



Master Plan for OPS in Spanish Ports is co-financed by the European Union Trans-European Transport Network (TEN-T) under grant agreement INEA/CEF/TRAN/M2015/1128893



CRANE PROTOTYPE REMOTELY CONTROLLED CABLE HANDLYNG SYSTEM FOR ONSHORE POWER SUPPLY FOR SPANISH PORTS

Descripción breve

Este documento recoge informes de avances del proyecto, los resultados y conclusiones

ROQUE JACINTO SALTAREN PAZMIÑO
roquejacinto.saltaren@upm.es



Co-financed by the European Union
Trans-European Transport Network (TEN-T)



CENTRE FOR
AUTOMATION AND ROBOTICS

Puertos del Estado



GOBIERNO MINISTERIO

Índice contenido

<i>Índice contenido</i>	2
Informe Final	3
Desarrollo del proyecto	3
Hitos alcanzados.	3
FASE-1: Concepción de un sistema tecnológico OPS	3
FASE-2: Desarrollo de un prototipo físico.	3
Difusión de resultados	4
Colaboraciones con empresas.	4
FASE-2: Diseño del prototipo de grúa OPS	5
<i>Contexto</i>	5
Aspectos generales	5
<i>Normativas aplicables</i>	7
Descripción técnica de la grúa OPS PE	7
<i>Componentes de la grúa</i>	7
<i>Base</i>	8
Proceso de fabricación de la base y el montaje.....	8
<i>Columna</i>	8
Detalles de la fabricación de la columna	10
Base de la columna	12
<i>Brazo telescópico</i>	13
Eslabón P1.....	15
Proceso de fabricación del eslabón P1:	18
Proceso de fabricación del eslabón P2:	21
<i>Brazo telescópico P3</i>	22
Proceso de fabricación del eslabón P3:	23
<i>Seguridad y carenado</i>	24
Distribución de sensores y topes mecánicos del alargamiento telescópico	25
<i>Sistema de control</i>	27
Modos de funcionamiento	27
<i>Anexos</i>	30
Publicaciones en revistas internacionales JCR	30
Tesis doctoral.....	31



Informe Final

Este documento recoge los resultados finales del proyecto ACTION 2015-EU-TM-0417-S “MANDATE 10” del Centro de Automática y Robótica, CAR UPM-CSIC.

Desarrollo del proyecto

Hitos alcanzados.

FASE-1: Concepción de un sistema tecnológico OPS

En esta fase-1, de acuerdo con los requerimientos de los puertos españoles para la implantación de sistema de automatizados de conexión eléctrica de barcos a la red eléctrica de los puertos españoles, se realiza un profundo estudio técnico y económico acerca de las tecnologías de grúas automatizadas más apropiadas en consideración de los tipos de buques y las necesidades de servicio de varios tipos de puertos marítimos españoles.

La fase-1, concluye con la propuesta de tres tipos de soluciones tecnológicas OPS de sistemas de manipulación automatizados para la conexión de barcos a la red eléctrica del puerto de atraque. Las soluciones tecnológicas propuestas además de las especificaciones técnicas y económicas incluyen los planos mecánicos convenientes para gestionar con los fabricantes la compra de grúas comerciales y las adaptaciones mecánicas para la integración en la grúa de los equipos de manipulación de los cables eléctricos de conexión de los barcos.

FASE-2: Desarrollo de un prototipo físico.

Durante la fase-2, se desarrolló un prototipo físico a escala de la grúa robotizada basado en las especificaciones de la fase-2 de “Memoria técnica proyecto OPS” de 2018. En la “Memoria técnica de 2018” se incluyó el diseño de la grúa robotizada, los planos mecánicos y el diseño de la estrategia de control. Como resultado de la fabricación del prototipo real de la grúa robotizada se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- a. Fabricación del prototipo contratando talleres especializados y adquisición de todos los componentes mecánicos, de transmisión de potencia, motores y de control que comprende el software y un autómata SIEMENS 1500.
- b. Ensamblado de los mecanismos estructurales, articulados, coronas dentadas, sistemas lineales de guiado mecánico, motores con sus reductores, sistemas de contrabalanceo con contrapesos y sensores de final de carrera.
- c. A partir del prototipo mecánico, se desarrollaron las siguientes actividades: Cableado eléctrico de potencia y control de la electrónica de potencia y del armario eléctrico, cableado del computador de control basado en un PLC SIEMENS 1500.
- d. A partir del prototipo operativo completamente se desarrollaron los algoritmos de control de movimiento robótico de la grúa y se implementaron programándolos mediante el portal “TIA” de SIEMENS siguiendo la metodología de la Guía GEMMA aplicando seis niveles de grafos GRAFCET (Seguridad, Rearme, Inicio, Servicio, Conducción y Producción). Los resultados

conseguidos han sido exitosos y esto se pueden verificar en el video técnico: “OPS Crane Prototype” - <https://videocoaching.wistia.com/medias/zmteqz1rjz>

- e. Se ha presentado en 09/2019, el informe de avance: “Automation task of the ship's electrical connection in the Spanish ports” ante la representante de la unión europea.
- f. Se desarrollo el control de la grúa robotizada basado en Inteligencia Artificial (AI). Para estos efectos el sistema de control basado en AI (Artificial Intelligence) en base a modelos matemáticos de Redes de PETRI con reglas y lógica borrosa.

Difusión de resultados

- a. Como resultados de la difusión internacional de los resultados del proyecto se ha publicao un articulo científico en la revista Journal of Electronics de tipo Q2 JCR.
“An Intelligent Algorithm for Decision Making System and Control of the GEMMA Guide Paradigm Using the Fuzzy Petri Nets Approach by Oz Yakrangi 1, Roque J. Saltarén Pazmiño, Juan S. Cely, Alejandro Rodríguez, Cecilia E. García Cena, Pablo San Segundo, Julio De La Cueva and Amir Shapiro 3. Electronics 2021, 10(4), 489;
<https://doi.org/10.3390/electronics10040489>, <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/4/489>
- b. Se ha realizado la tesis doctoral: Study and development of an artificial intelligence algorithm for revisiting the GEMMA Guide paradigm. Tesis doctoral, Autor D. Oz Yakrangi. Director Roque Saltaren Pazmino. En esta tesis doctoral se puede encontrar en su totalidad la parte científica y técnica del desarrollo del prototipo y sistema de control, por lo que este documento forma parte integral de los resultados de este informe final y se incluye como anexo.

