En la parte inferior del puente se encuentra la máquina eléctrica con su correspondiente variador de frecuencia para permitir la carga y descarga de la plancha.

Accionamiento hidráulico: En la parte inferior de un pilar se encuentra el sistema hidráulico de circuito genérico especializado en elevadores, el cual está conectado directamente a los cilindros telescópicos, completando y cerrando así el circuito hidráulico. Este sistema es el encargado de elevar y descender el puente con los elementos que tenga cargados según sea ordenado por el autómata programable.

Detectores: Los detectores se encuentran ambos en el puente, uno para saber si la plancha se encuentra correctamente ubicada en el puente y el otro detector para conocer a que altura y posición horizontal se encuentra el puente.

4.3. Monitoreo

El monitoreo solo se emplea para la presentación y exposición de la maqueta del sistema, la cual se emplea directamente mediante el uso de pantalla táctil.

5. Justificación detallada de los elementos o componentes de la solución adoptada.

La construcción de la grúa incluye la mecánica de la estructura, los accionamientos electromecánicos, para el desplazamiento tanto de la estructura como del vehículo: los sensores y controladores, junto con su configuración al panel de visualización del estado y la interacción con el usuario.

5.1. Estructura mecánica

La estructura mecánica de la grúa está dividida en tres partes móviles: plancha, puente y tren.

- La plancha es una estructura plana donde se posan los vehículos para poder transportarlos de forma segura.
- El puente es una estructura con forma de 'H' encargada de poner a la altura adecuada la plancha y cargar y descargar la plancha.
- El tren es la estructura base que soporta la masa del resto de elementos y componentes que además tiene los dispositivos para activar la grúa, permitiendo controlar la posición tanto vertical como horizontal.

La estructura mecánica de la grúa se observa completamente en la figura 3. Todos los componentes mecánicos de la estructura fueron diseñados y ensayados como banco de pruebas con la aplicación Solidworks de licencia universitaria.

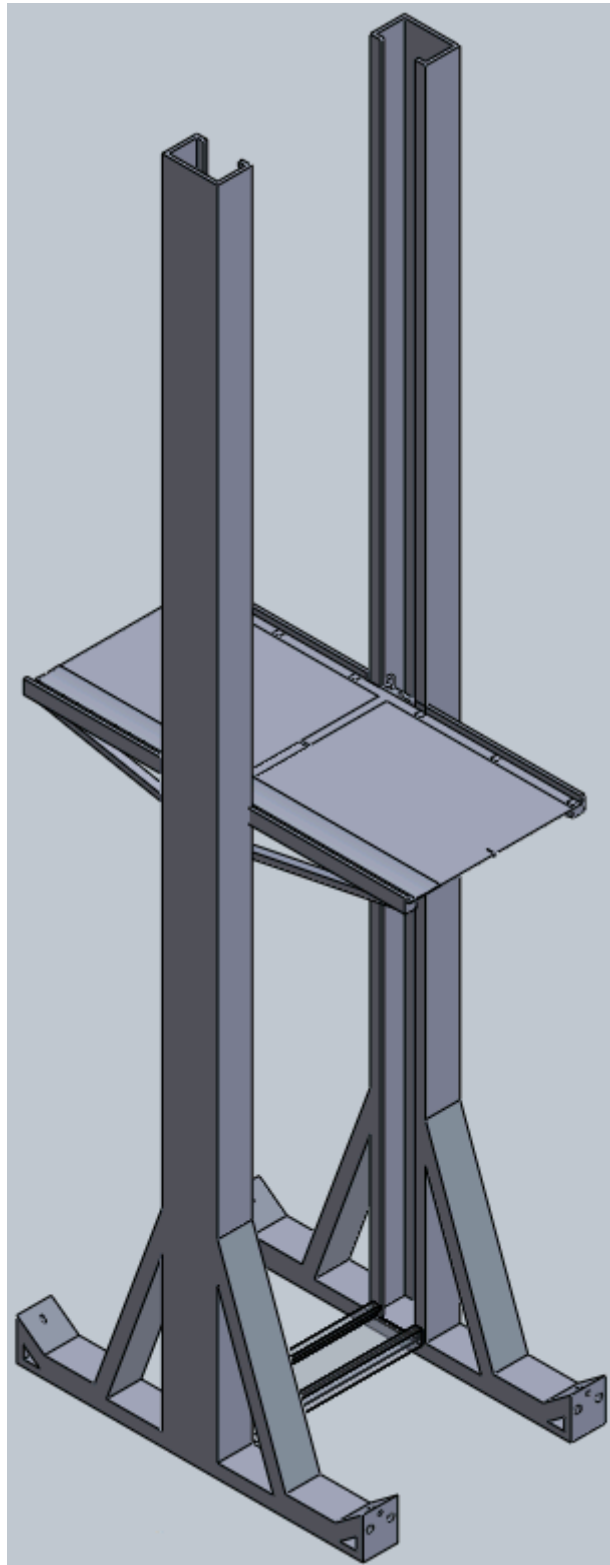


Figura 3: Estructura de la grúa con las distintas partes juntas.

5.1.1. Plancha

La plancha (figura 4) es una estructura plana donde se posan los vehículos con el fin de ser transportados de forma segura.

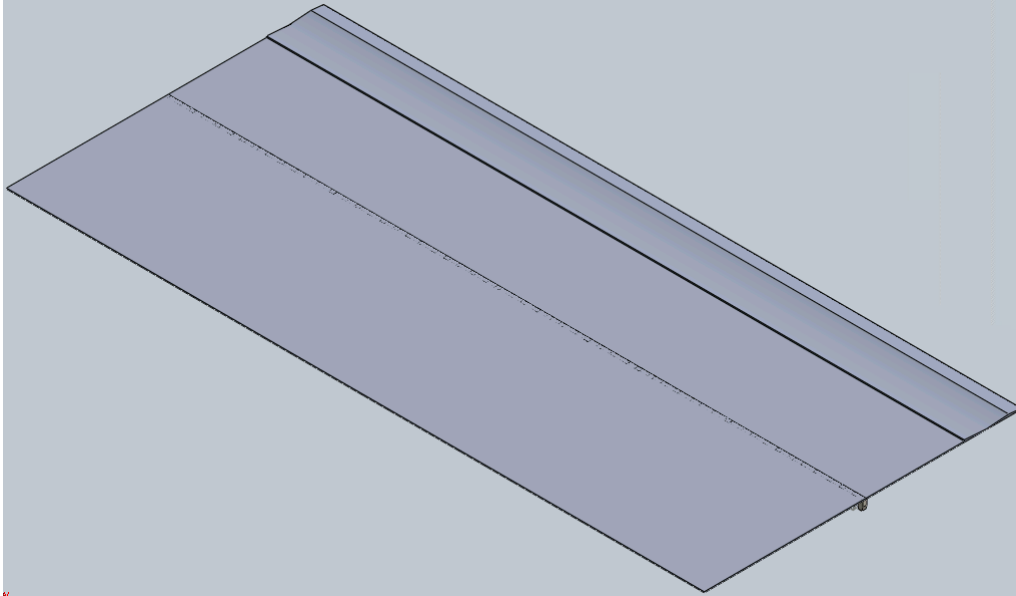


Figura 4: Plancha donde se posan los vehículos para su posterior transporte.

Las dimensiones de la plancha son de 2,5 metros de ancho por 5,5 metros de largo (figura 5), respetando así las dimensiones máximas de los vehículos soportados.

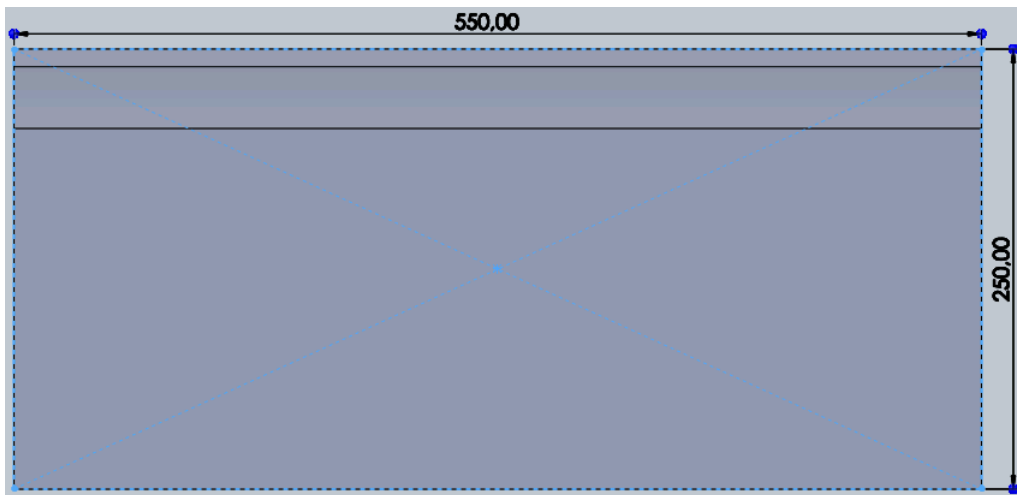


Figura 5: Plancha vista desde planta.

En la vista de alzado de la figura 6 se observa en el centro inferior la cremallera de una anchura de 3,2 centímetros para permitir que la plancha tenga dos posiciones de acceso en la grúa. También se puede observar que la plancha consiste en una lámina de 0,7 centímetros de grosor con un punto de mayor grosor a un lado superior y con una curvatura.

La curvatura que se encuentra a un lado superior se emplea para que el vehículo sea depositado sin error de forma coincidente sobre la plataforma como se ve en

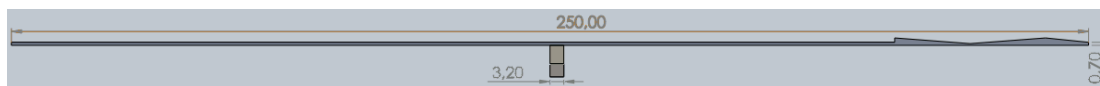


Figura 6: Plancha vista desde alzado.

la figura 7, estando a una distancia alejada suficiente para permitir el paso de un retrovisor desplegado entre la rueda y el borde de la plancha, unos 20 centímetros aproximadamente. Esta curvatura añade un grosor de 1 centímetro respecto el grosor de la base de la plancha, creando una inclinación desde el borde con un grosor de 0,7 centímetros durante 10 centímetros hasta conseguir un grosor total de 1,7 centímetros, evitando de esta forma geométrica un punto crítico de rotura. A partir de conseguir los 1,7 centímetros de grosor se crea una curvatura durante 35 centímetros quedando el menor grosor existente en la plancha de 0,5 centímetros, o lo que es lo mismo, una diferencia entre el mayor grosor y el menor grosor de 1,2 centímetros.

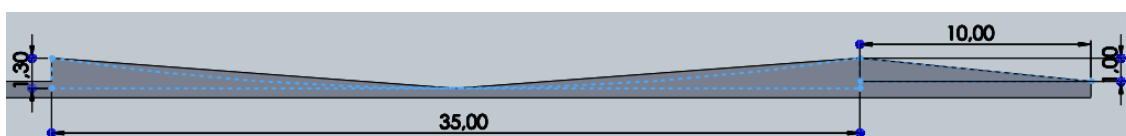


Figura 7: Lado de la plancha ampliado.

En la figura 8 se observa la cota de la cremallera en la parte inferior para permitir a la plancha ser cargada y descargada de la grúa. La sierra que emplea es de paso diametral de 4, ángulo de presión de 20 grados, anchura de cara de 3,2 centímetros y altura de paso de 0,7 centímetros según la normativa ANSI.

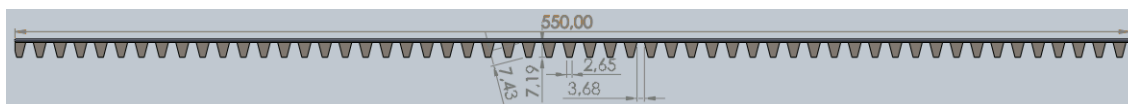


Figura 8: Plancha vista desde perfil.

El material de la plancha se ha buscado que sea el más liviano y ligero pero con gran resistencia de carga respecto otros materiales resistentes, ya que esto permitirá en un futuro un ahorro energético y de potencia en las piezas de elevación y desplazamiento. Por tanto, el material elegido es aluminio 1060-H18. Configurado en la aplicación de simulación de carga a través de la tensión de Von Mises y criterio de fallo elástico, muestra las siguientes características:

- Masa: 274,688 kg
- Volumen: 0,101548m³
- Peso: 2691,94N

Haciendo pasar a la plancha por una simulación de estrés para comprobar si es capaz de soportar un vehículo de 3500kg o una fuerza de 34300N, se observa el factor de seguridad de la plancha es de 1,39 superando la tensión de Von Mises y criterio de fallo elástico, Esto se representa de forma gráfica en la figura 9.

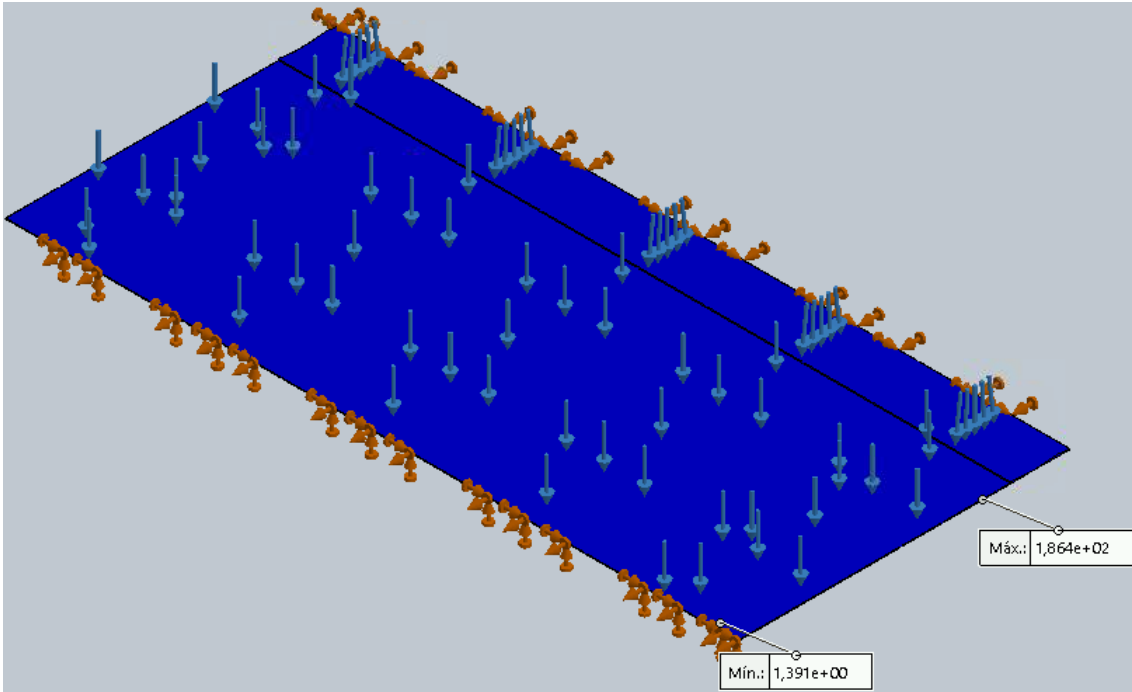


Figura 9: Punto crítico y valores de la plancha.

5.1.2. Puente

El puente (figura 10) es una estructura con forma de 'H' con movilidad vertical encargada de cargar y descargar la plancha de la grúa.

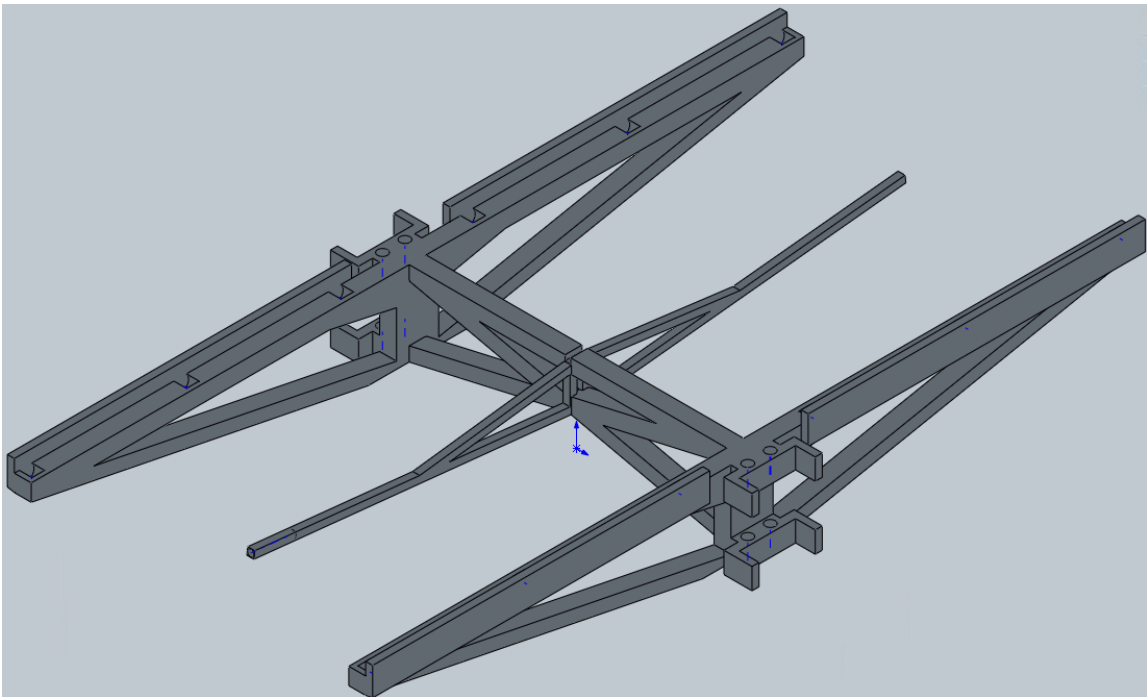


Figura 10: Puente donde se posa encima plancha.

Se describen los distintos elementos que forman el puente por separado:

1. Estructura central El diseño del puente empieza con la estructura central definiendo la longitud de la pieza con 2,5 metros, como la anchura máxima soportada del vehículo, partiendo con un pilar puesto de forma horizontal de 10 centímetros de ancho. A ambos lados, se ubican pilares de 60 centímetros con una anchura de 12 centímetros. El pilar horizontal de la estructura central dispone de una muesca en el centro para que tenga paso la cremallera de la plancha junto la cadena que la mueve con 2 centímetros de ancho y 3,7 centímetros de alto. Para dotar de una mayor rigidez a la estructura, los pilares de los lados están conectadas las puntas con las opuestas del pilar contrario con dos arcos creando una forma de 'X', dejando en el centro un punto de compartimento entre las barras de 50 centímetros de ancho y 10 centímetros de alto. Todos estos valores se encuentran en la figura 11 reflejados correctamente en cada parte del centro, teniendo un grosor de la pieza mostrada de 12 centímetros como se puede ver en la figura 12.

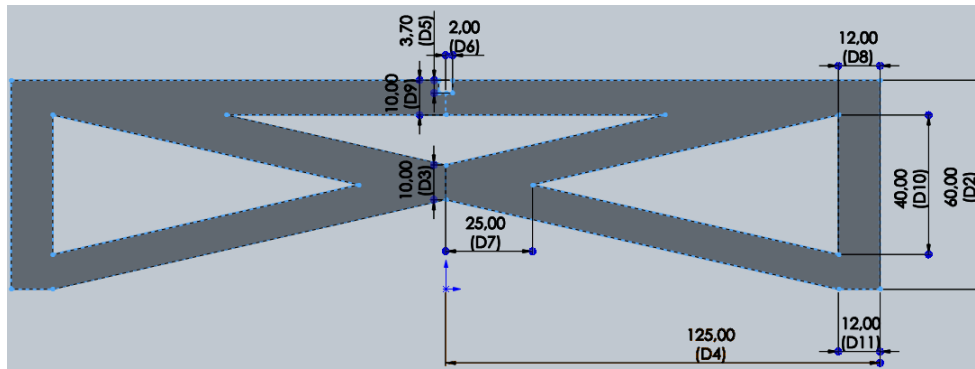


Figura 11: Centro del puente vista desde alzado.

2. Guía de cadena El puente dispone de una cadena alrededor para el transporte de la plancha sobre el puente. Para permitir esto, se elabora una estructura permitiendo poner la cadena tensa y horizontal para una mayor tracción con la plancha. Esta estructura consta una barra de 2,3 metros de longitud, teniendo en cuenta la longitud del centro del puente y el pistón electrónico que se ubica en el extremo contrario. Esta barra parte desde la zona inferior del centro con un ángulo de 6 grados para que la otra punta de la barra pueda tener la cadena lo más horizontal posible. Para evitar el momento flector de esta barra, se pone otra barra desde la estructura central hasta el centro de la barra, otorgando resistencia a la barra principal. Todas estas barras con de 5 centímetros de grosor y se ponen a ambas partes del centro de la estructura del puente, visualizando todas las medidas de la guía de la cadena en la figura 13.