Colaboraciones con empresas.

Se ha emitido un documento de compromiso por parte del CAR UPM-CSIC de colaboración en base a los resultados del proyecto OPS alcanzados la empresa española TEC CONTAINER S.A., para un futuro desarrollo de una Unidad móvil para la alimentación eléctrica de buques de baja tensión.



FASE-2: Diseño del prototipo de grúa OPS

Contexto

La presente memoria técnica de la FASE-2, se refiere al diseño de una grúa para la manipulación de cables de media tensión que se deben posicionar con su conector enfrente de la escotilla de un barco en la que esta previsto enchufar el suministro de potencia de la red eléctrica del puerto.

El desarrollo de este proyecto se ha realizado bajo el proyecto europeo financiado por el instrumento Connecting Europe Facility -CEF denominado "OPS Master Plan for Spanish Ports (2015-EU-TM-0417-S)"

Aspectos generales

El concepto de grúa OPS (Onshore Power Supply) desarrollado para este proyecto se refiere a un mecanismo con giro en su base y un brazo telescópico ensamblado sobre una columna de 4 mts. de altura. El brazo telescópico se desplaza horizontalmente hasta una distancia de 3 mts. desde su punto de casa (home). Sobre la columna la grúa tiene un almacén que puede guardar hasta 12 mts. de cable que son entregados o recogidos mediante un mecanismo especial basado en dos tándems de poleas. Un tándem fijo de tres poleas y un tándem móvil de dos poleas que se encarga de recoger o entregar el cable (técnicamente a este sistema de manejo de cables se le suele llamar FESTOON).

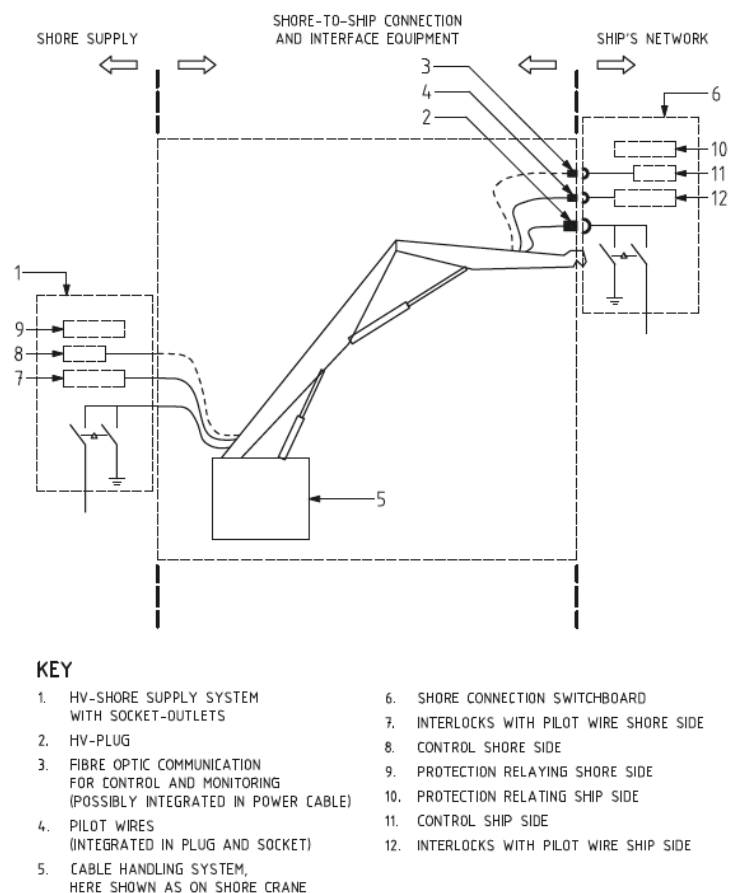
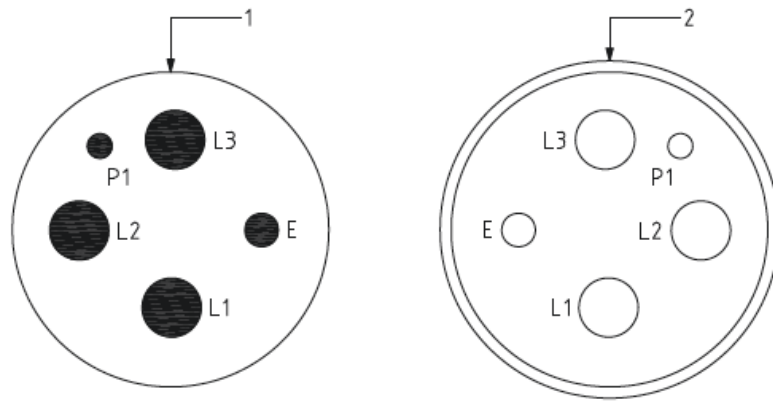


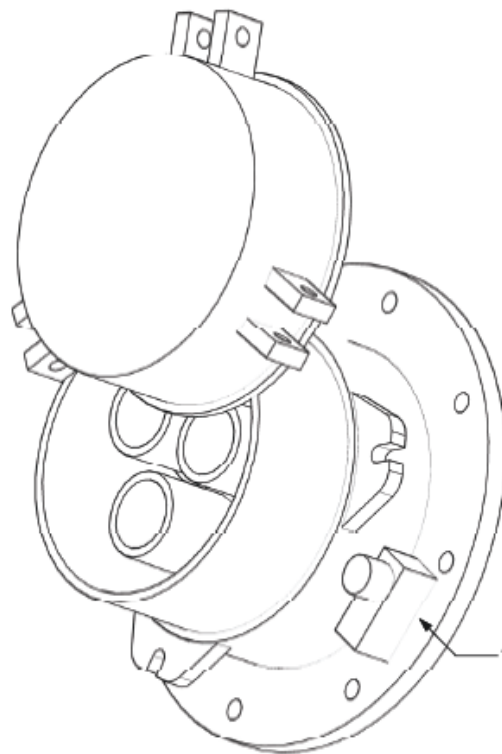
Fig. 1 Vista general de un sistema OPS, IEC/ISO/IEEE 80005-1



KEY

- 1. POWER PLUG FACE (SHORE SIDE PLUG)
- 2. SOCKET OUTLET FACE (SHIP SIDE SOCKET)
- E. EARTH
- P1. PILOT LINE 1 (USED FOR GROUND CHECK)
- L1. PHASE A - PHASE R
- L2. PHASE B - PHASE S
- L3. PHASE C - PHASE T

Fig. 2 Vista general de los pines de un conexión, IEC/ISO/IEEE 80005-1



KEY

- 1. FAIL-SAFE LIMIT SWITCH

Fig. 3 Vista de un conector con sensor de presencia, IEC/ISO/IEEE 80005-1

Normativas aplicables

Las siguientes normativas son aplicables al diseño, la instalación y operación de un sistema OPS.

IEC / ISO / IEEE 80005-1: 2012 (E); IEC / IEEE 80005-2: 2016

IEC/ISO/IEEE 80005-1 Ed.1: Utility Connections in PORT - Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems, 2012

IEC 62613-1: High-voltage Plugs, Socket-outlets and Ship Couplers for High-voltage Shore Connection Systems (HVSC Systems) - Part 1: General Requirements.

IEC 62613-2: High-voltage Plugs, Socket-outlets and Ship Couplers for High-voltage Shore Connection Systems (HVSC Systems) - Part 2: Dimensional Compatibility and Interchangeability Requirements for Accessories to be Used by Various Types of Ship.

La normativa describe los sistemas de conexión a tierra de alta tensión (HVSC), a bordo del buque y en tierra, para suministrar energía eléctrica desde la orilla. Esta norma es aplicable al diseño, instalación y prueba de sistemas HVSC, en los siguientes subsistemas:

- sistemas de distribución en tierra HV;
- conexión de tierra a barco y equipo de interfaz;
- transformadores / reactores;
- semiconductores / convertidores rotativos;
- sistemas de distribución de buques; y
- sistemas de control, monitoreo, enclavamiento y administración de energía.

No se aplica al suministro de energía eléctrica durante los períodos de atraque, p. Ej., Acoplamiento en seco y otras tareas de mantenimiento y reparación fuera de servicio.

Descripción técnica de la grúa OPS PE

El diseño de la grúa se ha realizado con el paquete INVENTOR 2017. Para explicar las distintas partes diseñadas de la grúa, varias piezas se ilustran con colores específicos que ayudan a su descripción técnicas y facilitan su localización en las vistas de los ensambles. Por ejemplo, las guías lineales de la marca ZIMM se han ilustrado de color naranja y de color azul los rodamiento combinados que van sobre las guías.

Componentes de la grúa

La grúa se divide en las siguientes partes, para facilitar su especificación:

- Base
- Columna
- Brazo superior
- Poleas y sistema de control del cable
- Seguridad y carenado
- Control

Los siguientes apartados describen, sobre los planos de diseño, los aspectos funcionales y mecánicos necesarios para ofertar la fabricación de la grúa OPS. En general la grúa se ha diseñado con perfiles de acero soldado, de manera genérica de hierro, fabricados por Protubsa o por otros fabricantes que provean las mismas medidas

Considerando que la fabricación soldada de la grúa puede distorsionar ligeramente su geometría, las guías lineales deben ser montadas y alineadas después de armar y soldar las estructuras que las llevan como son la columna y los eslabones prismáticos.



Base

La base de hormigón de la grúa deberá tener una altura de al menos 100 mm de hormigón reforzado. Para la base de hormigón se debe considerar un peso de 2500 kg. que se transmite desde el soporte de acero de la grúa de 2,0x2,0 mts.

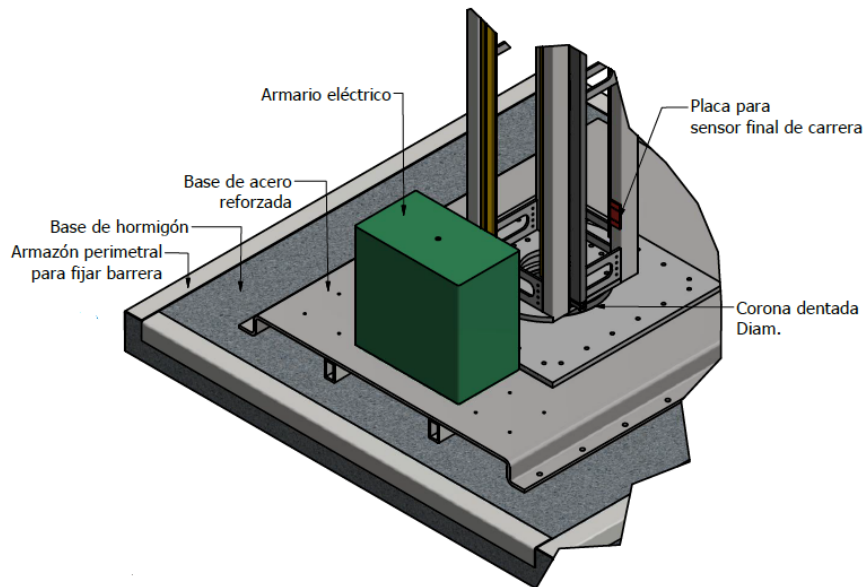
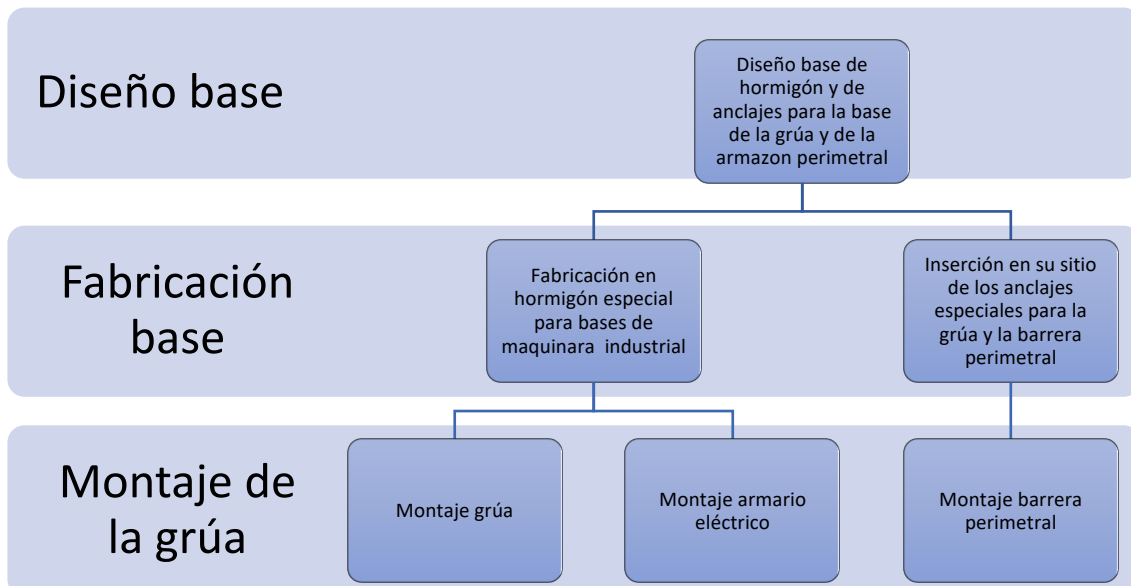