3. El enganche El enganche es el punto que conecta el puente con el tren, permitiendo estabilizar el tren en todo momento en el desplazamiento vertical del puente conectando un lado del puente con el otro. El diseño está pensado en cumplir dos objetivos: el paso de cable acerado para hacer la unión con el tren y crear el efecto guía entre el puente y el tren. Para el paso de cable acerado se deja un agujero de 7 centímetros suficiente para el paso de cables M6 o inferior en una pieza cuadrada

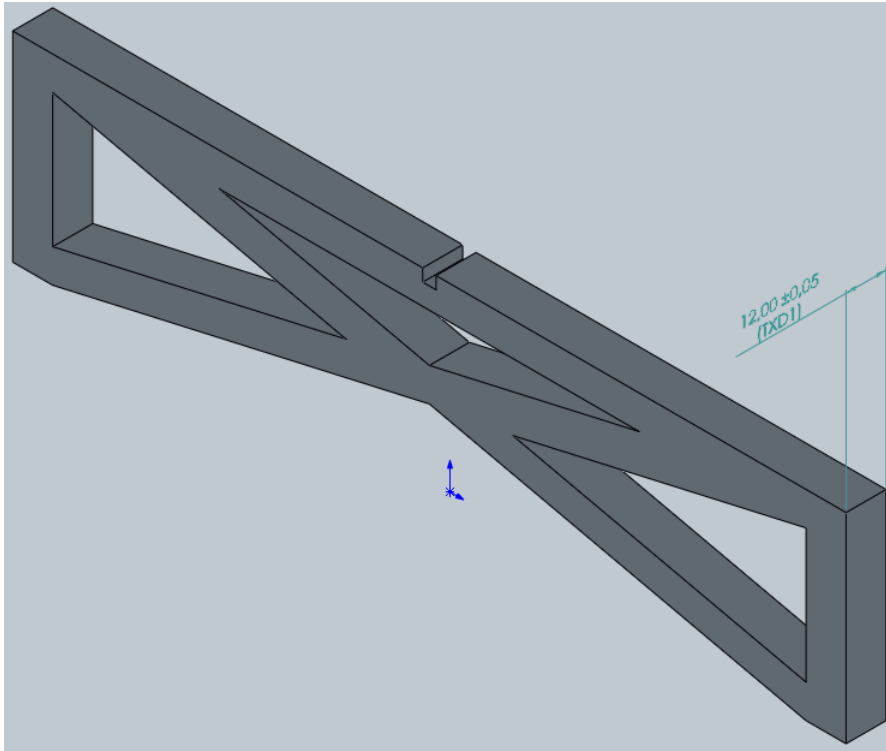


Figura 12: Centro del puente vista completa.

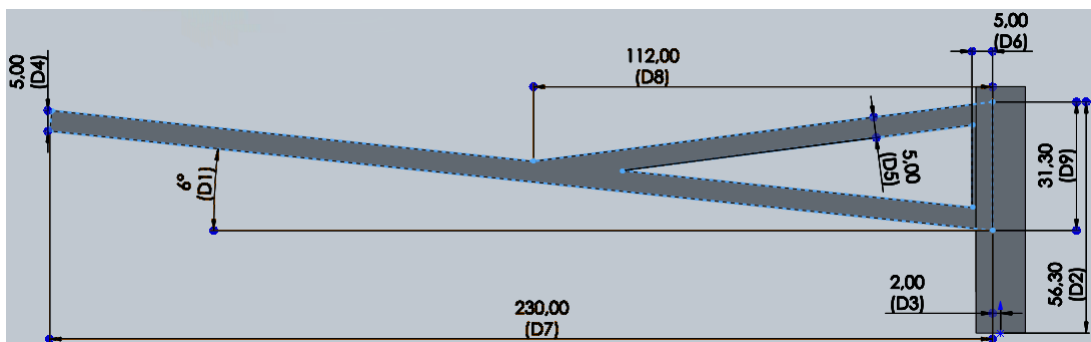


Figura 13: Un punto de tracción del puente vista desde perfil.

de 11x15 centímetros, ya que esos son capaces de soportar correctamente la carga total. Para el efecto guía se establece una pieza con forma de L que se pondrá dentro de los pilares que tienen el tren, donde la parte larga es de 20 centímetros de largo y 5 centímetros de ancho y la parte corta de 10 centímetros de largo y 6 centímetros de ancho. Como apoyo de guía y principio de brazos se establece una pieza rectangular de 29x12 centímetros. Todas estas partes de la estructura se pueden observar conjuntamente en la figura 14 como interaccionan unas con otras para dar forma a esta parte del puente, teniendo todas ellas una altura de 15 centímetros.

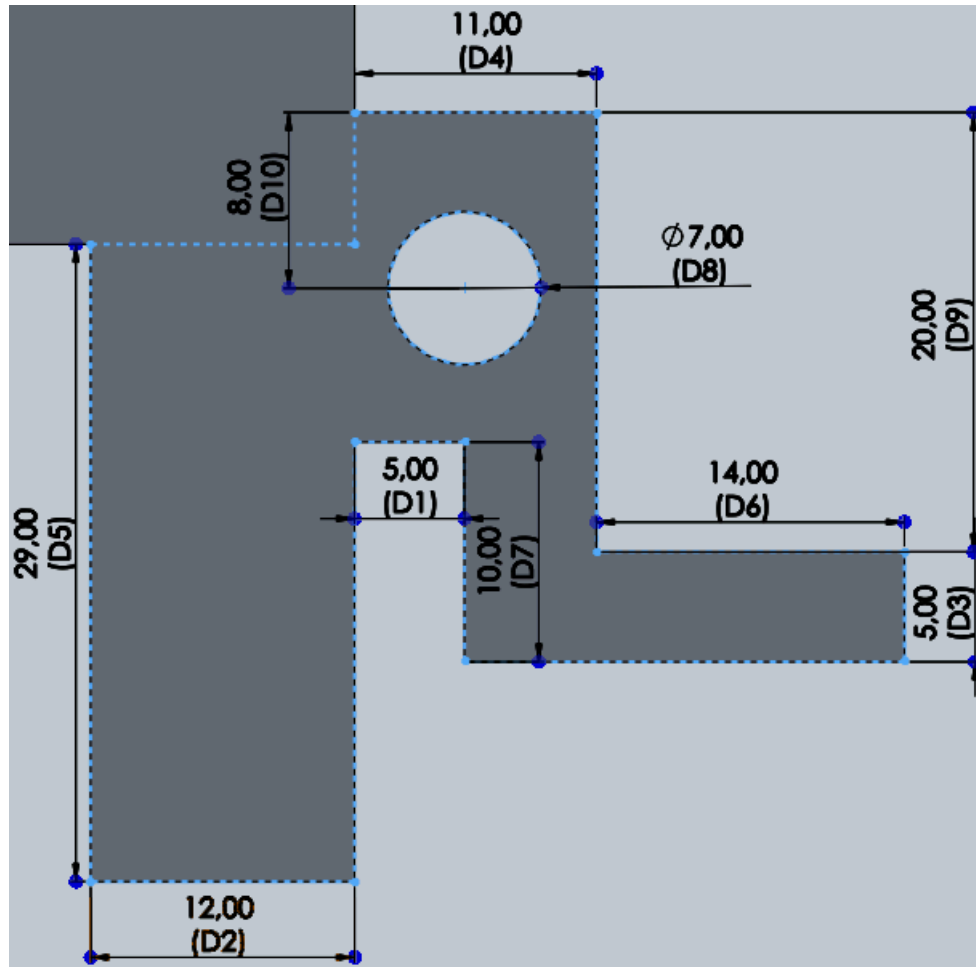


Figura 14: Un enganche del puente vista desde planta.

4. Los brazos El diseño de los brazos parte desde dos planos, extendiéndose desde la figura 15 hasta la figura 16. Se puede observar la figura 15 de partida coincide con la anchura del enganche con 12 centímetros y la altura del centro con 60 centímetros teniendo una parte extra que es lo que hace de guía para ayudar a que la plancha no se salga del puente. Esta guía sobresale a un lado con una altura de 9 centímetros, 5 centímetros de ancho, cayendo después 20 centímetros hasta volver de nuevo al brazo con un ángulo de 260 grados. La diferencia entre el punto de partida y final es la altura, que varía desde 60 centímetros hasta 11,98 centímetros del punto final durante 240 centímetros.

Cada brazo dispone de tres huecos cilíndricos (figura 17) para la introducción de rodamientos en su interior y de esta forma facilitar el desplazamiento de la plancha

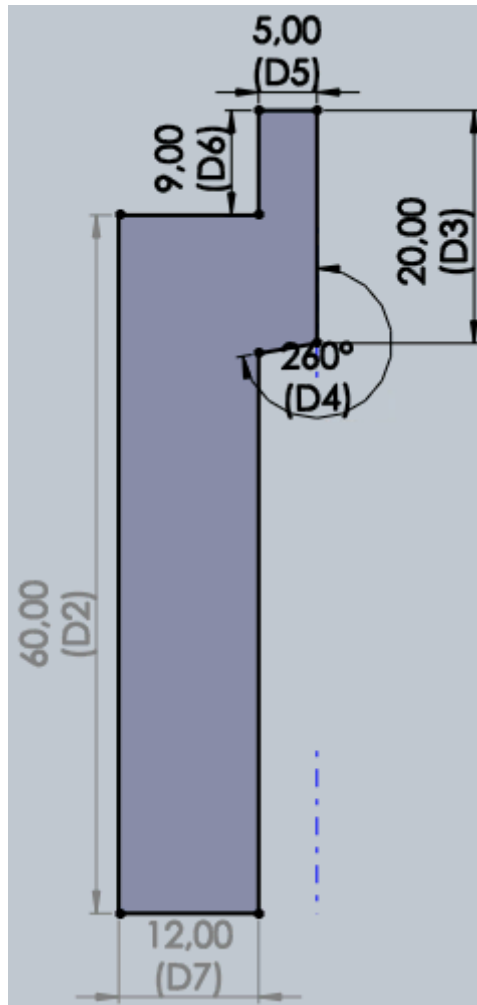


Figura 15: Plano inicial del tamaño del brazo cuando se encuentra cerca del centro del puente.

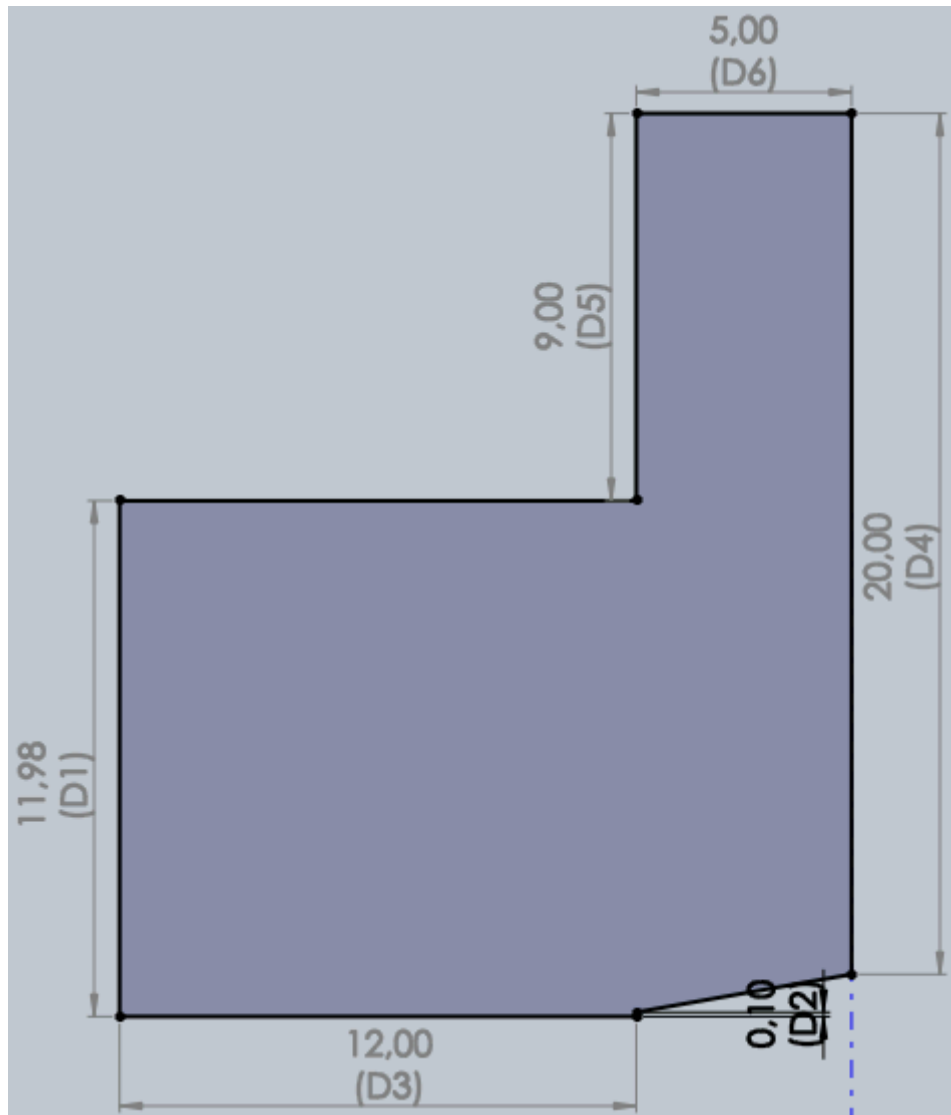


Figura 16: Plano final del tamaño del brazo cuando se encuentra alejado del centro del puente.

en la superficie del puente. Estos huecos se encuentran en la parte superior del brazo, teniendo una separación entre los huecos de 1,1 metros de distancia con un radio de cada hueco de 6 centímetros.

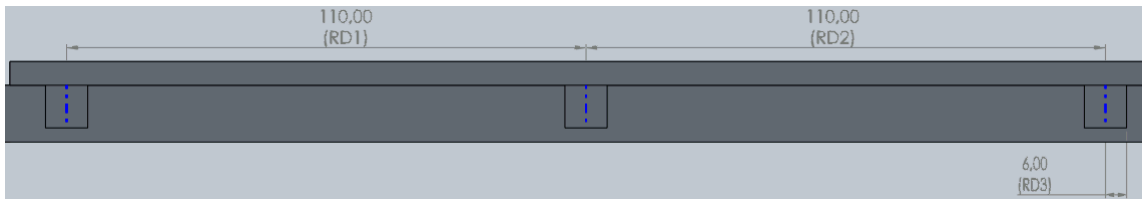


Figura 17: Un brazo del puente vista desde planta con los huecos cilíndricos.

Para crear el puente un poco más ligero, los brazos disponen de un hueco (figura 18) con forma trapezoidal y dos lados perpendiculares entre si, siendo un lado perpendicular de 168 centímetros y el otro lado de 33 centímetros estando ubicado a 21 centímetros del centro y empezando desde la parte superior a partir de los 22 centímetros.

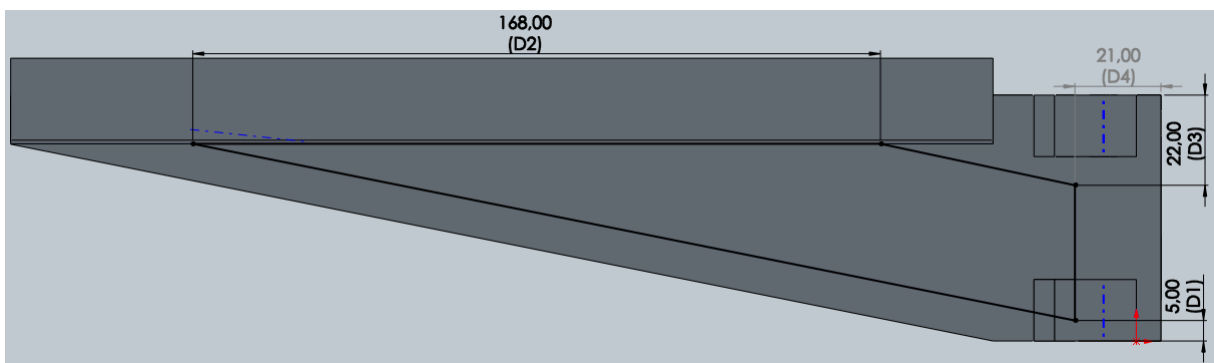


Figura 18: Hueco que se encuentra bajo del brazo del puente.

Con todo esto, las dimensiones completas de la plancha se quedan en un largo de 5,5 metros, ancho 3 metros y altura de 60 centímetros obteniendo el resultado que se muestra en la figura 19.

El material del puente, de la misma manera que el de la plancha, se ha buscado que sea el más liviano y ligero con gran resistencia de carga respecto los materiales resistentes. Ya que esto permitirá en un futuro un ahorro energético y de potencia en las piezas de elevación y desplazamiento. Por tanto, el material elegido es aluminio 1060-H18, siendo el material que mejor se ajusta a las necesidades especificadas. Configurado en la aplicación de simulación de carga a través de la tensión de Von Mises y criterio de fallo elástico, muestra las siguientes características:

- Masa: 1388,19 kg
- Volumen: 0,513195m³
- Peso: 13604,3N

Al hacer pasar al puente por una simulación de estrés para comprobar si es capaz de soportar una plancha con un vehículo de 3500kg más un peso estimado de distintos elementos (como accionamientos, cadena y sensores). Se observa que el

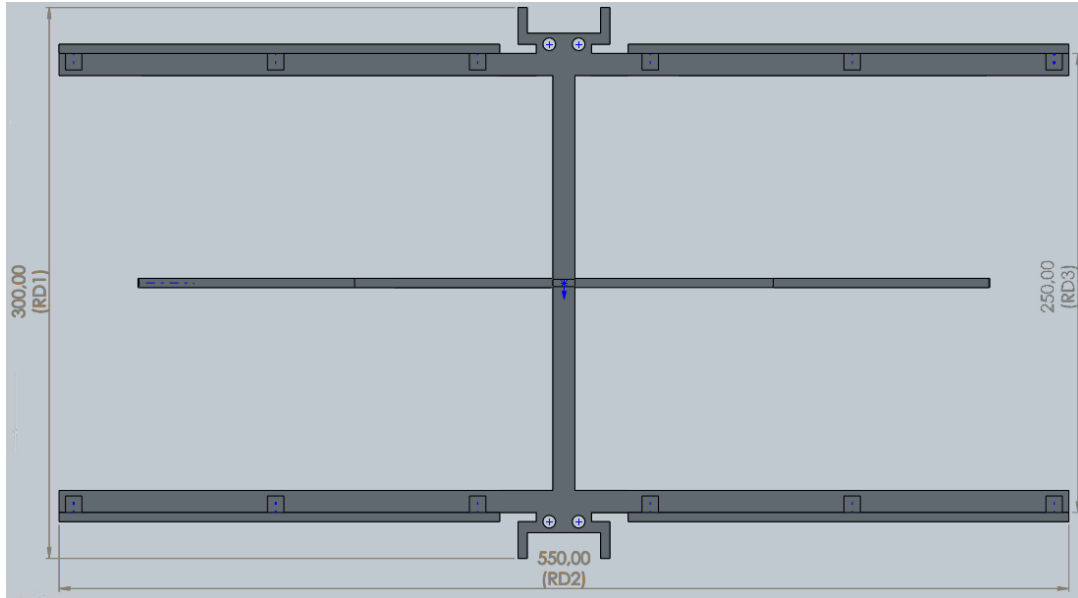


Figura 19: Puente vista desde planta.

peso total obtenido es de 4000kg y la fuerza de 39200N, y se aprecia el punto crítico del puente con mayor tensión, con un sobre valor de 1,119 superando la tensión de Von Mises y criterio de fallo elástico. Esto se representa de forma gráfica en la figura 20.

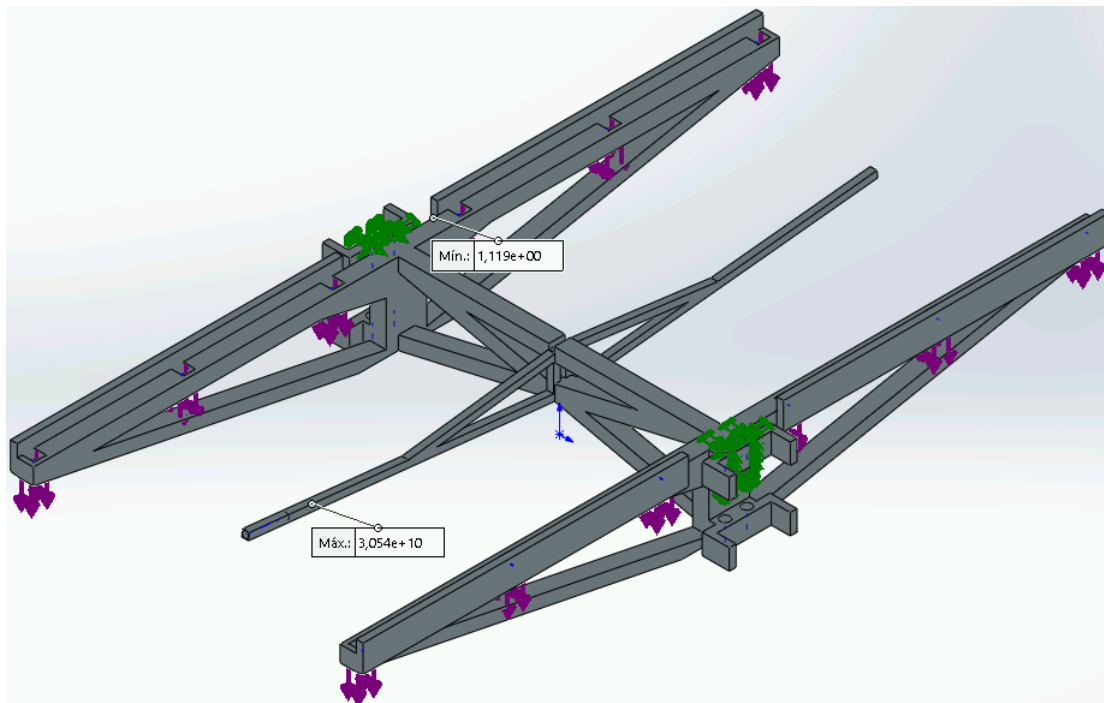


Figura 20: Punto crítico y valores del puente.