Fig. 4 Vista base de la grúa

Se ha previsto un armazón perimetral en ángulo de hierro plegado de 100x100x5 mm. con el propósito de ensamblar la valla metálica del carenado de la grúa.

Proceso de fabricación de la base y el montaje



Columna

La estructura de la columna se fabricará en base a tubos de hierro rectangulares Protubsa de 100x60x8 mm. soldados en su parte superior e inferior a sendas placas de hierro. La estructura de la columna esta reforzada

lateralmente con placas de hierro (placas de refuerzo tipo1 y tipo-2) dispuestas en dos caras de la columna, como se muestra en los planos.

En la parte superior de la columna se encuentra ensamblado un tándem fijo de tres poleas con un soporte soldado sobre la columna.

En la columna se encuentran soldada guías líneas para para el desplazamiento del tándem de dos poleas que controla el almacén de cables.

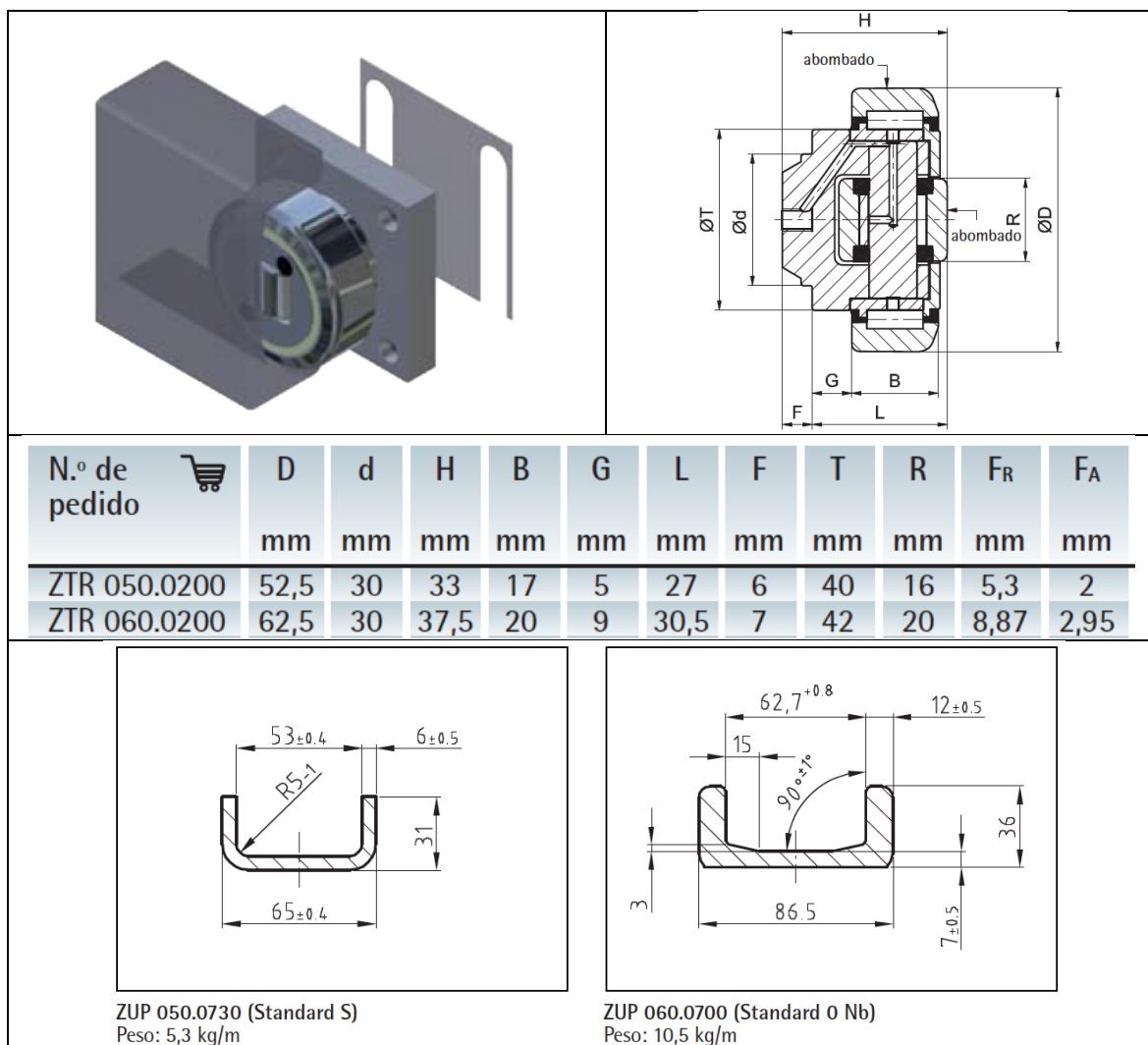


Fig. 5 Guías lineales con rodamiento combinado

La columna en la parte superior monta un husillo motorizado marca ZIMM que controla el posicionamiento del tándem de dos poleas.

Las siguientes son las especificaciones del husillo elevador.

Marca ZIMM Husillo Z-25-RN 1,00 ELEVADOR Z-25-RN R:6:1 Z-25-Rn Long. 3500 mm Z-25-DM Z-25-SIFA Z-25-GLP Husillo 30x 12 inoxidable	
--	--

80-P4-075-B14B 1,00
 Motor del accionamiento
 MOTOR 80-4POLOS 0,75 Kw B14B
 Z-25mf-160105
 KUZ-24-16-24

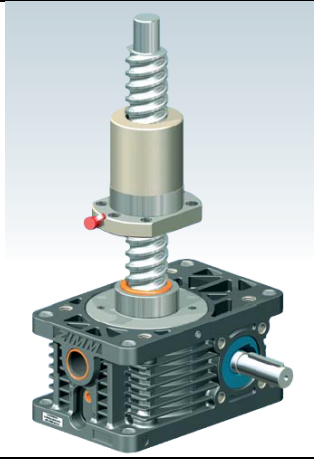


Fig. 6 Elevador con husillo

El siguiente plano muestra las disposiciones de los sistemas de guiado y del accionamiento del tándem de dos poleas.

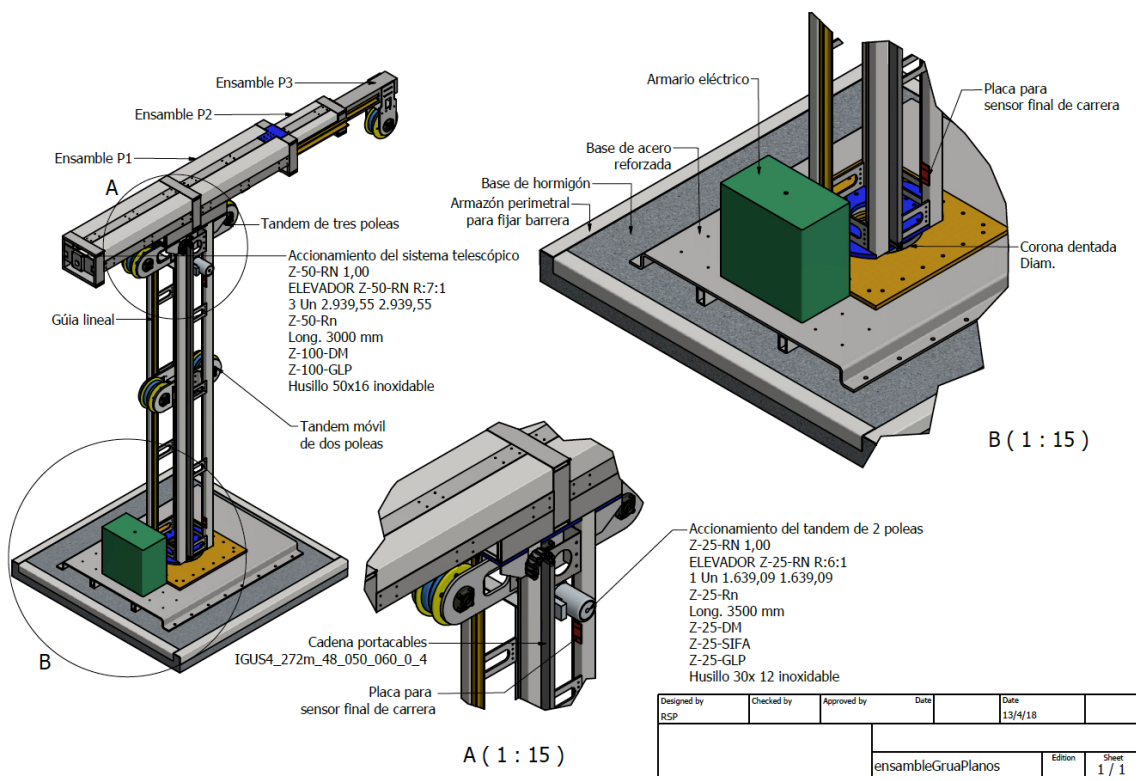


Fig. 7 Sistemas de guiado del tándem de dos poleas

En el anexo se tiene los planos de detalle y de fabricación de la columna.

Detalles de la fabricación de la columna

La columna se fabrica armando la estructura tubular mediante la soldadura de los tubos a dos tipos de placas, superior e inferior, como se muestra (en azul) en el plano adjunto.