5.1.3. Tren

El tren (figura 21) es la estructura encargada de desplazarse horizontalmente mientras sustenta el puente para transportar el vehículo pudiendo moverlo verticalmente. El tren está compuesto por dos pilares, idénticos y simétricos, y por un túnel de comunicación que las une:

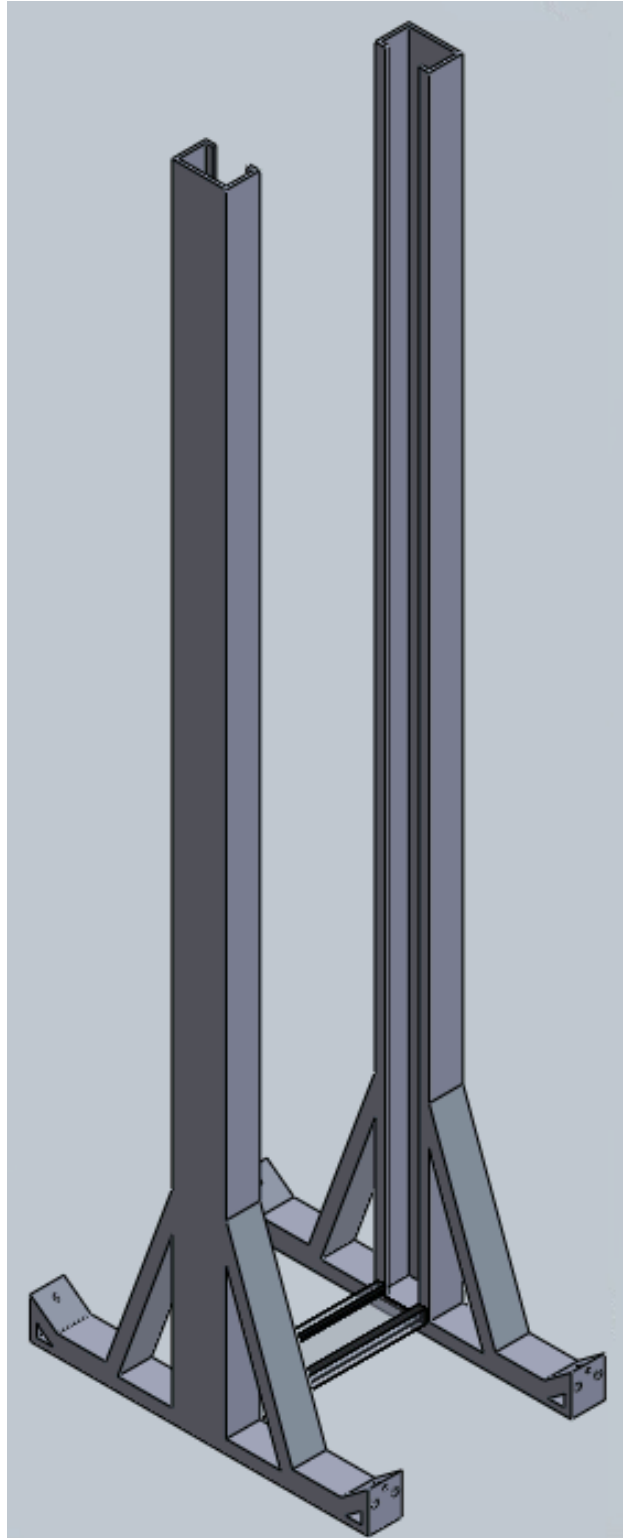


Figura 21: Tren que cargará con el resto de componentes.

1. Pilares Los pilares soportan el peso del resto de componentes mecánicos, accionamientos y sensores. Cada pilar está formado por una barra central con forma de 'C' de un grosor de 5 centímetros, teniendo una anchura de 80 centímetros por la parte externa y 70 centímetros en la parte interna. Siendo su profundidad externa de 50 centímetros y profundidad interna de 40 centímetros, con una altura de 16 metros, como se ve en la figura 22.



Figura 22: Pilar con forma de 'C'.

Como se muestra en la figura 23, el pilar se encuentra sobre una barra horizontal de 5 metros con 20 centímetros como mínimo de alto. Sustentando el pilar con otros dos pilares a cada lado, inclinados hasta los 3 metros de altura y 20 centímetros de ancho, empezando desde los 112 centímetros desde el borde para permitir soportar mejor la carga, evitando el efecto flector del pilar horizontal principal. En el borde tiene una forma de triángulo con 60 centímetros de altura bajando en una pendiente durante 40 centímetros hasta llegar a los 30 centímetros de altura. Las zonas que se encuentran en el ángulo recto son de 10 centímetros de ancho y en el lado opuesto del ángulo recto el grosor es de 20 centímetros. Pasados los centímetros del triángulo, los siguientes 72 centímetros tienen una altura de 30 centímetros hasta el pilar inclinado de soporte. Todos los datos de la base del pilar se encuentra en la figura 24.

Cada pilar dispone de cuatro ruedas, ubicadas a cada lado, dos de ellas, una en cada orificio. Los orificios para las ruedas tienen 5 centímetros de radio y se encuentran a 15 centímetros del centro y a 17 centímetros de altura desde la base del pilar horizontal. En el centro, a 30 centímetros, tiene otro agujero de 2,5 centímetros para el paso del eje del motor. Todo esto se observa en la figura 25, permitiendo desplazar la plataforma de forma lineal horizontal.

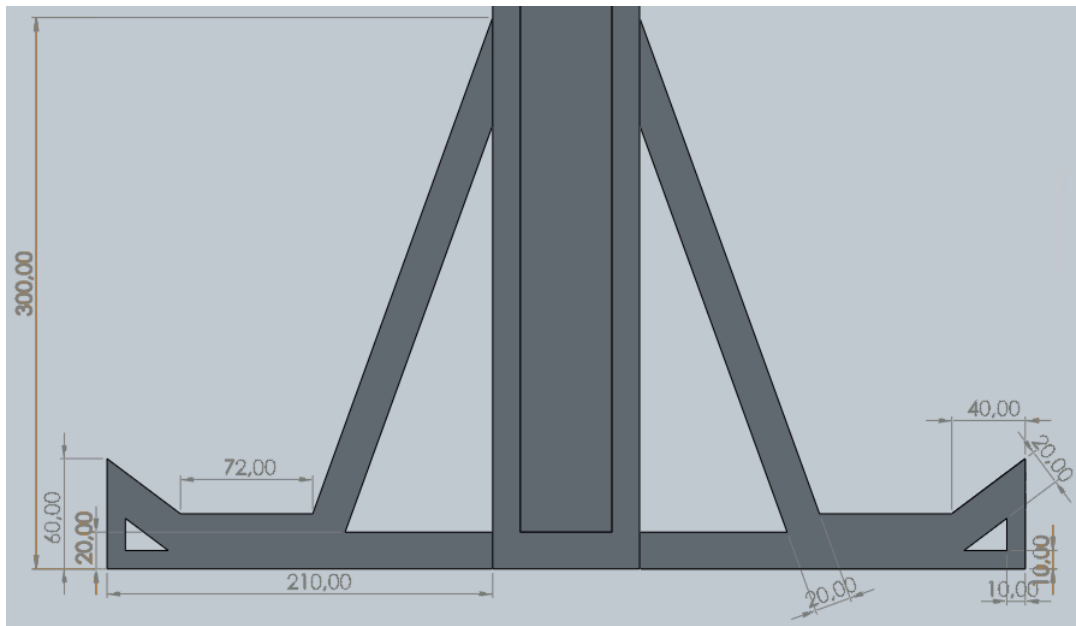


Figura 23: Ampliación de la parte inferior de la pilar.

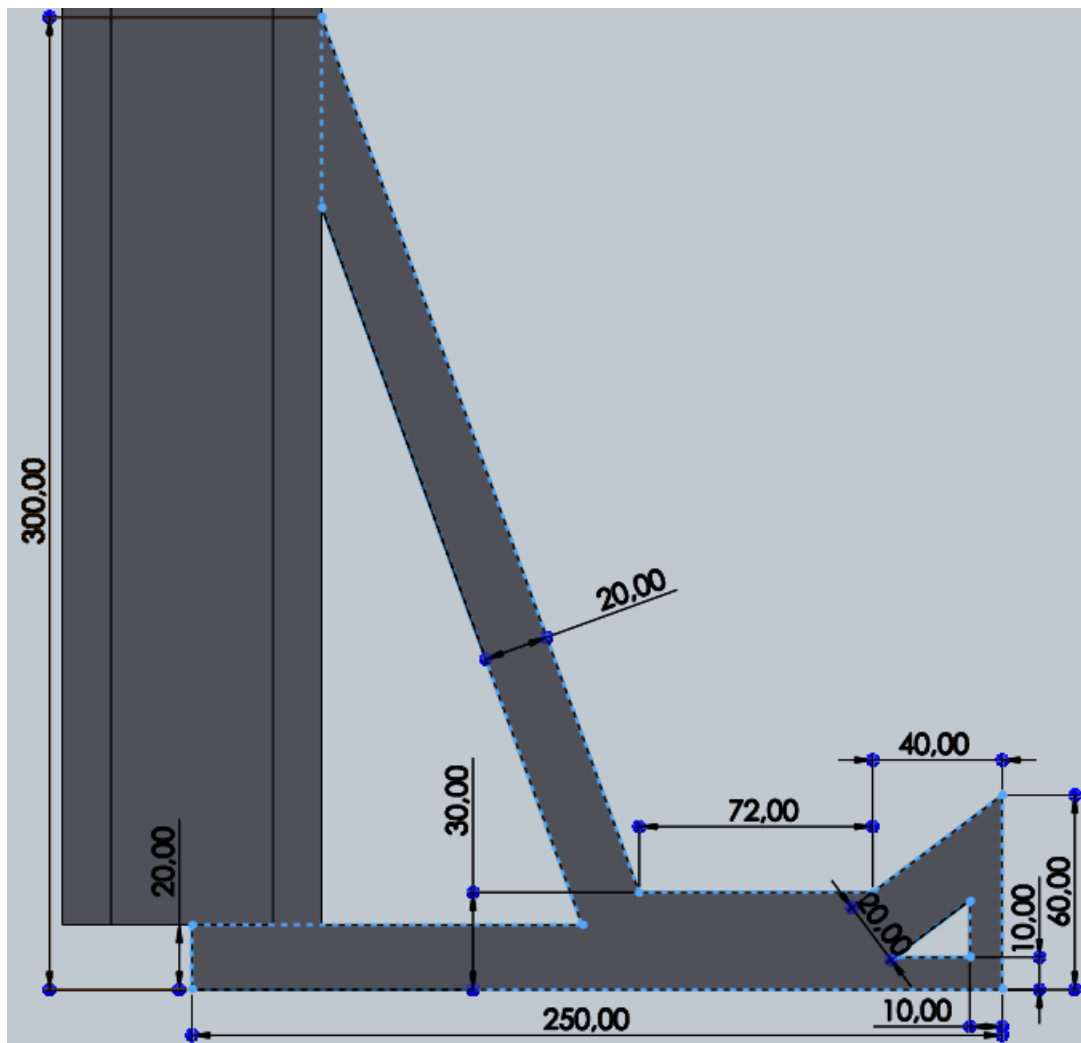


Figura 24: Ampliación de la parte inferior de la pilar.

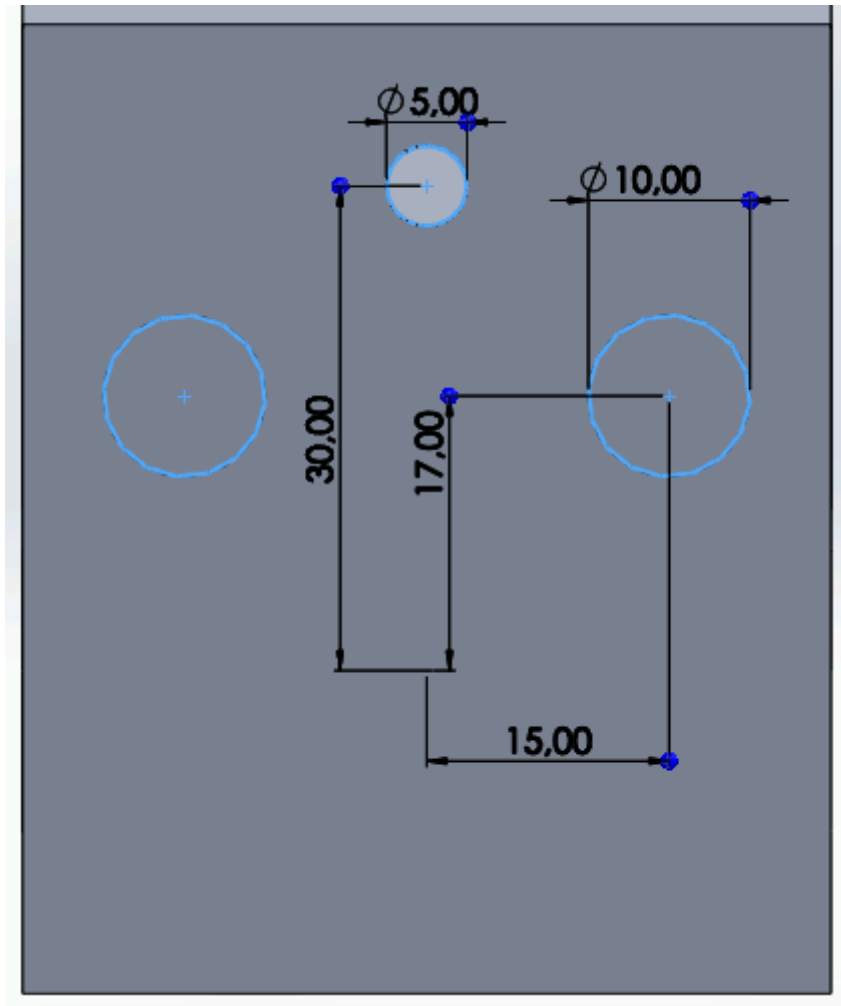


Figura 25: Orificios donde se posicionan las ruedas.

2. Túnel El túnel consiste en una barra con forma de 'C' de un grosor de 5 centímetros, teniendo una anchura de 70 centímetros por la parte externa y 60 centímetros en la parte interna, la altura externa es de 10 centímetros y la altura interna de 20 centímetros, ubicada en la zona inferior de cada pilar con 2,5 metros de ancho, igual que la plancha. Todas estas mediciones se observan en la figura 26.

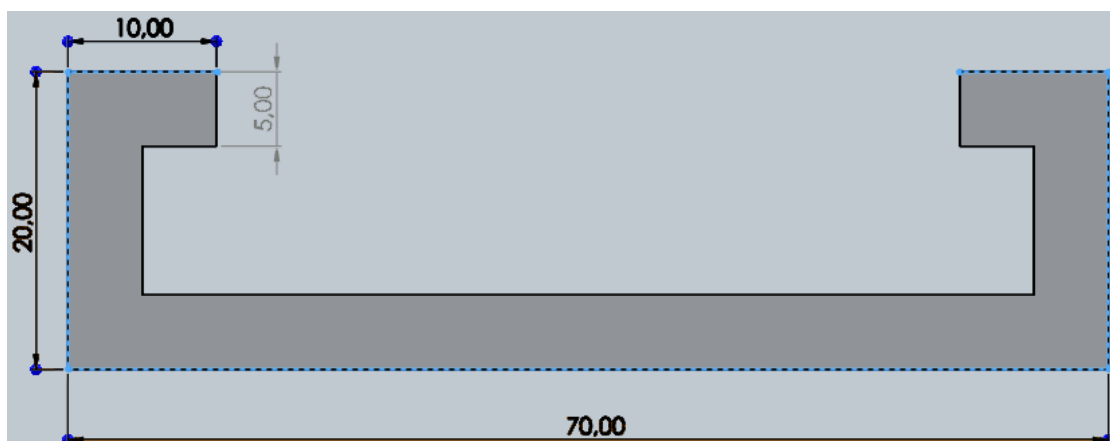


Figura 26: Túnel que con forma de 'C' que conecta ambas pilares.

Estrés: En cuanto al estrés, el material elegido se busca que sea barato y que permita compensar la diferencia de coste de la plancha y el puente, debido al material elegido en estas piezas. Por tanto, el material escogido es acero aleado, dado que permite respetar el precio del material en comparación con la resistencia ofrecida. Configurado en la aplicación de simulación de carga a través de la tensión de Von Mises y criterio de fallo elástico, muestra las siguientes características:

- Masa: 19663,6 kg
- Volumen: 2,55372m³
- Peso: 192704N

Haciendo pasar al tren por una simulación de estrés para comprobar si es capaz de soportar todos los componentes anteriormente comentados, los cuales hacen que el peso total obtenido sea de 6000kg aproximadamente o una fuerza de 59000N. Se observa que el punto crítico del puente, con la mayor tensión, tiene un sobre valor de 76,54, superando la tensión de Von Mises y criterio de fallo elástico. Esto se observa de manera gráfica en la figura 27.

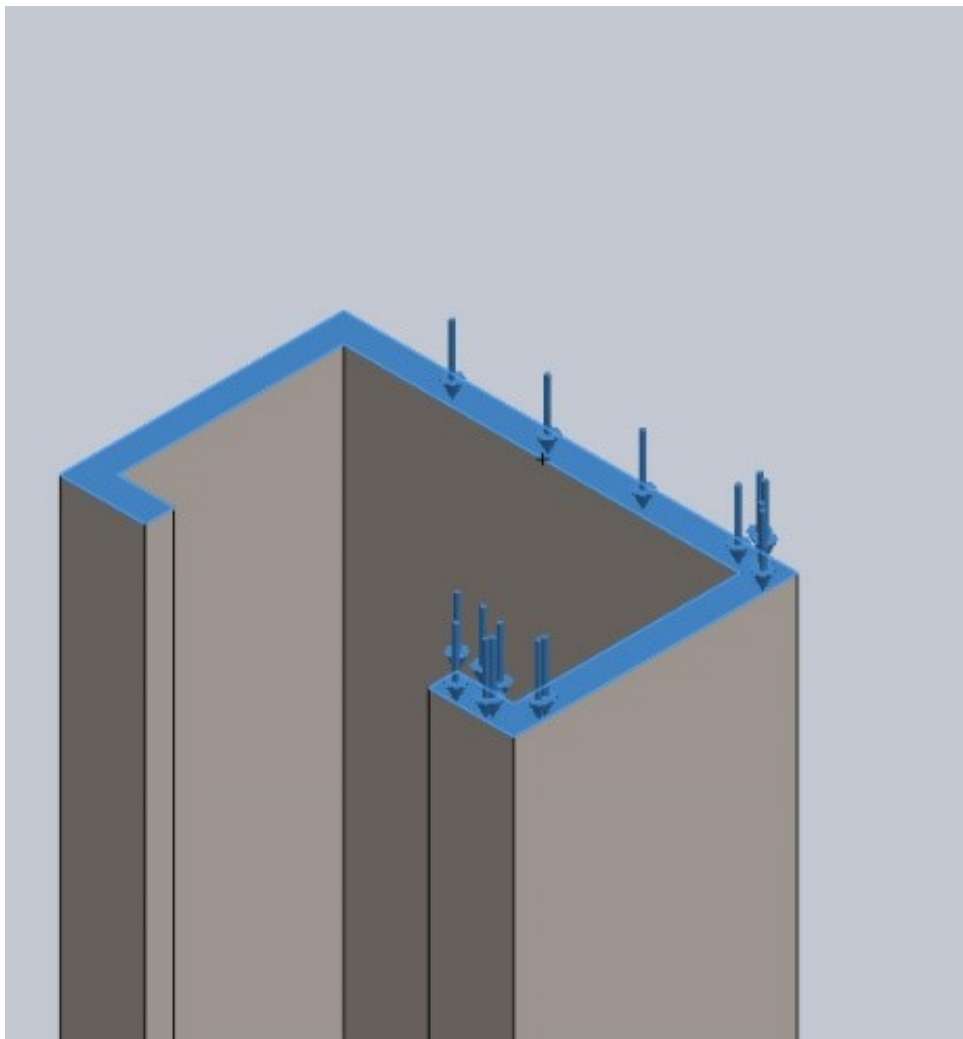


Figura 27: Punto crítico y valores del tren.

5.2. Elementos mecánicos

Existe un conjunto de piezas mecánicas que es mejor obtenerlas a través de distribuidores que diseñarlas para la grúa, por tanto, se han buscado distribuidores que puedan suministrar las piezas necesarias. Los elementos mecánicos son obtenidos a través de MJV, una empresa valenciana que ofrece este tipo de suministros. Estos se utilizan en distintos puntos:

5.2.1. Relación plancha y puente

El puente requiere de distintos elementos mecánicos para poder cargar y descargar la plancha. El método para desplazar la plancha sobre el puente es conectando la cremallera de la plancha con una cadena que se encuentra en el puente. Este método ha sido elegido por la sencillez y escasez de mecanismos para su funcionamiento, respecto a la gran superficie de tracción que existe una vez enganchada la cremallera con la cadena.

Para permitir que la cadena pueda ejercer la fuerza sobre la cremallera de la plancha, la cadena rodea el puente permitiendo conectarlo por la parte superior con la cremallera de la plancha. La cadena se mueve porque tiene un piñón en cada punta del punto de tracción (figura 13), para permitir que esté en contacto con la plancha en toda su longitud.

En el centro se encuentra un reductor con tornillo sinfín acoplado con un piñón para que esté conectado con la cadena y así permitir desplazar la plancha sobre la superficie. Puesto que la cadena en determinados momentos se encontrará sin tensión, se añade un tensor con su piñón correspondiente, evitando así posibles problemas con la cadena.

Por último, para evitar la fricción entre el puente y la plancha, se localizan los rodamientos en los huecos de la figura 17. Los suministros necesarios para completar el puente han sido seleccionados para que el conjunto sea capaz de transportar una masa de 3775kg, equivalente al peso de la plancha y el MMA del vehículo. A una velocidad máxima de 1m/s generadas entre el piñón y el reductor al recibir 1400 revoluciones por minuto, y una aceleración máxima de $0,265\text{m/s}^2$, dando lugar a una potencia máxima de 3775W y una fuerza máxima de 1000N, puesto que al contacto con los rodamientos se supone una fricción cero en el desplazamiento horizontal de la plancha. Los suministros elegidos según estos criterios se encuentran en el cuadro 1.

Pieza	Cantidad	Tipo	Masa total
Piñón	3	ASA100 de 8 dientes	0,94kg
Tensor	1	ISO 06B1 código TEKS 3	0,60kg
Piñón tensor	1	ISO 20B-1 de 13 dientes	1,64kg
Cadena	11,3m	C032A-1 ISO, C160 ANSI	130,00kg
Reductor	1	VFR 250_240	0,50kg
Rodamientos	12	117mm diámetro por 8cm	5,04kg

Cuadro 1: Elementos mecánicos escogidos para el puente de la grúa.

5.2.2. Relación puente y tren

Para ayudar al puente a mantener la estabilidad y comunicarse con el tren, se emplea un sistema de poleas y cables. Las poleas se encuentran a ambos extremos a lo largo del pilar con dos en cada extremo superior y cuatro en los extremos inferiores.

El cable empieza estando sujeto en la parte superior del puente en el enganche de la figura 14. Una vez enganchado, recorre el pilar hasta la polea de la parte superior del pilar para, ahí, dar media vuelta y bajar hasta la posición inferior del pilar, donde da un cuarto de vuelta pasando por el túnel al pilar opuesto, en el cual, de nuevo da un cuarto de vuelta hasta la parte inferior del puente para ser atado de nuevo. Esto, habiendo cuatro agujeros a cada lado, ocho en total, requiere de cuatro cables de acero, repitiendo el proceso comentado anteriormente con cada cable de acero.

Para la elevación del puente respecto el tren, se hace uso de cuatro cilindros telescópicos hidráulicos ubicando dos cilindros en el interior de cada pilar. Todos los cilindros son telescópicos, con 10cm de diámetro y 3,2 metros en corto y 16 metros en largo. Este es vendido a cargo de Tecnonasa.

El extremo inferior de cada cilindro está fijado en el tren por la parte inferior e interior del pilar. Por el extremo superior de cada cilindro estos, al estar en pareja, están unidos entre si, permitiendo que haya un piñón entre ambos cilindros.

Por último, existe una cadena que parte desde el inferior e interior del pilar que asciende hasta los piñones que se encuentran en los cilindros, dando media vuelta hasta unirse de nuevo con el puente. Esto de nuevo ocurre a cada lado del puente, permitiendo, cada vez, que los cilindros telescópicos hidráulicos se alarguen para subir el puente y encojan para bajar el puente.

Los suministros necesarios para completar el tren son elegidos para que sean capaces de aguantar, elevar y bajar una masa de 5500kg a una aceleración máxima de 0,5m/s² y, teniendo en cuenta la gravedad, lo que supone una fuerza máxima de 56650N. Los suministros elegidos según estos criterios están en el cuadro 2.

Pieza	Cantidad	Tipo	Masa total
Cadena	2x16m	40A-3 ISO, 200-3 ANSI	130,0kg
Piñon	2	ISO 24B-3 de 8 dientes	8,0kg
Cable de acero	4x35m	AISI 316 M6	18,2kg
Poleas	12	ANSI 212 03	132,0kg
Cilindros telescópicos	4	diámetro:10cm corto:3,2m largo:16m	8000,0kg

Cuadro 2: Elementos mecánicos escogidos para el tren de la grúa.

5.2.3. Desplazamiento horizontal del tren

Para permitir el desplazamiento horizontal del tren, se emplean 8 ruedas para raíles de 140mm de radio con un peso total de 132,80kg y 4 reductoras HDP 100 4507.9. Las ruedas son puestas en pares a cada lado de la pilar en el lugar preparado, como se muestra en la figura 25. Se pretende soportar una masa de 70000kg, que ha sido estimada en función del peso de todos los componentes que se mencionan en el documento, que, junto la gravedad, soporta una fuerza máxima de 686000N. Cada par de ruedas están conectadas a una reductora que pasa de 1500 revoluciones por minuto a 3 revoluciones por minuto para poder desplazar la grúa. Los suministros elegidos según estos criterios están en el cuadro 3.

Pieza	Cantidad	Tipo	Masa total
Reductor	4	HDP 100 4 507.9	1460kg
Rueda	8	ISO 24B-3 de 8 dientes	1064kg

Cuadro 3: Elementos mecánicos para el desplazamiento del tren.

5.3. Elementos electromecánicos

Debido a lo distintos que son unos de otros, los elementos electromecánicos empleados en la grúa parten de distintas empresas de suministros.

5.3.1. Accionamientos

Para permitir enganchar la plancha con el puente, existe un cilindro lineal (figura 28) a cada lado del puente que eleva el piñón junto a la cadena para permitir enganchar la plancha para cargarla y descargarla del puente. La masa máxima capaz de soportar es de 65,94 kilogramos, obtenida a partir de la mitad de la masa de la cadena, siendo esta de 65 kilogramos más 0,94 kilogramos del piñón. Sabiendo que se encuentra a 6 grados, se calcula la masa equivalente al sostener la cadena y el piñón en ese ángulo en la ecuación siguiente:

$$65,94kg * (\cos(6^\circ) + \sen(6^\circ)) = 72,47kg \quad (1)$$

Con lo cual, el cilindro lineal ha de ser capaz de soportar 72,47 kilogramos. Para conseguir este fin, el cilindro lineal empleado es el pistón electromecánico RoboCylinder RCS4-RA7C-WA-200-4-T2 obtenido a través de Valpi. Este cilindro lineal se extiende una longitud de 4cm, distancia suficiente, con una capacidad máxima de carga vertical de 35kg y horizontal de 80kg. Para comprobar que cumple con las necesidades de funcionamiento, se realiza el cálculo de la masa capaz de soportar con un ángulo de 6 grados en la siguiente ecuación:

$$80 * \cos(6^\circ) + 35kg * \sen(6^\circ) = 83,22kg \quad (2)$$

Al ser la masa máxima soportada del pistón de 83,22 kilogramos en un ángulo de 6 grados, queda claro que todo lo que esté por debajo es capaz de permitir el correcto funcionamiento del pistón electromecánico.

El dispositivo funciona con 220V y distintos protocolos de comunicación para su control, a pesar de que se va emplear el funcionamiento directo a través de pulsador.

Este dispositivo es seleccionado porque es el menor de su gama en permitir soportar la masa requerida y es capaz de funcionar a 220V, pudiendo conectarlo directamente a la red eléctrica. Por tanto, para su manejo solo hace falta la conexión eléctrica y el cable para indicar que se extienda.



Figura 28: Cilindro lineal que permite cargar y descargar la plancha del puente.

5.3.2. Hidráulica

Los circuitos hidráulicos normalmente requieren de un diseño con todos sus componentes para su funcionamiento. En el mundo de los elevadores de cabinas o vehículos tiene un gran mercado, dando la oportunidad a que en el mercado existan grupos de circuitos hidráulicos ya diseñados para este fin. Por tanto, para ahorrar tiempo de diseño, selección de materiales y tener un menor coste, se opta por emplear un grupo hidráulico para este fin. En cuanto al grupo hidráulico para los cilindros hidráulicos se emplea uno ofrecido por Tecnonasa para ascensores (figura 29), puesto que la parte de elevación de la grúa se emplea la misma tecnología que en los ascensores o elevadores hidráulicos.

La grúa, como se comenta en el capítulo 5.1.2, dispone de 4 pistones hidráulicos telescópicos de 10 centímetros de diámetro que son extendidos completamente a una altura de 16 metros cuando se inyectan 55 litros, por lo tanto, se han de inyectar 220 litros para que los 4 cilindros estén extendidos completamente. El grupo hidráulico de Tecnonasa dispone de una máquina eléctrica de una potencia de 2,2kW, trifásico ofreciendo una velocidad nominal de 2800 revoluciones por minuto que acciona una bomba de husillos de 20 litros por minuto. Con esto, se calcula la velocidad máxima que permite alcanzar este grupo hidráulico.

$$220L/20L/min = 11min \quad (3)$$

$$11min = 660s \quad (4)$$

$$16m/660s = 0,024m/s \quad (5)$$

Con esto, observamos que la velocidad máxima que alcanza este sistema hidráulico es de 0,024m/s, inferior a la velocidad soportada por la estructura. La comunicación de este dispositivo es mediante dos conexiones, una de inyección, que permite elevar la carga, y otra de apertura de válvula, que permite descender la carga.

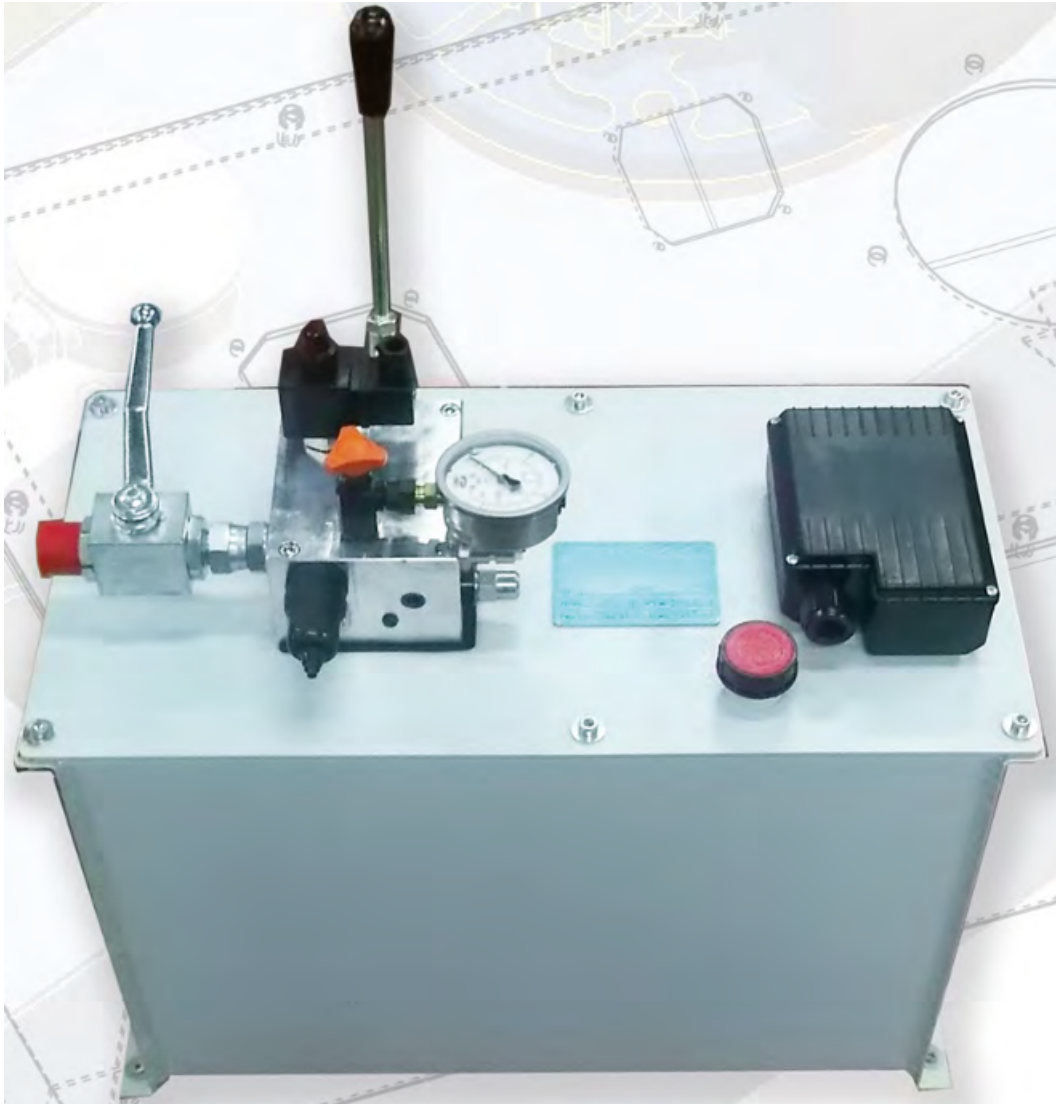


Figura 29: Grupo hidráulico para ascensores empleado en la grúa.

5.3.3. Máquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas se emplean para desplazar la plancha sobre el puente y para desplazar la grúa mediante las ruedas, ubicando los motores en la parte inferior del tren. De las distintas máquinas eléctricas que se encuentran en el mercado (continua, síncrona, asíncrona) , se opta por el uso de máquinas eléctricas asíncronas en ambos casos de la marca ABB, siendo escogidas de su catálogo, puesto que gracias a los variadores de frecuencia, se puede obtener una precisión y par iniciales como las máquinas de continua o síncrona, menor mantenimiento que las continuas y menor coste que las síncronas.

La precisión requerida para ajustar la posición de la plancha, para que no sobresalga sobre el puente y la posición horizontal por donde se desplaza la grúa, es ajustada a través de los sensores del capítulo 5.3.4, esto permite que solo sea necesaria una máquina eléctrica que requiera de potencia y velocidad, pudiendo quitar la necesidad de un control exacto de posición. Bien es cierto que las máquinas síncronas son mucho más ligeras que las asíncronas, pero la diferencia de peso se puede despreciar (ya que no supone una gran diferencia respecto el peso máximo del vehículo o de todo el conjunto de la grúa) y el variador de frecuencia permite tener un control suficiente para este caso. Al emplearse un convertidor de frecuencia, como se indica en el capítulo 5.4.1, se puede emplear el máximo par desde velocidad cero, pudiendo descartar las máquinas eléctricas de continua, puesto que las máquinas asíncronas apenas requieren mantenimiento en comparación con las de corriente continua. Una vez identificado el tipo de máquina eléctrica necesaria para ambos casos, se pasa a indicar la potencia necesaria para cada una. Se observa en el cuadro 4 un resumen de la selección.

Parte	Cantidad	Tipo	Potencia	Masa total
Puente	1	M3BP 112MB 4- 23GBP211322	4,00kW	37kg
Tren	4	M3BP 200MLA 4 - 3GBP202410-G	30,00kW	1164kg

Cuadro 4: Máquinas mecánicas de la grúa.

Como se puede apreciar en el capítulo 5.2.1 la potencia máxima necesaria para desplazar la plancha es de 3775W, con lo cual hará falta una máquina eléctrica de mayor potencia. La única máquina eléctrica, que encontramos de menor potencia que permita mover la carga, es de 4000W. Para poder respetar la velocidad máxima especificada anteriormente, se requiere que la máquina sea de dos pares de polos, obteniendo una velocidad máxima nominal de 1500 revoluciones por minuto, ya que el máximo soportado es de 1400 revoluciones por minuto.

Como se observa en el capítulo 5.2.3 la masa de la grúa estimada es de 70000kg y las ruedas están conectadas directamente a las máquinas eléctricas. Si deseamos que la grúa tenga una velocidad máxima de 1m/s, la potencia requerida para mover la carga es de 70000W. La estructura mecánica está diseñada para que a cada lado de cada pilar se ubique una máquina, requiriendo un total de cuatro máquinas eléctricas, con lo cual la potencia de cada máquina ha de ser de 17500W, siendo la máquina más pequeña que se ajuste a estas necesidades de 22kW. Para poder respetar la velocidad máxima especificada anteriormente, se requiere que la máquina sea de dos pares de polos, obteniendo una velocidad máxima nominal de 1500 revoluciones por minuto.

5.3.4. Sensores

El uso de sensores se emplea para comprobar y ajustar la posición exacta de la plancha respecto al puente, el puente verticalmente y el tren horizontalmente. Para lograr una gran precisión a la par que se consigue una pequeña estanqueidad, se emplea el dispositivo de seguridad Midatec DMS/M (figura 30) que actúa de sensor y tiene la función de bloqueo magnético hasta 100kg para impedir el movimiento con un peso total de 1,8kg. Del Midatec DMS/M se emplea en cada caso: La unión entre la plancha y el puente y conocimiento de la posición vertical y horizontal del puente. La comunicación con este dispositivo la realiza mediante una salida de pulsador, activando la salida si se encuentra encima el dispositivo e desactivando la salida si la carga no se encuentra.



Figura 30: Sensor electromagnético Midatec DMS/M.

5.4. Controladores

En este apartado se indican los elementos de electrónica de potencia requeridos para la grúa, así como su selección. Los componentes son obtenidos a través de Servofluid que opera con la marca ABB.

5.4.1. Convertidor de frecuencia

Para controlar el par, velocidad y posición de las máquinas eléctricas comentadas en el capítulo 5.3.3 son necesarios dispositivos de electrónica de potencia. Para lograr este fin, se hace uso de convertidores de frecuencia conectados a las máquinas eléctricas. Los tipos de controles de convertidor de frecuencia que existen actualmente en el mercado son: control escalar, control escalar con compensación, control vectorial (FOC) y control directo de par (DTC). En el cuadro 5 se encuentran los convertidores de frecuencia elegidos.

Parte	Cantidad	Modelo	Tipo	Masa total
Puente	1	ACS380-04xx-01A8-4	Control escalar	2kg
Tren	1	ACS880-01-145A-3	Control directo de par	7kg

Cuadro 5: Máquinas mecánicas de la grúa.

La máquina eléctrica del puente, al ser de 4kW, necesita de un convertidor de frecuencia que sea capaz de suministrar esa potencia. Además, se necesita controlar la posición, aunque no de forma muy exhaustiva, dado que está apoyado por sensores (capítulo 5.3.4) que indicarán y fijarán la posición exacta, ayudando al control de posición, pudiendo así escoger el sistema de control más sencillo y económico. Por tanto, se escoge para este motor el control escalar, encontrándose en la gama ACS380 de ABB como el mejor que se adecua a estas necesidades.

Las máquinas eléctricas que desplazan el tren horizontalmente se conectarán todas al mismo convertidor de frecuencia para reducir el número de convertidores de frecuencia, por lo tanto, han de ser capaces de suministrar 80kW entre todas las máquinas a la vez, con lo cual la gama ACS380 ya no sirve por estar limitada a 50kW. También, para este caso, se requiere un control más preciso de posición, al ser la masa a desplazar muy grande, requiriendo de un mayor control para ubicar la grúa correctamente en el lugar con un error muy pequeño, a pesar de que disponga de un sensor como apoyo. Por lo tanto, para este caso es necesario el uso de control directo por par (DTC), siendo la gama ACS880-01 la más indicada para este caso.

5.4.2. Autómata programable

Para tener control de todos los elementos electrónicos comentados anteriormente se pueden emplear distintos dispositivos: sistemas empotrados, ordenadores, autómata programable... Como existen dispositivos sencillos que requieren del funcionamiento de puertas lógicas, interruptores o relés, se opta por el uso de un autómata programable.

Para este sistema se requiere de 6 salidas, 2 por cada acción a realizar (desplazamiento horizontal, desplazamiento vertical y movimiento de plancha) y 2 entradas para los sensores de posición (uno indica si la plancha se encuentra en el puente y otro para la posición horizontal y vertical). Dadas estas necesidades, se busca en

el catálogo de ABB un autómata programable adecuado, encontrando el modelo PM554-TP con procesador CPU AC500-eCo de la figura 31.

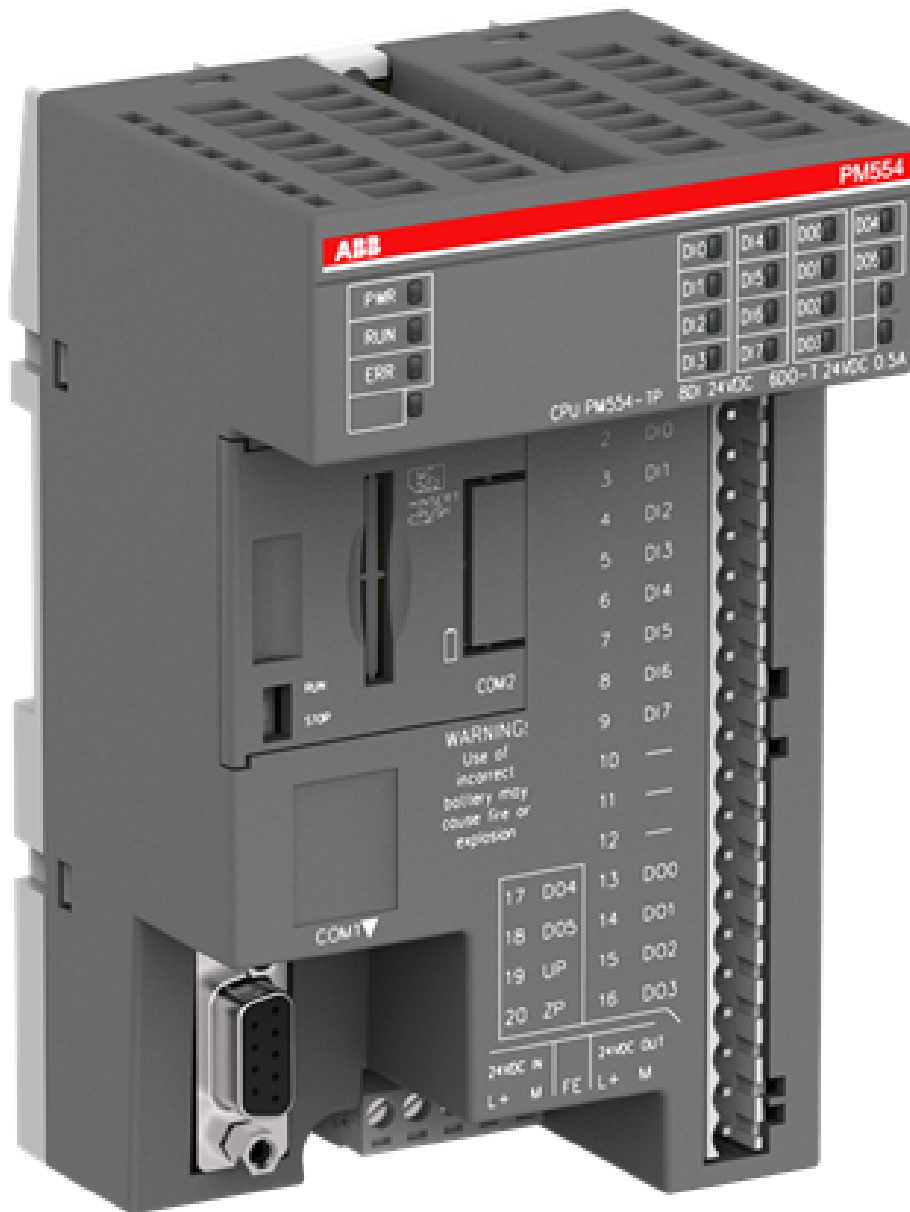


Figura 31: Autómata programable ABB PM554-TP con CPU AC5500-eCo.

5.5. Cableado

Los elementos del capítulo 5.3 y 5.4 requieren estar conectados para estar alimentados mediante electricidad y poder comunicarse entre ellos e interactuar. A continuación, se va a mostrar un diagrama lógico de estas conexiones, antes se expone en el cuadro 6 con los nombres clave de cada elemento que serán empleados en los diagrama.