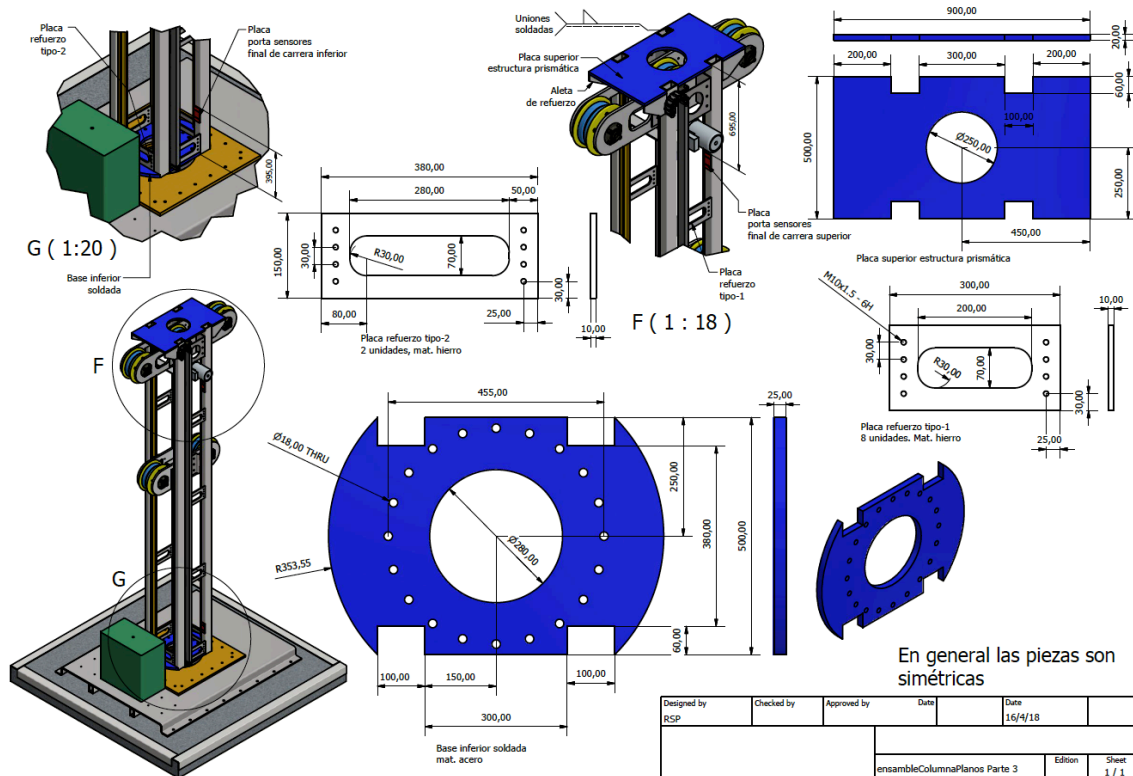
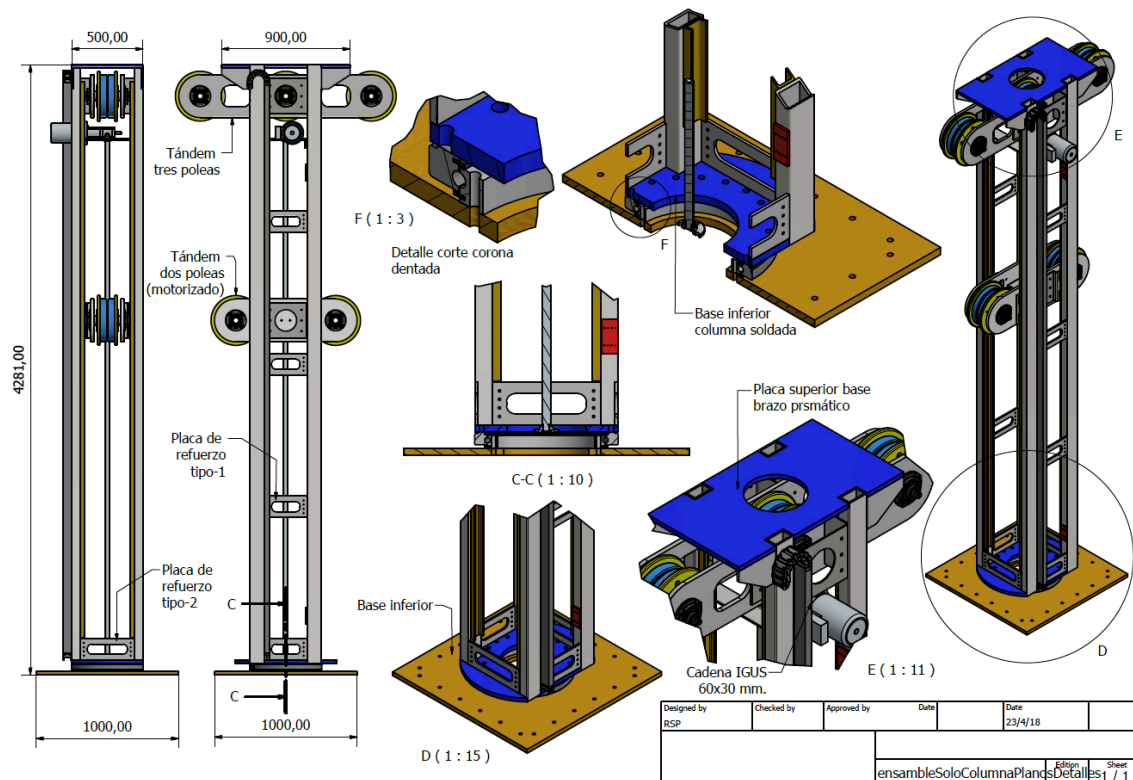


Fig. 8 Estructura tubular de la columna

Para aumentar la rigidez lateral de la columna, se han previsto refuerzos laterales sobre dos caras de la columna (ver Fig. 8). Estos refuerzos están basados en las placas soldadas tipo-1 de 300 mm. de largo. Las otras dos cara de la columna no tiene refuerzo porque a lo largo de estas caras se desplaza verticalmente el tándem de dos poleas que recogen o entregan el cable de acuerdo a la localización de la escotilla de conexiones del buque y la variación de las mareas.

Base de la columna

La base metálica que monta la columna y la ancla ala base de hormigón, esta formada por una chapa plegada de hierro “Base inferior soldada” como se muestra en la Fig. 9. Para fijar la columna a la base se han diseñado agujeros convenientemente localizados que fijan la placa inferior de la corona dentada a la base y también se han dispuesto agujeros sobre las aletas laterales para fijar la base sobre los anclajes previstos en el hormigón.