Nombre	Dispositivo	Ubicación	Descripción	Intensidad
Braz1	Acc.	Puente	Cilindro lineal	0,9A
Braz2	Acc.	Puente	Cilindro lineal	10,0A
H2O	Hidráulica	Tren	Grupo hidráulico	10,0A
Bajar	H2O	H2O	Abre la válvula hidráulica	
Subir	H2O	H2O	Activar el sistema hidráulico	
PDect	Sensor	Puente	Plancha cargada	0,1A
UDect	Sensor	Puente	Puente y tren ubicados	18,4A
VPont	Conv. frec.	Puente	Desplazamiento de la plancha	300,0A
Coger	VPont	Vpont	Mover la plancha a la grúa	
Dejar	VPont	Vpont	Mover la plancha fuera de la grúa	
VTren	Conv. frec.	Tren	Desplazamiento del tren	18,2A
Izqui	VTren	VTren	Desplazar a la izquierda	
Derch	VTren	VTren	Desplazar a la derecha	
MPont	Máq. eléc.	Puente	Desplazamiento de la plancha	75,0A
Tren1	Máq. eléc.	Tren	Desplazamiento del tren	
Tren2	Máq. eléc.	Tren	Desplazamiento del tren	
Tren3	Máq. eléc.	Tren	Desplazamiento del tren	
Tren4	Máq. eléc.	Tren	Desplazamiento del tren	
AuPrg	Aut. prog.	Tren	Control de los componentes	0,18A
DIx	Aut. prog.	Autómata	Dispositivos de lectura	
DOx	Aut. prog.	Autómata	Dispositivos de escritura	

Cuadro 6: Dispositivos que requieren de electricidad de la grúa. (Acc.=Accionamiento; Conv. frec.=Convertidor de frecuencia; Máq. eléc.=Máquina eléctrica; Aut. prog.=Autómata programable)

5.5.1. Instalación de comunicación

La comunicación entre los dispositivos se hace por enlace simple entre el autómata programable y el resto de componentes. Teniendo en cuenta que la tensión máxima de la comunicación es de 12 voltios y la intensidad de 0,5 amperios, el tipo de cable usado es par trenzado STP categoría 6 por ser multifilar de 8 hilos pantalleado en cada par, igual que el número total de entradas y salidas tal y como se visualizan las conexiones entre los distintos componentes en la figura 32.

5.5.2. Instalación eléctrica

Algunos de los componentes empleados requieren instalación trifásica y otros monofásica. Por tanto, se visualiza en la figura 33 el diagrama de la instalación eléctrica a instalar en la grúa.

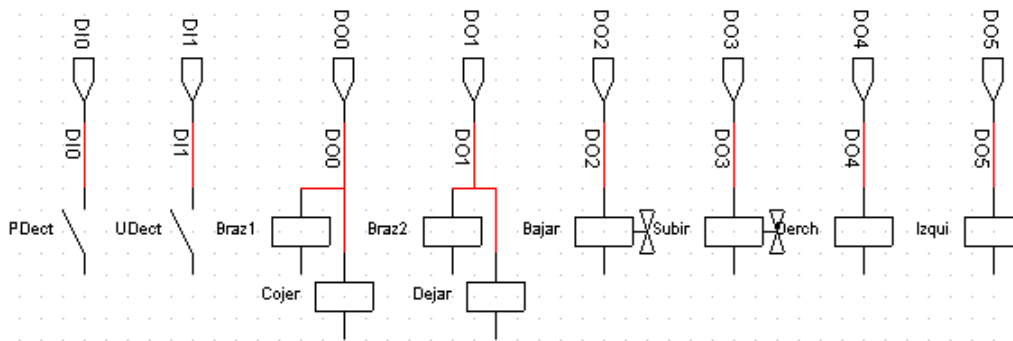


Figura 32: Diagrama de la comunicación entre el autómata y el resto de componentes.

Después de las protecciones en la línea eléctrica principal trifásica parte desde el pie del tren. De una fase trifásica junto con la fase neutra se extrae la línea monofásica, dividiendo en dos líneas la línea principal en monofásica, que llega hasta el puente, y trifásica, que se queda en el pie del tren. Cada una de estas nuevas líneas, tiene sus correspondientes protecciones diferenciales.

Después, la línea monofásica es dividida en dos ramas con sus respectivas protecciones magnetotérmicas para cada nueva línea. Una línea es para el accionamiento de la máquina eléctrica a través del control escalar y la otra para el resto de componentes que requieren de la conexión eléctrica monofásica.

También, en la línea trifásica es dividida en dos ramas con sus respectivas protecciones magnetotérmicas para cada nueva línea. Una línea es para el accionamiento de cuatro máquinas eléctricas, a través del control directo de par, y, la otra, para el accionamiento del sistema hidráulico, que hace uso de una máquina eléctrica en su interior.

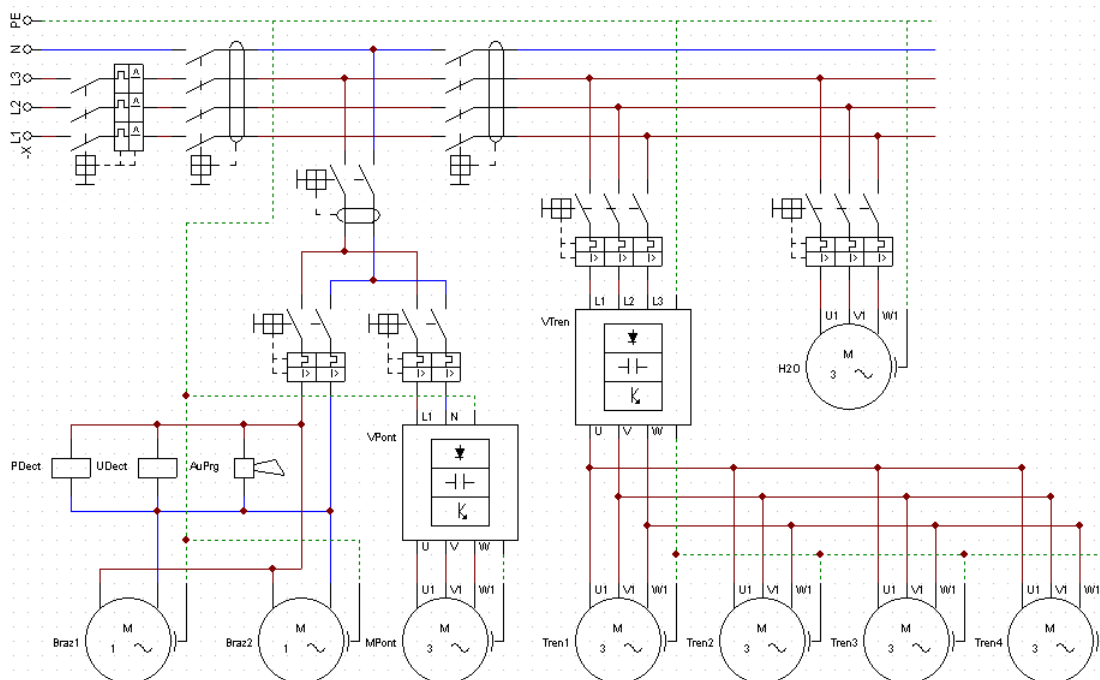


Figura 33: Diagrama de la instalación eléctrica.

Para poder seleccionar la sección de los cables eléctricos se requiere poner previa-

mente una serie de condiciones en las que se encontrará el cableado. Estas condiciones son:

- Cableado de cobre.
- Caída de tensión de 6,5%.
- Temperatura media de 40°C.
- Cableado con recubrimiento de PVC.
- Cableado unipolar o multipolar sobre la estructura.
- Factor de potencia de 0,8 por las máquinas eléctricas.

El cálculo de la sección está apoyado por la normativa UNE 20460-5-523:2004, desde la cual se han utilizado las tablas 52-1, 52-2 y 52-3, encontradas en dicho documento. Dados estos requisitos, se obtiene la constante 0,019 de resistencia al cobre a 40°C. En el cuadro 7 se encuentran las necesidades del cableado en los distintos tramos.

Origen	Destino	Designación	Tomas	Longitud	Int. máx.	UNE
Entrada	Magn. entr.	H07V-K Uni.	L1L2L3N	*	330,38A	*
Mgn. entr.	Dif. entr.	H07V-K Uni.	L1L2L3N	*	330,38A	*
Dif. entr.	Dif. tren	H07V-K Uni.	L1L2L3N	*	310A	*
Dif. tren	Mgn. h2o	H07V-K Uni.	L1L2L3	*	10A	*
Mgn. h2o	H2O	H07V-K Uni.	L1L2L3	1,5m	10A	1,5mm ²
Dif. tren	Mgn. vtren	H07V-K Uni.	L1L2L3	*	300A	*
Mgn. vtren	VTren	H07V-K Uni.	L1L2L3	1m	300A	240mm ²
	VTren	H07V-K Uni.	L1L2L3	3m	75A	25mm ²
	VTren	H07V-K Uni.	L1L2L3	3m	75A	25mm ²
	VTren	H07V-K Uni.	L1L2L3	6,5m	75A	25mm ²
	VTren	H07V-K Uni.	L1L2L3	6,5m	75A	25mm ²
Dif. entrada	Dif. puente	H05VV-F Mlt.	L1N	17m	20,38A	2,5mm ²
Dif. puente	Mgn. vpont	H05VV-F Mlt.	L1N	*	20,38A	*
Dif. puente	VPont	H05VV-F Mlt.	L1N	0,5m	18,2A	2,5mm ²
	MPont	H05VV-F Mlt.	L1N	0,5m	18,2A	2,5mm ²
Dif. puente	Mgn. otros	H05VV-F Mlt.	L1N	*	2,18A	*
Mgn. otros	Braz1	H05VV-F Mlt.	L1N	4,5m	0,9A	1,5mm ²
Mgn. otros	Braz2	H05VV-F Mlt.	L1N	4,5m	0,9A	1,5mm ²
Mgn. otros	PDect	H05VV-F Mlt.	L1N	1m	0,1A	1,5mm ²
Mgn. otros	UDect	H05VV-F Mlt.	L1N	3m	0,1A	1,5mm ²
Mgn. otros	AuPrg	H05VV-F Mlt.	L1N	1,5m	0,18A	1,5mm ²

Cuadro 7: Longitud del cableado eléctrico con las intensidades máximas en cada tramo. (Dif.=Diferencial; Mgn.=Magnetotérmico; entr.=entrada; Mlt.=Multipolar; Uni.=Unipolar; UNE=Sección de cable por la intensidad admisible según la normativa UNE 20460-5-523:2004) * Conexión mediante peines de distribución.

Una vez obtenida la sección se comprueba, según dice la misma normativa, que la sección es capaz de soportar la caída máxima de tensión por el cable. Se hace uso de dos fórmulas para saber a que sección corresponde la línea. Sabiendo que:

- $\cos\varphi$ = Factor de potencia.
- I = Intensidad del cable.
- L = Longitud del cable.
- ρ = Resistividad del cable.
- S = Sección del cable.
- ΔV = Caída de tensión.

Fórmula para líneas monofásicas:

$$S = \frac{2\rho LI\cos\varphi}{\Delta V} \quad (6)$$

Fórmula para líneas trifásicas:

$$S = \frac{\sqrt{3}\rho LI\cos\varphi}{\Delta V} \quad (7)$$

Se obtienen los valores de la sección de cable por la intensidad admisible mínima, como se muestran en el cuadro 8, donde aplicando las constantes iguales para todos los casos y los valores que varían en cada caso en su respectiva formula, se obtiene que en todos los casos los valores establecidos mediante las tablas de la normativa es suficiente.

Después del cálculo de la sección, se hace la selección de los sistemas de protección para evitar cortocircuitos, derivaciones o excesos no previstos por el sistema. En el caso de cableado trifásico el interruptor automático magnetotérmico y diferencial se encuentra dentro del mismo dispositivo. Teniendo en cuenta esto, se nombran los elementos de seguridad empleados:

- El interruptor automático magnetotérmico y diferencial empleado en la entrada es Schneider Electric NSX400N Micrologic 2.3 400A 4P4D1.
- El interruptor automático magnetotérmico y diferencial empleado en VTren es Schneider Electric NSX400N Micrologic 1.3 M 320A 3P3D.
- El interruptor automático magnetotérmico y diferencial empleado en H2O es Schneider Electric NSX100N MA12.5 3P3D.
- El interruptor automático diferencial empleado en el puente es Schneider Electric ACTI 9 iCV40 1PN C 25A 30mA AC RCBO.
- El interruptor automático magnetotérmico empleado para VPont de componentes es Schneider Electric Acti9 iC60N 1P+N 20 A, curva B, 6000 A (IEC 60898-1), 10 kA (IEC 60947-2).
- El interruptor automático magnetotérmico empleado para el resto de componentes es Schneider Electric Acti9 iC60N 1P+N 3 A, curva C, 6000 A (IEC 60898-1), 50 kA (IEC 60947-2).

Origen	Destino	Longitud	Int. máx.	UNE	Sec. mín.	
Magn. h2o	H2O	1,5m	10A	1,5mm ²	0,06mm ²	
Magn. vtren	VTren	1m	300A	240mm ²	1,22mm ²	
	VTren	Tren1	3m	75A	25mm ²	0,91mm ²
	VTren	Tren2	3m	75A	25mm ²	0,91mm ²
	VTren	Tren3	6,5m	75A	25mm ²	1,97mm ²
	VTren	Tren4	6,5m	75A	25mm ²	1,97mm ²
Dif. entrada	Dif. puente	17m	20,38A	2,5mm ²	1,62mm ²	
Dif. puente	VPont	0,5m	18,2A	2,5mm ²	0,04mm ²	
	VPont	MPont	0,5m	18,2A	2,5mm ²	0,04mm ²
Magn. otros	Braz1	4,5m	0,9A	1,5mm ²	0,02mm ²	
Magn. otros	Braz2	4,5m	0,9A	1,5mm ²	0,02mm ²	
Magn. otros	PDect	1m	0,1A	1,5mm ²	0,0004mm ²	
Magn. otros	UDect	3m	0,1A	1,5mm ²	0,001mm ²	
Magn. otros	AuPrg	1,5m	0,18A	1,5mm ²	0,001mm ²	

Cuadro 8: Resultado de la sección mínima necesaria para cada cable. (Dif.=Diferencial, Magn.=Magnetotérmico, Mult.=Multipolar, Uni.=Unipolar, UNE=Sección de cable por la intensidad admisible según las tablas de la normativa UNE 20460-5-523:2004, Sec. mín.= Sección de cable mínima por la intensidad admisible según las fórmulas de la normativa UNE 20460-5-523:2004)

6. Exposición

Para la exposición y presentación de la máquina se requieren una serie de elementos que permitan mostrar su funcionamiento ya que la grúa se encuentra en el nivel 2 de la pirámide de automatización. La grúa, es solo una máquina de tantas, necesaria para poder tener el funcionamiento de una cochera plena. Para ello se le van a añadir una serie de elementos para poder mostrar su funcionamiento.

6.1. Indicadores y control

Como indicadores y control se emplean dos pantallas de 7 pulgadas táctil, como se muestra en la figura 34. La primera es para la interacción con el usuario, permitiendo obtener y almacenar el vehículo. La segunda se emplea para el mantenimiento de la grúa, dando opciones más avanzadas a la grúa.

6.2. Manipulación

Como sistema de mayor nivel para la manipulación de la grúa, se hace uso de un ordenador con la aplicación CoDeSys de ABB como SCADA, siendo esta la misma aplicación empleada para la programación del autómat. El ordenador está conectado a través de USB hasta el autómat por el puerto serie y a través de esta aplicación, se muestra como interactuar con la grúa, así como los movimientos permitidos y sus capacidades.



Figura 34: Pantalla empleada para el mantenimiento o el usuario.

6.3. Simulación del control

Para la simulación del control se emplea una maqueta disponible en el laboratorio. Sustituyendo la estructura mecánica, por piezas de fischertechnik® modelo 536631; las máquinas eléctricas de alterna y variadores de frecuencia, por máquinas eléctricas de continua; y los detectores, por pulsadores. Todo esto conectado directamente al autómata programable ABB PM554-TP, siendo necesarias dos entradas más para dos pulsadores nuevos.

En la figura 35 se puede ver una maqueta que simula la mecánica de la grúa. Esta maqueta dispone de tres plantas y tres pilares, quedando en total nueve plazas en forma de matriz 3x3. También se puede observar que existe una plaza extra donde se deja y recoge el vehículo, siendo este el lugar donde el usuario depositará su vehículo. Hay que destacar que esta maqueta ya venía montada por el propio departamento de la universidad.

6.3.1. Conexiones

La maqueta dispone de una serie de conexiones que permite conocer el estado y hacer uso de los motores. Estas conexiones se encuentran en una placa, como se muestra en la figura 36, permitiendo controlar a través del autómata controlable los movimientos.

Estas conexiones de cada puerto, que van a través de cables conectados directamente entre el autómata programable y la placa, pueden observarse en el cuadro 9, pudiendo ver también a que accionamiento se refiere en cada momento la figura 35.

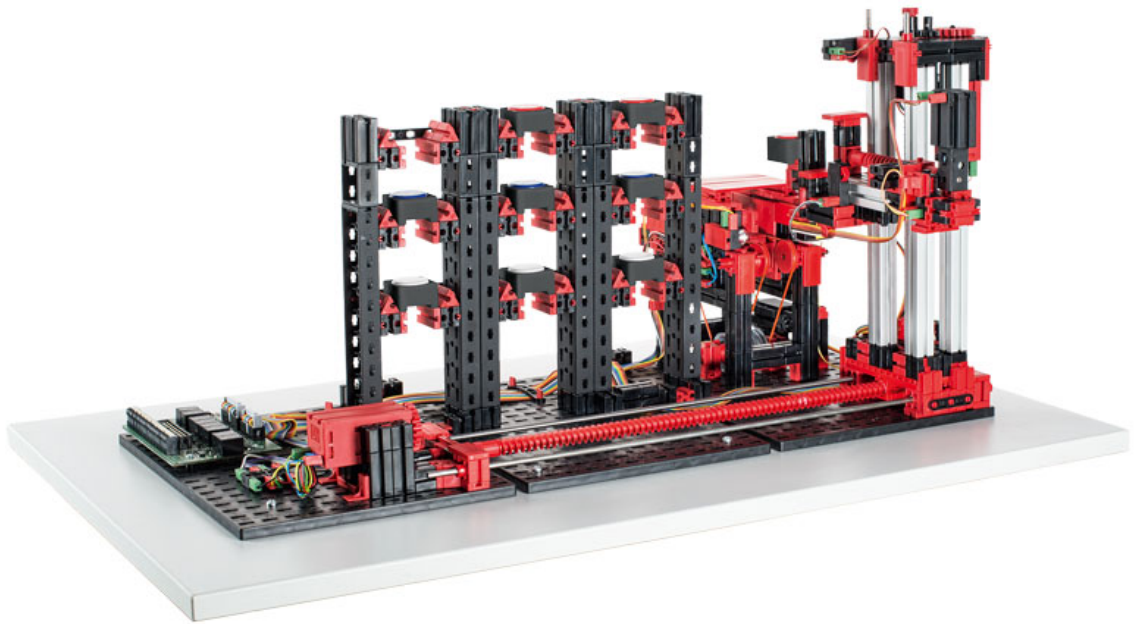


Figura 35: Maqueta creada con piezas fischertechnik®.

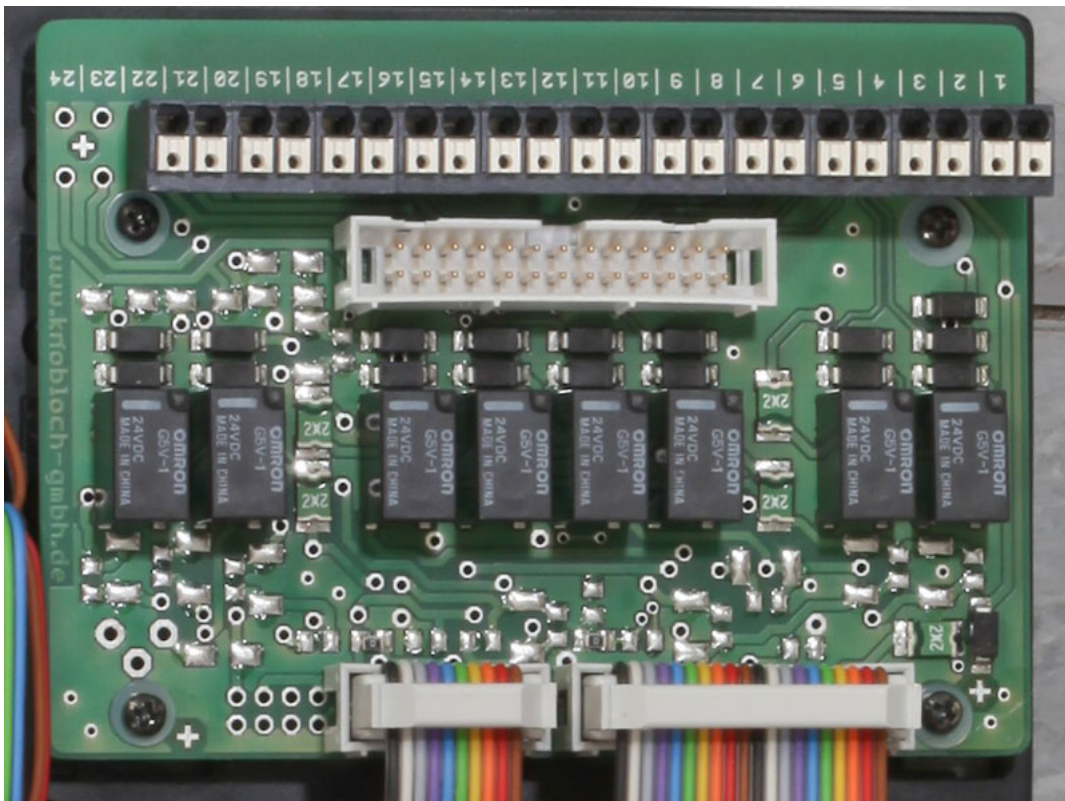


Figura 36: Placa de la maqueta fischertechnik®.

Autómata	Maqueta	Función	Accionamiento
-	1	Alimentación de corriente (+) accionamientos	24 V CC
-	2	Alimentación de corriente (+) sensores	24 V CC
-	3	Alimentación de corriente (-)	0V
-	4	Alimentación de corriente (-)	0V
2/DI0	5	Pulsador de referencia horizontal	I1
-	6	Barrera de luz interior	I2
-	7	Barrera de luz exterior	I3
3/DI1	8	Pulsador de referencia vertical	I4
4/DI2	9	Sensor de pistas (señal 1, abajo)	A1
7/DI5	10	Sensor de pistas (señal 2, arriba)	A2
-	11	Codificador horizontal impulso 1	B1
-	12	Codificador horizontal impulso 2	B2
-	13	Codificador vertical impulso 1	B3
-	14	Codificador vertical impulso 2	B4
-	15	Pulsador de referencia brazo giratorio delante	I5
-	16	Pulsador de referencia brazo giratorio atrás	I6
-	17	Motor cinta transportadora hacia delante	Q1 (M1)
-	18	Motor cinta transportadora hacia atrás	Q2 (M1)
13/DO0	19	Motor horizontal hacia el estante	Q3 (M2)
14/DO1	20	Motor horizontal hacia la cinta transportadora	Q4 (M2)
15/DO2	21	Motor vertical hacia abajo	Q5 (M3)
16/DO3	22	Motor vertical hacia arriba	Q6 (M3)
17/DO4	23	Motor brazo giratorio hacia delante	Q7 (M4)
18/DO5	24	Motor brazo giratorio hacia atrás	Q8 (M4)

Cuadro 9: Conexiones entre el autómata y la maqueta.

6.3.2. Programación

El desarrollo de la aplicación está realizada completamente en lenguaje estructurado empleado por los autómatas programables. Se desarrolló con la aplicación que ofrece ABB para la configuración, desarrollo y pruebas dentro de sus propios modelos a través de la licencia universitaria que tiene el departamento.

El desarrollo de la aplicación está dividida en distintos ficheros que podemos encontrar en el ANEXO A. Para la ayuda del desarrollo, se empleó el diagrama de la figura 37 donde se muestra la ejecución de los procesos.

El código está separado internamente en 3 partes:

- Comunicación con los dispositivos para simplificar el momento de sus acciones y recepciones.
- Comunicación con la interfaz del usuario para simplificar las acciones simplificadas por la interfaz.
- Procedimientos que relacionan la acción que desea el usuario con la interacción de los dispositivos.

De esta forma cada procedimiento se puede simplificar en las distintas acciones requeridas para lograr el objetivo que desea el usuario en cada caso. A esto se le

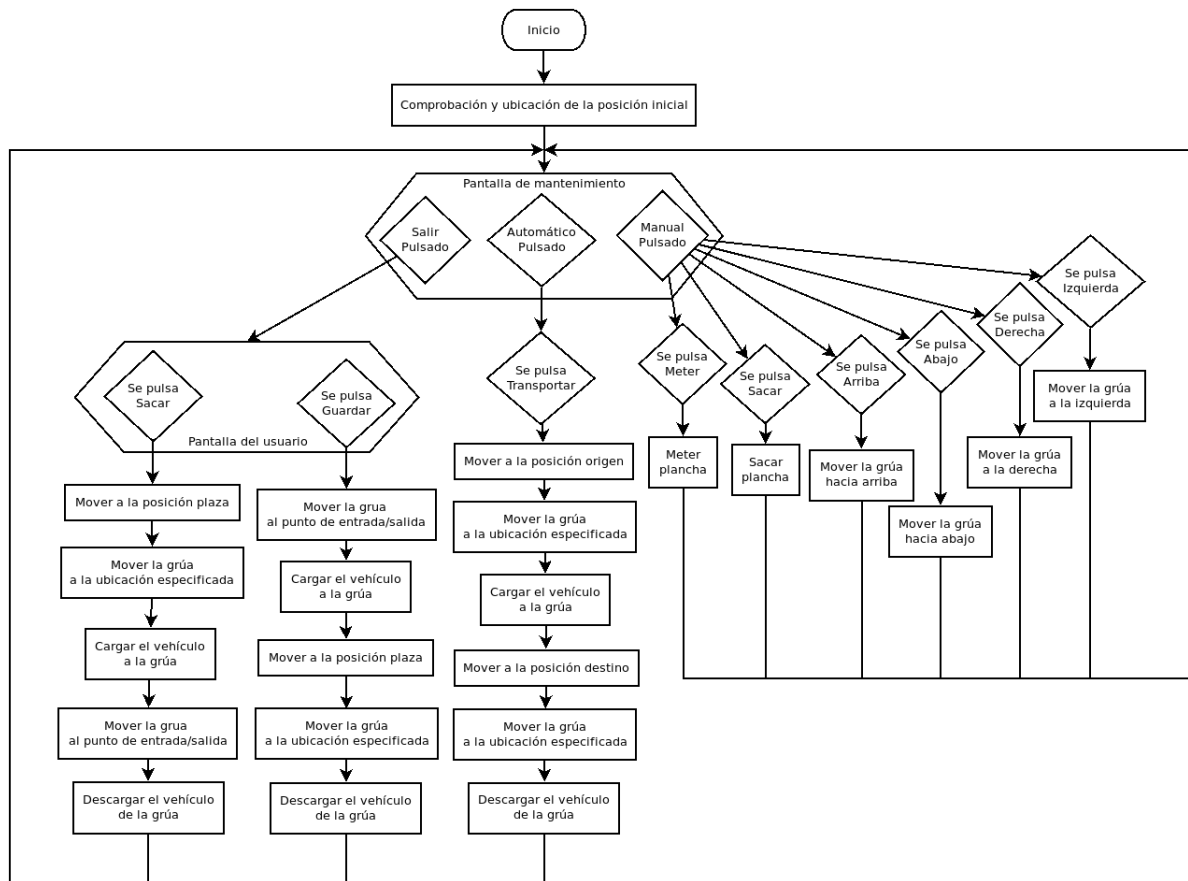


Figura 37: Diagrama de funcionamiento.

llama funciones, piezas de código repetitivas que son reutilizables ya que se desea que se realice un procedimiento en cada una de las distintas ocasiones.

Dentro de la interfaz se han aplicado unos estados para que sea capaz de diferenciar internamente que procedimiento ejecutar en cada momento en la grúa y de qué forma hay que debe hacerlo. Como al solicitar una acción, esta tiene un tiempo de duración bastante largo, existe otro estado para inhabilitar cualquier acción desde la interfaz cuando está en marcha la grúa, de esta forma, se evitan problemas de contradicción en el sistema. Cuando la acción finaliza, vuelve a la espera de la solicitud en la interfaz para que el usuario marque de nuevo la acción que desea realizar.

6.3.3. Interfaz

Existen dos interfaces distintas, una para el mantenimiento de la grúa y otra para dar información al usuario del estado de la grúa.

En la figura 38 se puede observar que dispone de una interfaz sencilla e intuitiva con dos modos de mantenimiento, el primero para el control manual del movimiento de la grúa y el otro para el cambio libre de los vehículos dentro de la propia grúa. El modo salir es para permitir que las acciones de la pantalla del usuario se puedan emplear.

A la izquierda tiene dos indicadores, uno de color ámbar, que indica si está en modo mantenimiento y otro rojo, que indica si se encuentra en marcha la grúa. La parte central se activa cuando entra en modo Manual, permitiendo mover cada mecanismo de la máquina de forma libre con el peligro de activar los accionamientos

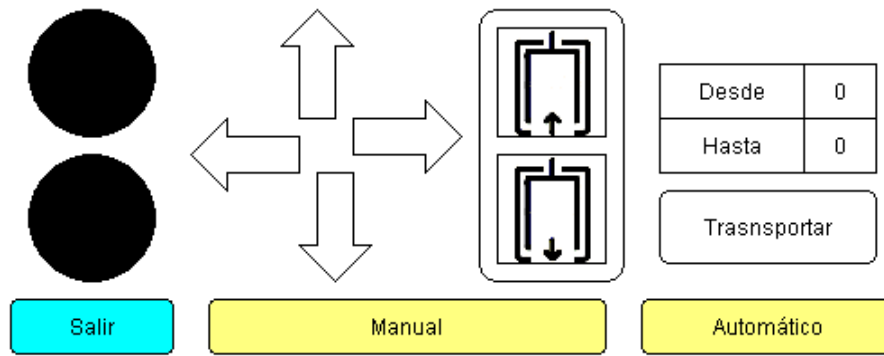


Figura 38: Pantalla de control de mantenimiento con tres partes claramente identificadas en función del modo de funcionamiento.

fuera de los límites físicos. La parte derecha se activa cuando entra en modo Automático, permitiendo desplazar vehículos desde una plaza a la otra una vez elegidas dichas plazas y pulsado "Transportar".

Por otra parte, se puede observar en la figura 39 que la pantalla del usuario es mucho más sencilla con solo dos botones para elegir si sacar o guardar el vehículo y la elección de que plaza se desea.

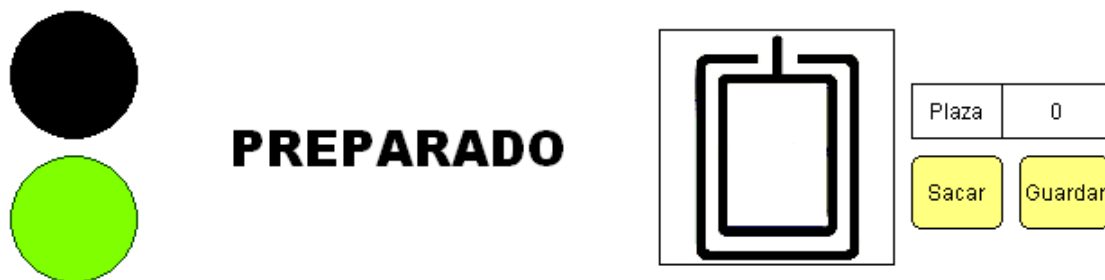


Figura 39: Pantalla de control de usuario con el estado donde se encuentra la grúa y los botones para obtener o guardar el vehículo.

A la izquierda tiene dos indicadores, uno de color verde, que indica que el sistema está preparado para sacar o meter un vehículo, y otro rojo, que indica si se encuentra en marcha la grúa o no disponible. La parte central es un sistema de visualización que indica de forma textual y gráfica el estado actual en que se encuentra la grúa. En la parte derecha se selecciona la plaza de aparcamiento donde se quiere aparcar u obtener el vehículo, y, posteriormente, pulsando "Sacar." "Guardar".

7. Conclusiones

Tras la realización del presente trabajo se conocen los elementos necesarios para el diseño de una grúa que actúa en una cochera inteligente automática, los cuales, son de distinta índole y tienen distinta procedencia.

Aunque se empleen elementos mecánicos, de control, máquinas eléctricas, sistema hidráulico... ya existentes, también ha sido necesario realizar un diseño propio de varias estructuras mecánicas, las cuales interaccionan entre sí mediante el uso de elementos mecánicos ya existentes, y realizan el movimiento esperado, soportando y desplazando el vehículo hasta su lugar de aparcamiento.

Los elementos de diseño propio fueron pensados para adaptarse a las necesidades según las dimensiones, masa, volumen y peso soportado, comprobando su eficiencia mediante simulaciones de estrés. A pesar de ello, se tiene la desventaja de tener unos criterios máximos sobre el terreno de funcionamiento, siendo estos la altura máxima de aprovechamiento dentro de un edificio. Por contra, siempre se puede acortar la longitud de los pilares para introducir la grúa en espacios más bajos de lo requerido, puesto que reducir el tamaño del pilar solo mejora las condiciones para evitar la fatiga y rotura de la estructura del tren.

Por otro lado, tras plantear una serie de soluciones parciales que permitieran realizar el trabajo deseado, se eligieron los elementos de la grúa que interaccionan con su estructura mecánica y permiten su control y automatización: Convertidores de frecuencia de control escalar y de control directo, autómatas programables, máquinas eléctricas asíncronas, circuitos hidráulicos genéricos, detectores, sistema de elevación hidráulico... Y se estudió cada uno de ellos:

- Los dispositivos electromecánicos: se plantean según la masa, la potencia ofrecida, la velocidad óptima de funcionamiento y el coste. En cuanto a las máquinas eléctricas, se pretende que funcionen en régimen óptimo de par nominal necesario para cada movimiento que realiza la grúa gracias a los convertidores de frecuencia. Los detectores, a pesar que tienen doble función y también permiten el bloqueo, permiten una seguridad de estanqueidad en el momento de movimiento de las partes móviles.
- Los controladores: El autómata programable se elige según su capacidad respecto al número de elementos que debe tener en cuenta para el control e implantación del programa, a la hora de conectar el resto de dispositivos unos con otros. Los variadores de frecuencia, por contra, son elegidos por la potencia máxima requerida, el tipo de control que tienen sobre las máquinas eléctricas y la capacidad de trabajo con más de una máquina a la vez.
- El cableado: se emplea en la comunicación y en la instalación eléctrica. En la comunicación se emplea para unir el autómata con el resto de las componentes. En la instalación eléctrica, se elige su sección según los cálculos necesarios y se utiliza tanto como sea necesario, además se implantan elementos de seguridad. Cabe destacar que determinados grosores de cable fueron un poco más complicados de encontrar dado su poco uso y por supuesto a un alto precio.

Respecto la simulación de control, por desgracia no se puede tener un modelo a escala o un modelo más reducido. Esto es debido a que determinados componentes a escala reducida carecen de sentido, como pueden ser los variadores de frecuencia y las máquinas de alterna que fueron sustituidas directamente por máquinas de continua. Eso unido a que determinadas conexiones tenían un desgaste y al realizar determinados movimientos se soltaban, creaban pequeños problemas durante el desarrollo de esta parte.

Finalmente, puesto a que la grúa diseñada pertenece a un nivel 2 de automatización, y debe ser complementada con otras estructuras en el resto de los niveles de automatización, requiere de una visualización innecesaria, ya que eso corresponde a capas superiores las cuales se han tenido que trabajar para poder hacer una muestra del trabajo, lo que ha supuesto un trabajo extra no esperado desde un inicio. Bien

es cierto que al estar en el nivel 2 de automatización se pueden observar ventajas y desventajas.

- Como ventaja, las capas superiores pueden realizar un cálculo lo suficientemente potente para poder tener distintas grúas de este tipo, tanto en la misma línea de trabajo como en otras paralelas, sincronizadas por las capas superiores, dando nuevas oportunidades de funcionamiento. Otra ventaja es que está abierto a la imaginación de personas que no tengan conocimiento de mecatrónica, ya que, tener conocimientos sobre las capas superiores, es suficiente para poder aplicar la grúa allá donde se les ocurra a través de su imaginación.
- Como desventaja, se da lo complicado que es vender un sistema que parece insuficiente por si solo al no ser capaz de funcionar sin la presencia de un operario que se encuentre detrás.

En conclusión, la grúa diseñada puede implantarse en un edificio ya construido, estando lista para su implantación, a falta de la puesta en marcha, que requiere de un desarrollo de los niveles superiores de la pirámide. El coste total es de 50047,95€, como puede verse en el presupuesto. A pesar que aparentemente parece un coste elevado, solo la grúa puede ser amortizada perfectamente en un año dándole uso en cocheras privadas que tienen gran afluencia los fines de semana.

PRESUPUESTO

Índice

1. Mano de obra	2
2. Elementos perennes	2
3. Material	3
4. Total	4

1. Mano de obra

El conjunto del trabajo es realizado por una misma persona, a pesar de las distintas áreas del mundo de la ingeniería que engloba el proyecto: ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería industrial e ingeniería computacional. Por tanto, se tiene en cuenta el coste en mano de obra por hora en el mundo laboral de cada una de estas áreas, estimándose una media de 12,33€/h. Además, se estiman unas horas de trabajo dedicadas a cada una de las áreas a tratar dentro de la ingeniería, estas se reflejan en el cuadro 1.

Tipo	Horas
Mecánico	105h
Eléctrico	88h
Programación	63h
Industrial	44h
Total	300h

Cuadro 1: Estimación de las horas empleadas en cada área industrial de la grúa.

Para dar a conocer una cantidad exacta del coste de la mano de obra estimada, se multiplica el número de horas realizadas por el coste estimado de las horas empleadas, obteniendo así el valor de 3699€.

2. Elementos perennes

Se hace desglose de los elementos no fungibles que pueden ser empleados para otros proyectos de carácter semejante. Los elementos perennes son principalmente de tipo computacional como se muestra en el cuadro 2.

Producto	Precio
Solidworks 2018x64 Licencia de estudiante	120€
Ordenador sobremesa	730€
Total	850€

Cuadro 2: Productos útiles para otros proyectos.

3. Material

A continuación se muestran en forma de tabla los costes asociados a la adquisición del material necesario para la elaboración del proyecto. Material para la elaboración de la grúa se encuentra en el cuadro 3.

Cantidad	Objeto	Unidad	Total
1938kg	Aluminio 1060-H18	1600t/€	3100,80€
19663,6kg	Acero aleado	800t/€	15730,88€
3	Piñón ASA100, 8 dientes	20€	60,00€
1	Tensor IS 06B1 código TEKS	15€	15,00€
1	Piñón tensor ISO 20B-1, 13 dientes	25€	25,00€
11,3m	Cadena C032A-1 ISO, C160 ANSI	1,12€/m	12,66€
1	Reductor VFR 250_240	160€	160,00€
12	Rodamientos	111€	888,00€
2x16m	Cadena 40A-3 ISO, 200-3 ANSI	4,26€	136,32€
2	Piñón ISO 24B-3 de 8 dientes	42€	84,00€
4x35m	cable de acero AISI 316 M6	3,763€/m	526,92€
12	Poleas 212 03	54€	648,00€
4	Cilindro telescópico	3600€	14400,00€
8	Ruedas	104 €	832,00€
4	HDP 100 4507.9	640€	640,00€
2	Pistón electromecánico	280€	560,00€
1	Grupo hidráulico	2260€	2260,00€
1	ABB 23GBP111322	120€	120,00€
4	ABB 3GBP202410-G	650€	2600,00€
2	Midatec DMSM	120€	240,00€
1	ABB ACS380-04xx-01A8-4	480€	480,00€
1	ABB ACS880-01-145A-3	1200€	1200,00€
1	ABB PM554-TP	400€	400,00€
16m	Cable eléctrico H05VV-F 1,5mm ²	0,58€/metro	9,28€
20m	Cable eléctrico H05VV-F 2,5mm ²	1,02€/metro	20,40€
4,7m	Cable eléctrico H07V-K 1,5mm ²	0,31€/metro	1,46€
60m	Cable eléctrico H07V-K 25mm ²	3,79€/metro	227,40€
4,1m	Cable eléctrico H07V-K 240mm ²	29,47€/metro	120,83€
		Total	45498,95€

Cuadro 3: Máquinas mecánicas de la grúa.

4. Total

En el cuadro 4 se muestra el presupuesto con todos los gastos de desarrollo, construcción y piezas de la grúa.