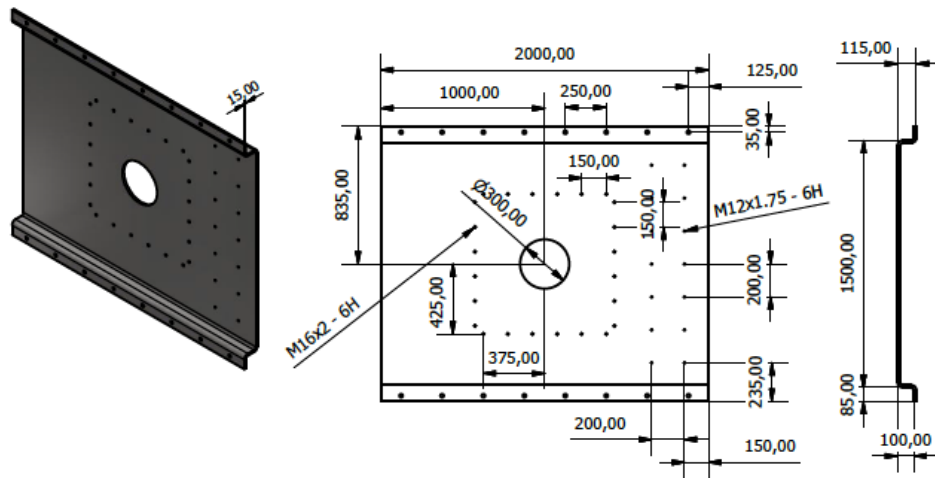


Fig. 9 Chasis de la base del robot

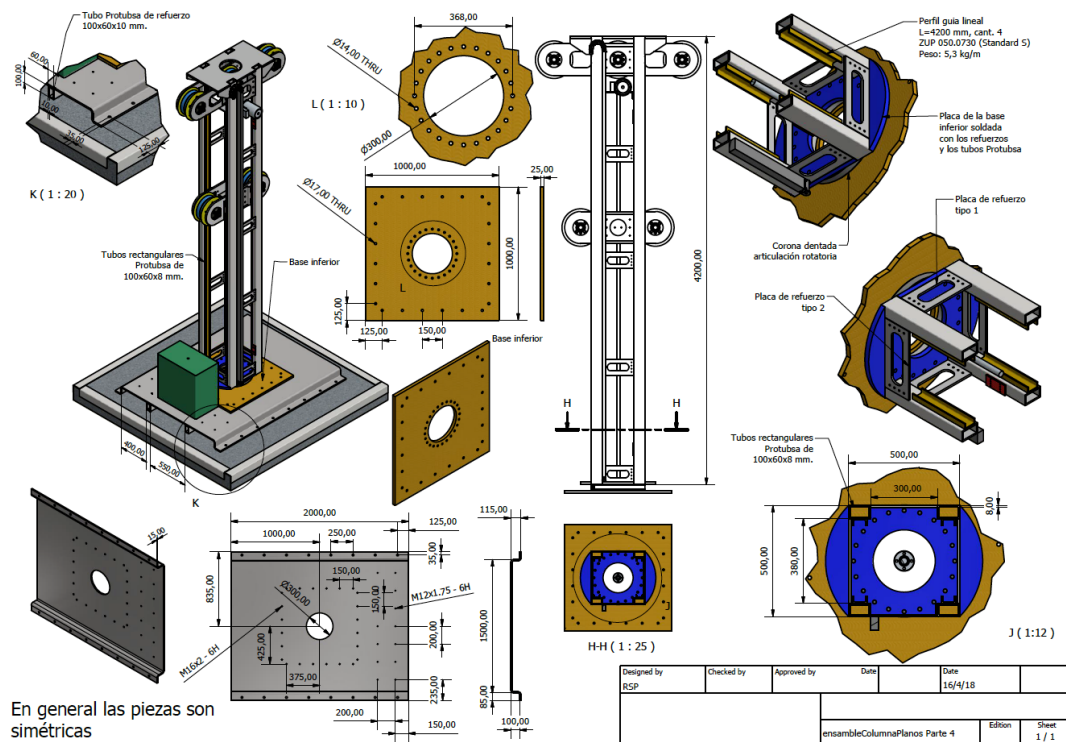


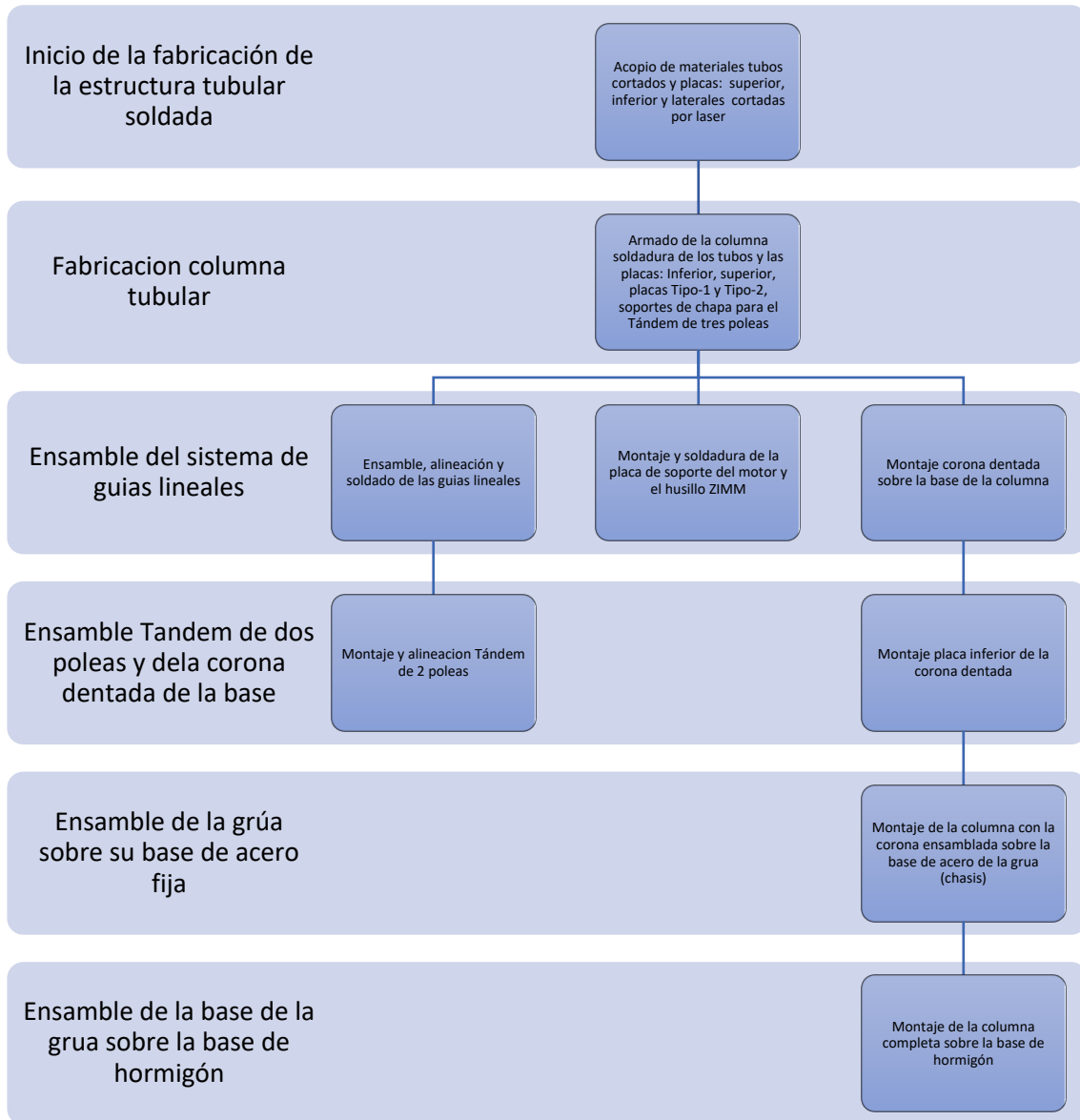
Fig. 10 Base de la columna

En la Fig. 10, se ve como el conjunto de la columna con la corona dentada va montado sobre la base diseñada en chapa plegada de 15 mm y medidas de 2.000x1.670 mm.

Procesos de fabricación de la columna:

- Fabricación de la estructura tubular soldada, placa superior e inferior y refuerzos laterales Tipo.1 y Tipo-2
- Montaje alineación y fijación de las guías lineales ZIMM
- Fabricación de la placa inferior de hierro de la corona dentada

- d. Fabricación del chasis plegado de la base de 2.000x 1.670 mm.