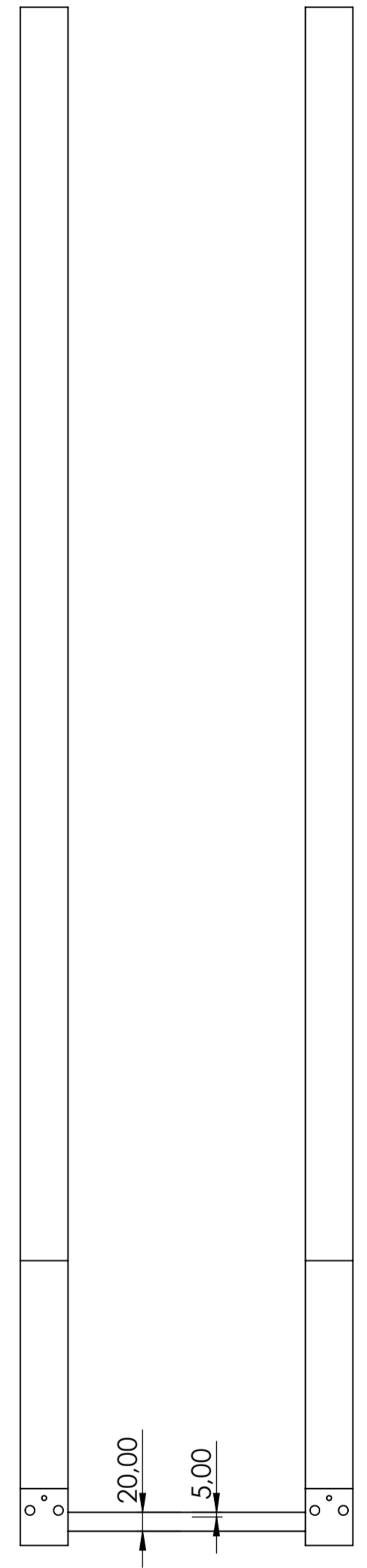
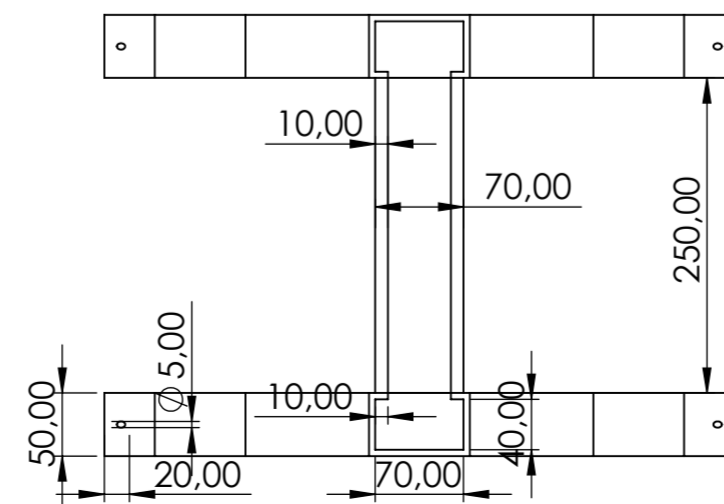
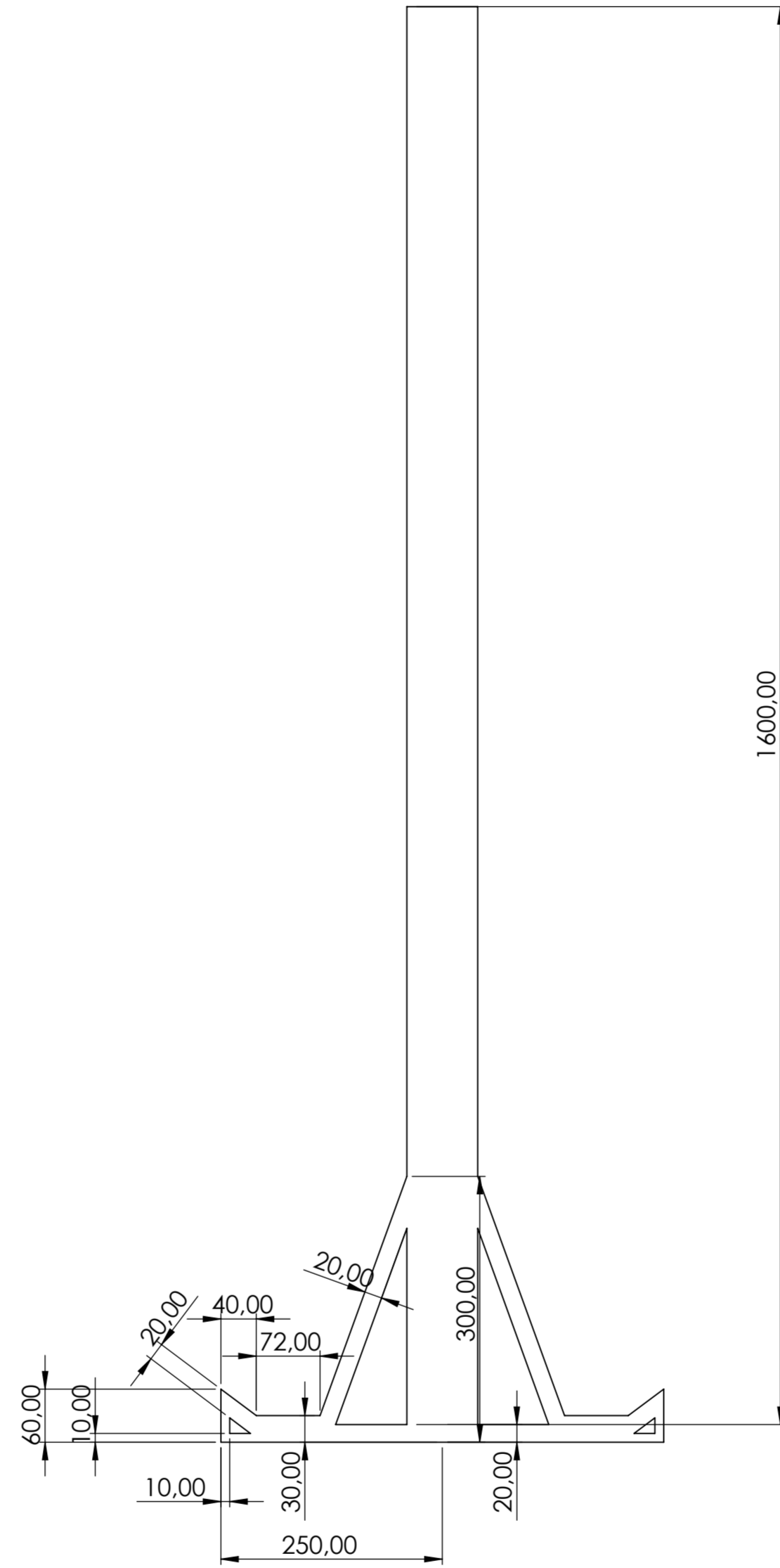
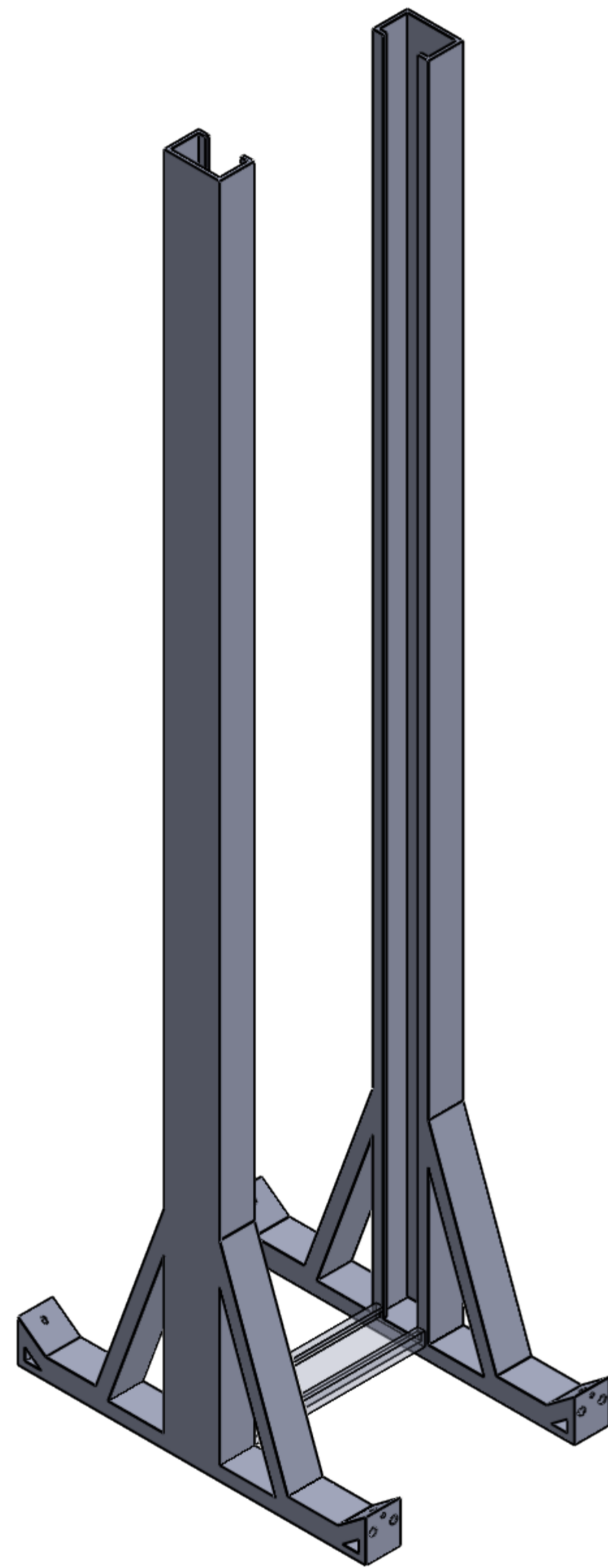
Presupuesto	Total
Mano de obra	3699,00€
Elementos perenne	850,00€
Material	45498,95€
Total	50047,95€

Cuadro 4: Suma de todas las partidas presupuestarias anteriores.

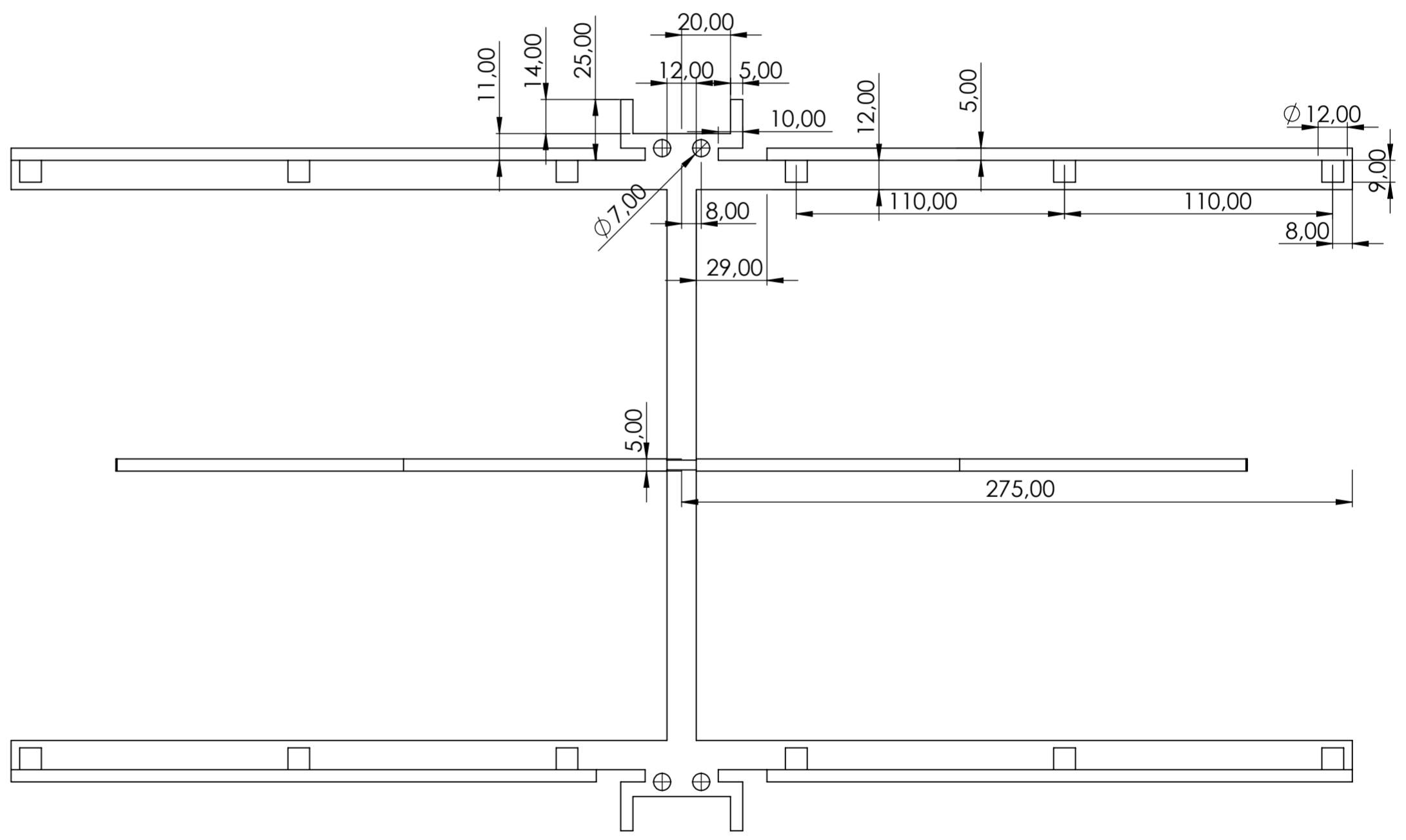
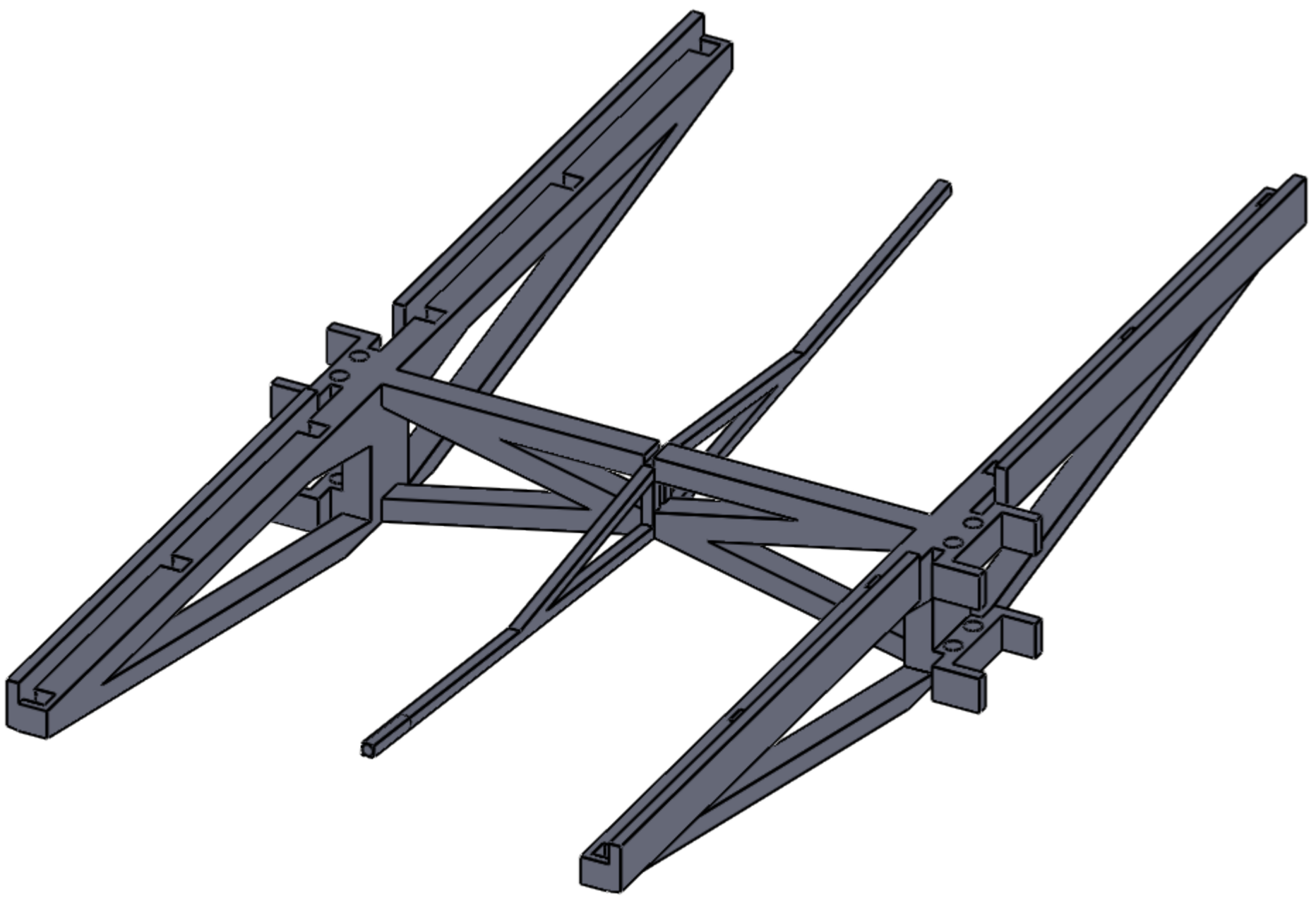
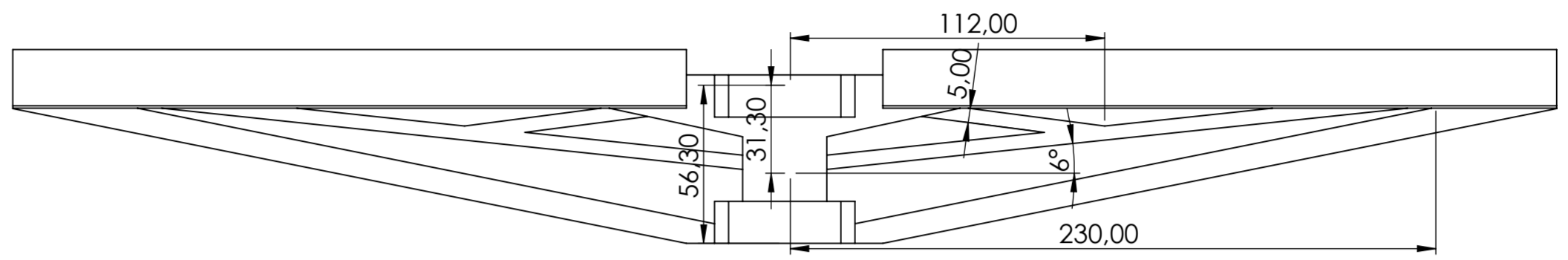
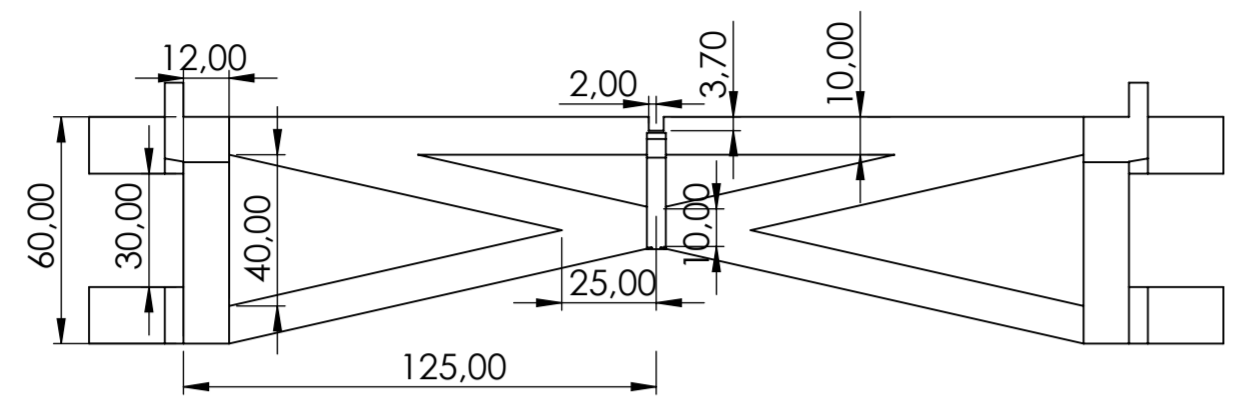
PLANOS

Índice

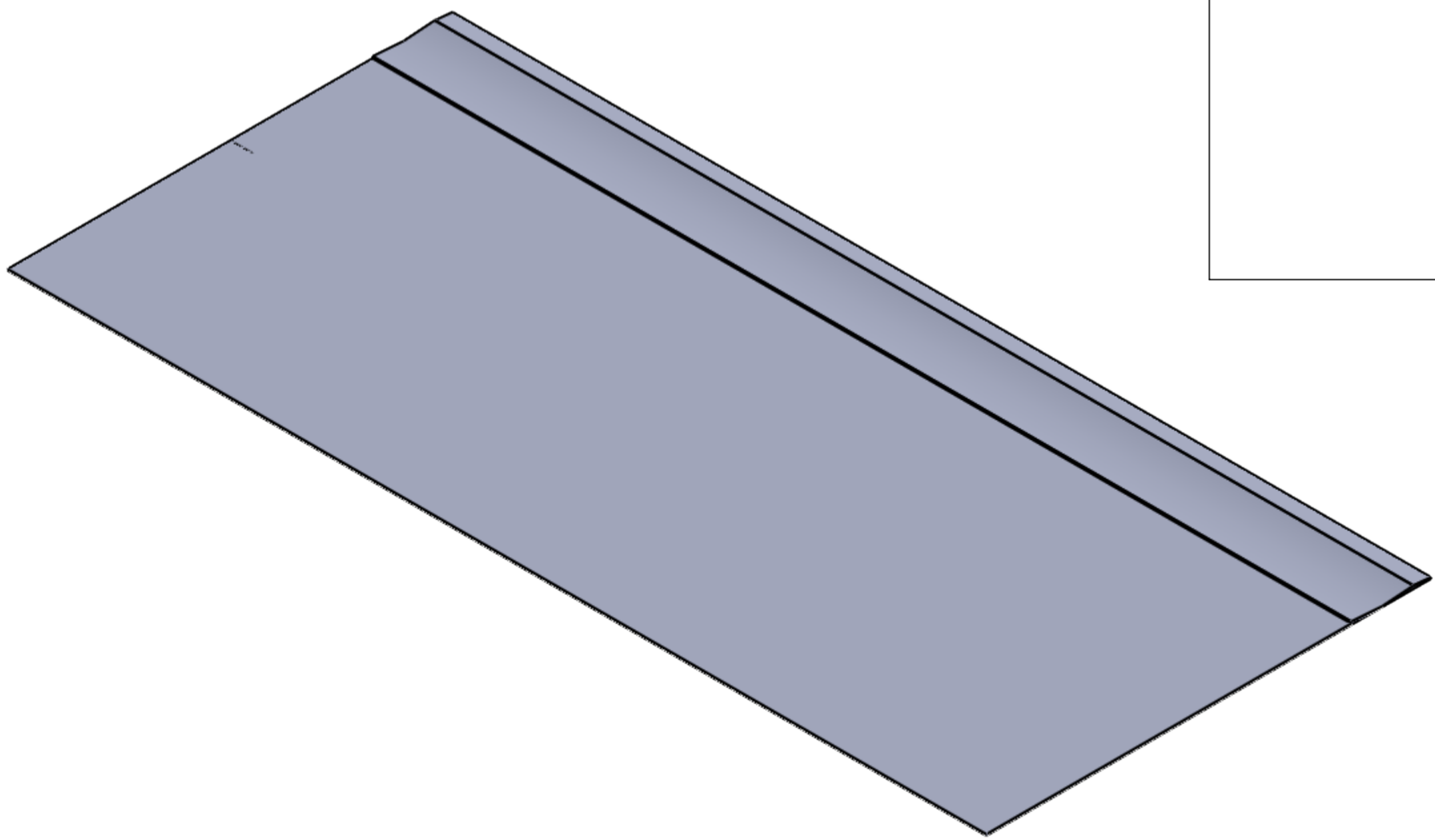
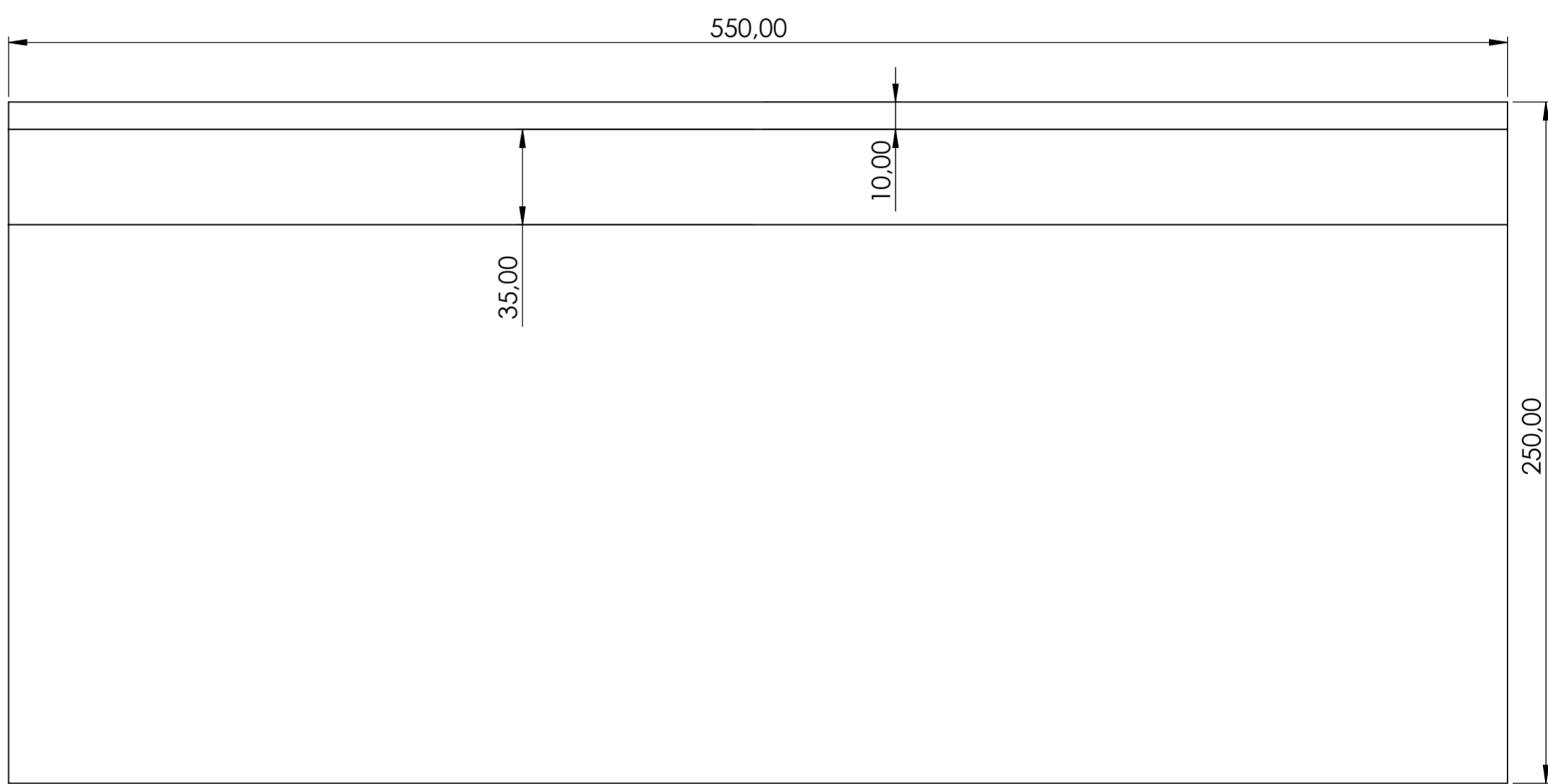
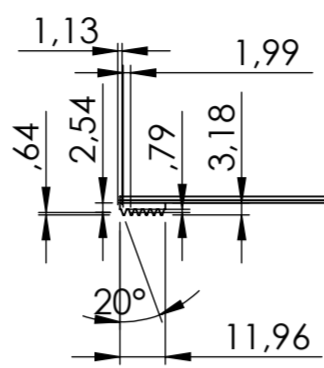
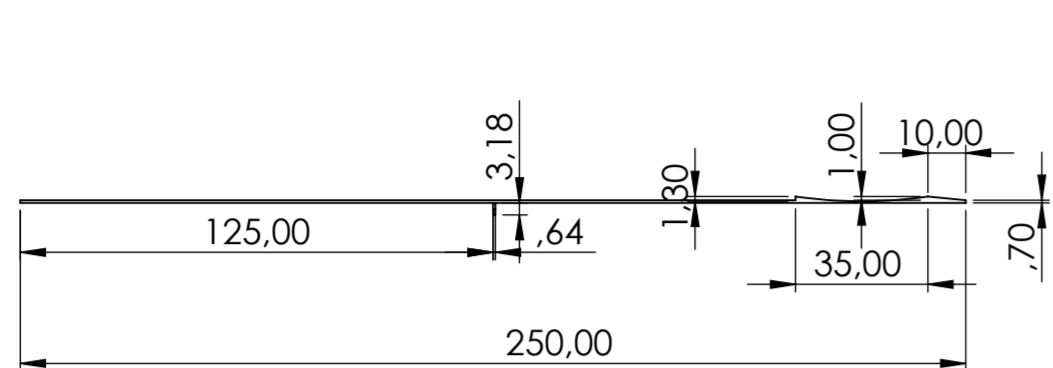
1. Tren	2
2. Puente	3
3. Plancha	4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	
VERIF.						N.º DE DIBUJO	
APROB.						tren	
FABR.					MATERIAL:	A2	
CALID.					PESO:	ESCALA:1:60	HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.					MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	
					PESO:	ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1
						puente	
						A2	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
DIBUJ.				NOMBRE		FIRMA		FECHA			
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.								MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
										plancha	
								PESO:		A2	
								ESCALA:1:20		HOJA 1 DE 1	

ANEXOS

Índice

A. Anexo A-Código en lenguaje estructurado	2
B. Anexo B-Manuales de usuarios	12

A. Anexo A-Código en lenguaje estructurado

PLC_PRC: Fichero principal donde se inicia el resto del código.

```
(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := '' *)
(* @SYMFILIFLAGS := '2048' *)
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    inicio: TP;
    iniciando: BOOL;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
inicio(IN := TRUE, PT:= T#15s);
iniciando:=inicio.Q;

pantalla();
puente();
traslado();
movimientoH();
movimientoV();

END_PROGRAM
```

pantalla: Visualización de las pantallas y botonera de ejecución desde las mismas.

```
(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := '' *)
(* @SYMFILIFLAGS := '2048' *)
PROGRAM pantalla
VAR
    mantenimiento: BOOL(*:=TRUE*);
    manual: BOOL(*:=TRUE*);
    ejecutar: BOOL:=FALSE;

    (*puerta:PLAZA;
    guardado:PLAZA;
    desde:PLAZA;
    hasta:PLAZA;
    autodesde:PLAZA;
    autohasta:PLAZA;*)
    puerta:USINT;
    guardado:USINT;
    desde:USINT;
    hasta:USINT;
    autodesde:USINT;
    autohasta:USINT;
```



```

(*MANUAL*)
    abajo:BOOL;
    arriba:BOOL;
    derecha:BOOL;
    izquierda:BOOL;
    meter:BOOL;
    sacar:BOOL;
(*AUTOMATICO*)
    desplazamiento_fila:USINT:=0;
    desplazamiento_columna:USINT:=0;
(* Botones*)
    boton_automatico:BOOL;
    boton_manual:BOOL;
    boton_salir:BOOL;
    boton_sacar:BOOL;
    boton_guardar:BOOL;
    boton_transportar:BOOL;
(*PANTALLA*)
    preparado:BOOL:=TRUE;
    sacado:TON;
    aparcado:TON;
    sacando:BOOL;
    aparcando:BOOL;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)

IF mantenimiento THEN (*Funcionamiento normal*)
    desde:=autodesde;
    hasta:=autohasta;
    IF NOT manual THEN
        IF boton_transportar AND NOT traslado.trasladando THEN
            ejecutar:=TRUE;
        ELSE
            ejecutar:=FALSE;
        END_IF
    END_IF
ELSE
    IF boton_sacar THEN
        desde:=guardado;
        hasta:=puerta;
        ejecutar:=TRUE;
        preparado:=FALSE;
        sacando:=TRUE;
    ELSIF boton_guardar THEN
        desde:=puerta;
        hasta:=guardado;
        ejecutar:=TRUE;
        preparado:=FALSE;
    END_IF
END_IF

```

```

                aparcando:=TRUE;
ELSE
                ejecutar:=FALSE;
                preparado:=sacado.Q OR aparcado.Q OR preparado;
END_IF
END_IF

IF preparado THEN
                aparcando:=FALSE;
                sacando:=FALSE;
END_IF

sacado(IN:=sacando
AND NOT traslado.trasladando
AND NOT preparado, PT:=T#5s);

aparcado(IN:=aparcando
AND NOT traslado.trasladando
AND NOT preparado, PT:=T#5s);

IF NOT traslado.trasladando THEN
                IF boton_automático THEN
                        mantenimiento:=TRUE;
                        manual:=FALSE;
                END_IF
                IF boton_manual THEN
                        mantenimiento:=TRUE;
                        manual:=TRUE;
                END_IF
                IF boton_salir THEN
                        mantenimiento:=FALSE;
                        manual:=FALSE;
                END_IF
END_IF
END_IF
END_PROGRAM

```

movimientoH: Control del movimiento del variador de frecuencia que mueve la grúa en horizontal.

```

(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := '' *)
(* @SYMFILIFLAGS := '2048' *)
PROGRAM movimientoH
VAR(*425-745-1060*)
    POSICION_MAXIMA:UINT:=1120;
    plazas:ARRAY[0..10] OF UINT := 2,420,730,1040,420,730,1040,420,730,1040,420,730;
    posicion_actual:UINT;
    posicion_destino:UINT;
    ajustado:BOOL;

```

```

        positivo:BOOL;
        negativo:BOOL;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
IF (*NOT pantalla.manual AND*) traslado.trasladar OR pantalla.ejecutar THEN
    IF traslado.primer_tramo THEN
        posicion_destino:=plazas[pantalla.desde];
    ELSE
        posicion_destino:=plazas[pantalla.hasta];
    END_IF
END_IF

IF PLC_PRG.iniciando OR traslado.restablecer_coordenadas THEN
    negativo:=CONTRAIDO;
    positivo:=FALSE;
ELSIF (*NOT pantalla.manual*) traslado.trasladar THEN
    IF posicion_actual<posicion_destino THEN
        positivo:=TRUE;
        negativo:=FALSE;
    ELSIF posicion_actual>posicion_destino OR posicion_destino=0 THEN
        positivo:=FALSE;
        negativo:=TRUE;
    ELSE
        positivo:=FALSE;
        negativo:=FALSE;
    END_IF
ELSIF pantalla.manual THEN
    positivo:=pantalla.izquierda;
    negativo:=pantalla.derecha;
END_IF

IF posicion_actual=posicion_destino THEN
    ajustado:=TRUE;
ELSE
    ajustado:=FALSE;
END_IF

IF positivo AND POSICION_MAXIMA>posicion_actual AND NOT ESTRIBOR THEN
    BABOR:=TRUE;
    posicion_actual:=posicion_actual+1;
ELSE
    BABOR:=FALSE;
END_IF

IF negativo AND NOT FIN_H AND NOT BABOR THEN
    ESTRIBOR:=TRUE;
    posicion_actual:=posicion_actual-1;

```

```

ELSE
    ESTRIBOR:=FALSE;
END_IF

IF FIN_H THEN
    posicion_actual:=0;
END_IF
END_PROGRAM

```

movimientoV: Control del movimiento del sistema hidráulico que mueve la grúa en vertical.

```

(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := '' *)
(* @SYMFILIFLAGS := '2048' *)
PROGRAM movimientoV
VAR
    POSICION_MAXIMA:UINT:=430;
    plazas:ARRAY[0..10] OF UINT := 0,1,1,1,190,190,190,390,390,390;
    posicion_actual:UINT;
    espacio_accion:UINT:=30;
    posicion_destino:UINT;
    ajustado:BOOL;

    positivo:BOOL;
    negativo:BOOL;
    inicio:TON;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
IF (*NOT pantalla.manual AND*) traslado.trasladar OR pantalla.ejecutar THEN
    IF traslado.primer_tramo THEN
        posicion_destino:=plazas[pantalla.desde];
    ELSE
        posicion_destino:=plazas[pantalla.hasta];
    END_IF
END_IF

IF PLC_PRG.iniciando OR traslado.restablecer_coordenadas THEN
    inicio(IN := TRUE, PT:= T#10s);
    negativo:= CONTRAIDO AND (FIN_H OR inicio.Q);
    positivo:=FALSE;
    posicion_actual:=0;
ELSIF traslado.guardar THEN
    IF EXTENDIDO THEN
        negativo:=TRUE;
        positivo:=FALSE;
    ELSIF NOT CONTRAIDO THEN
        negativo:=FALSE;

```

```

                positivo:=FALSE;
        ELSIF POSICION_MAXIMA-20>posicion_actual THEN
                negativo:=FALSE;
                positivo:=TRUE;
        END_IF
    ELSIF traslado.sacar THEN
        IF EXTENDIDO THEN
                positivo:=TRUE;
                negativo:=FALSE;
        END_IF
    ELSIF traslado.trasladando AND puente.coger THEN
        IF posicion_actual<posicion_destino+espacio_accion THEN
                positivo:=TRUE;
                negativo:=FALSE;
        ELSIF posicion_actual>posicion_destino+espacio_accion THEN
                positivo:=FALSE;
                negativo:=TRUE;
        ELSE
                positivo:=FALSE;
                negativo:=FALSE;
        END_IF
    ELSIF (*NOT pantalla.trasladar*) traslado.trasladar THEN
        IF posicion_actual<posicion_destino THEN
                positivo:=TRUE;
                negativo:=FALSE;
        ELSIF posicion_actual>posicion_destino OR posicion_destino=0 THEN
                positivo:=FALSE;
                negativo:=TRUE;
        ELSE
                positivo:=FALSE;
                negativo:=FALSE;
        END_IF
    ELSIF pantalla.manual THEN
        positivo:=pantalla.abajo;
        negativo:=pantalla.arriba;
    END_IF

    IF posicion_actual=posicion_destino THEN
        ajustado:=TRUE;
    ELSE
        ajustado:=FALSE;
    END_IF

    IF positivo AND posicion_maxima>posicion_actual AND NOT SUBIR THEN
        BAJAR:=TRUE;
        posicion_actual:=posicion_actual+1;
    ELSE
        BAJAR:=FALSE;

```

```

END_IF

IF negativo AND NOT FIN_V AND NOT BAJAR THEN
    SUBIR:=TRUE;
    posicion_actual:=posicion_actual-1;
ELSE
    SUBIR:=FALSE;
END_IF

IF FIN_V THEN
    posicion_actual:=0;
END_IF
END_PROGRAM

```

puente: Control del movimiento del variador de frecuencia que permite cargar y descargar la plancha de la grúa.

```

(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := '' *)
(* @SYMFILIFLAGS := '2048' *)
PROGRAM puente
VAR
    coger: BOOL;
    extiende: BOOL;
    contrae: BOOL;

    cogiendo:TON;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
IF PLC_PRG.iniciando OR traslado.restablecer_coordenadas THEN
    contrae:=TRUE;
ELSIF traslado.guardar AND movimientoV.POSICION_MAXIMA<=movimientoV.posic
    extiende:=TRUE;
ELSIF traslado.sacar AND FIN_V THEN
    extiende:=TRUE;
ELSIF traslado.descargar THEN
    IF EXTENDIDO THEN
        coger:=TRUE;
        extiende:=FALSE;
    ELSIF NOT contrae THEN
        extiende:=TRUE;
    END_IF
    cogiendo(IN := EXTENDIDO, PT:= T#1s);
    contrae:=contrae OR cogiendo.Q;
ELSIF traslado.cargar THEN
    IF EXTENDIDO THEN
        extiende:=FALSE;
        coger:=FALSE;

```

```

        ELSIF NOT contrae THEN
            extiende:=TRUE;
            coger:=TRUE;
        END_IF
        cogiendo(IN := EXTENDIDO, PT:= T#1s);
        contrae:=contrae OR cogiendo.Q;
ELSIF pantalla.manual THEN
    coger:=FALSE;
    contrae:=pantalla.meter;
    extiende:=pantalla.sacar;
ELSE
    coger:=FALSE;
    contrae:=FALSE;
    extiende:=FALSE;
END_IF

IF CONTRAIDO THEN
    CONTRAER:=FALSE;
ELSIF contrae THEN
    CONTRAER:=TRUE;
ELSE
    CONTRAER:=FALSE;
END_IF

IF EXTENDIDO THEN
    EXTENDER:=FALSE;
ELSIF extiende THEN
    EXTENDER:=TRUE;
ELSE
    EXTENDER:=FALSE;
END_IF
END_PROGRAM

```

traslado: Lógica de la secuencia a seguir desde que es cargado el vehículo desde un punto hasta que es descargado en otro punto distinto.

```

(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := '' *)
(* @SYMFILIFLAGS := '2048' *)
PROGRAM traslado
VAR
    cargar: BOOL;
    descargar: BOOL;
    guardar:BOOL;
    sacar: BOOL;

    primer_tramo:BOOL:=TRUE;
    trasladando: BOOL;
    coordenadas_restablecidas_tramo1:BOOL;

```

```

        coordenadas_restablecidas_tramo2:BOOL;

        trasladar:BOOL;
        restablecer_coordenadas: BOOL;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
IF pantalla.ejecutar THEN
    trasladando:=TRUE;
    (*primer_tramo:=TRUE;*)
    coordenadas_restablecidas_tramo1:=FALSE;
    coordenadas_restablecidas_tramo2:=FALSE;
END_IF

IF trasladando THEN
    IF primer_tramo THEN (*PRIMER TRAMO*)
        IF NOT coordenadas_restablecidas_tramo1 THEN
            IF FIN_H AND FIN_V AND CONTRAIDO THEN
                restablecer_coordenadas:=FALSE;
                coordenadas_restablecidas_tramo1:=TRUE;
            ELSE
                restablecer_coordenadas:=TRUE;
            END_IF
        ELSE
            IF (cargar AND puente.contrae AND CONTRAIDO) OR (
                trasladar:=TRUE;
                cargar:=FALSE;
                primer_tramo:=FALSE;
                guardar:=FALSE;
            ELSIF guardar OR movimientoV.posicion_destino=0 A
                trasladar:=FALSE;
                guardar:=TRUE;
            ELSIF cargar OR movimientoH.ajustado AND movimien
                trasladar:=TRUE;
                cargar:=TRUE;
            ELSE (*1-IR AL SITIO*)
                trasladar:=TRUE;
            END_IF
        END_IF (*Final primer tramo*)
    ELSE (*SEGUNDO TRAMO*)
        IF NOT coordenadas_restablecidas_tramo2 THEN
            IF FIN_H AND FIN_V AND CONTRAIDO THEN
                restablecer_coordenadas:=FALSE;
                coordenadas_restablecidas_tramo2:=TRUE;
            ELSE
                restablecer_coordenadas:=TRUE;
            END_IF
        ELSE
            IF (descargar AND puente.contrae AND CONTRAIDO) C

```



```

        sacar:=FALSE;
        descargar:=FALSE;
        trasladar:=FALSE;
        trasladando:=FALSE;
        primer_tramo:=TRUE;
    ELSIF sacar OR movimientoH.ajustado AND movimientoH.ajustado
        trasladar:=FALSE;
        sacar:=TRUE;
    ELSIF descargar OR movimientoH.ajustado AND movimientoH.ajustado
        trasladar:=FALSE;
        descargar:=TRUE;
    ELSE (*4-IR AL SITIO*)
        trasladar:=TRUE;
    END_IF
    END_IF(*Final del 2 tramo*)
    END_IF(*Final de tramos*)
END_IF(*FINAL TRASLADANDO*)
END_PROGRAM

(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := '' *)
TYPE PLAZA :
STRUCT
    columna:          USINT;
    fila:             USINT;
END_STRUCT
END_TYPE

```

B. Anexo B-Manuales de usuarios

Manual del cliente El manual del usuario para el cliente dispone de un gran panel informativo del estado de la grúa, y a la derecha se encuentra un pequeño panel, donde se elige la plaza desde la cual se quiere actuar, y dos botones, uno para extraer el vehículo de esa plaza y otro para guardar el vehículo en esa plaza. En la figura 1 se encuentra una imagen del panel explicando cada parte.

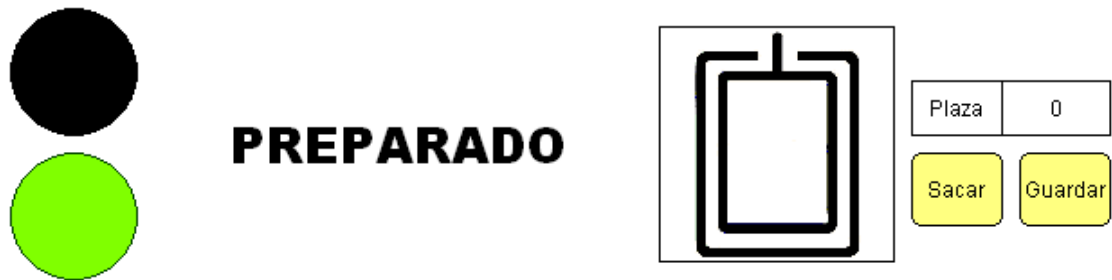


Figura 1: Explicación de la pantalla del cliente.

Manual de mantenimiento El manual del usuario de mantenimiento dispone de tres botones en la parte inferior donde se selecciona el modo:

- Salir: Sale del modo mantenimiento permitiendo hacer uso de los botones de la pantalla del cliente.
- Manual: Permite mover cada uno de los accionamientos de la grúa de forma individual e independiente a través de los botones para cada uno de los elementos y sentidos.
- Automático: Permite mover la grúa de una plaza a otra indicando la plaza de origen y destino y cuando iniciar la acción.

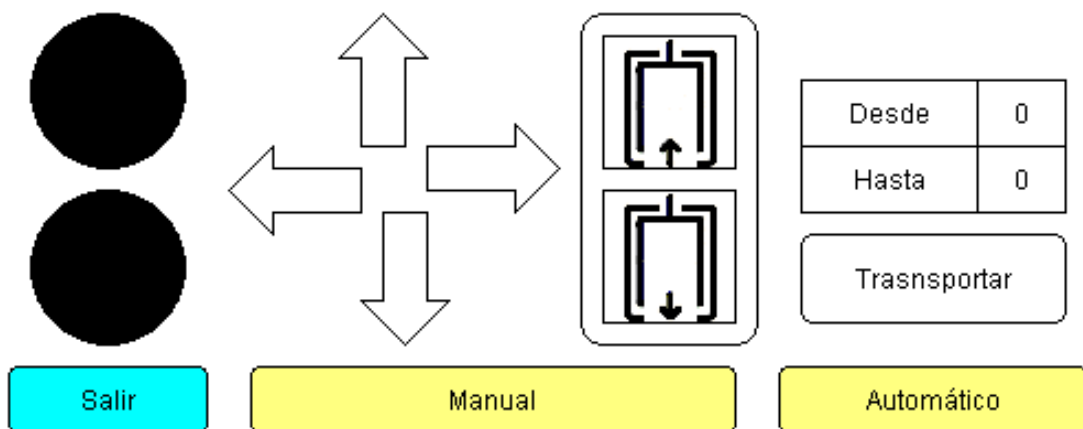


Figura 2: Explicación de la pantalla de mantenimiento.