- e. Montaje de la parte superior de la corona dentada a la columna
- f. Montaje de la placa de hierro de 1.000x1.000 mm. a la parte inferior de la corona
- g. Montaje de la columna con la corona ensamblada sobre la base de 2.000x1.670 mm.
- h. Ensamble de la base de la grúa sobre los pernos de anclaje de las base de hormigón.



Brazo telescópico

El brazo telescópico se ensambla en la parte superior de la columna, el montaje del brazo se realiza sobre la placa superior mediante pernos. El brazo esta formado por tres eslabones, estos eslabones se denotan como P1, P2 y P3 en los planos de fabricación.

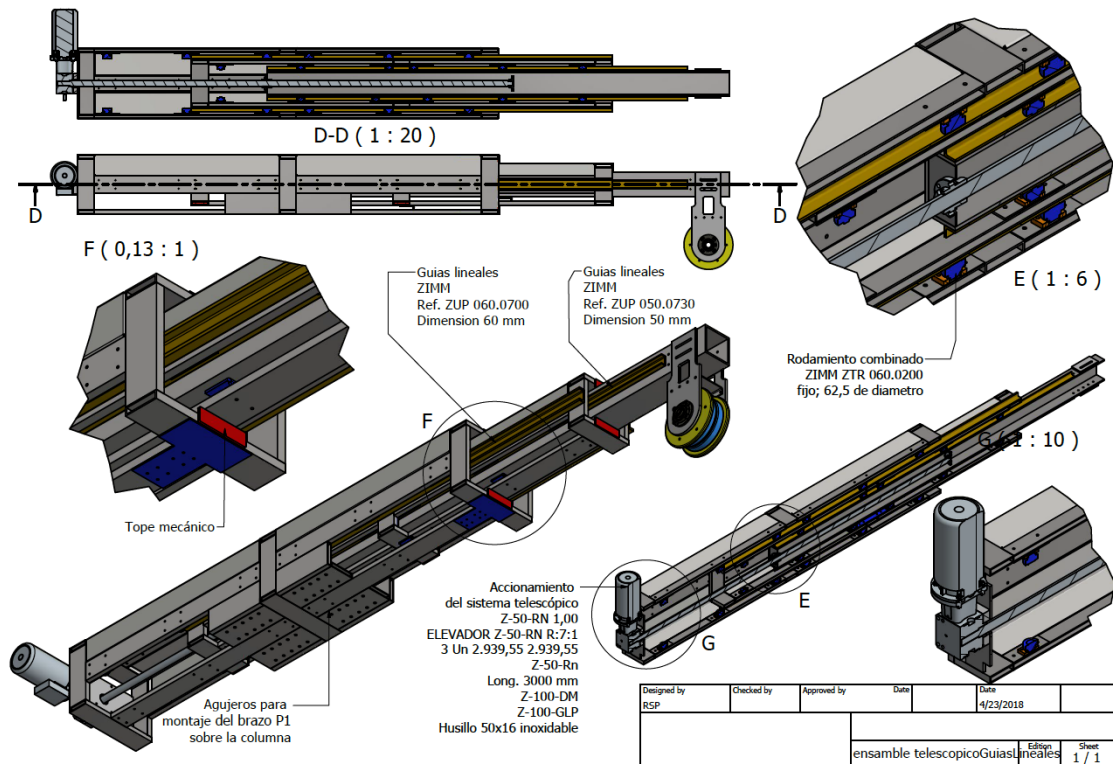
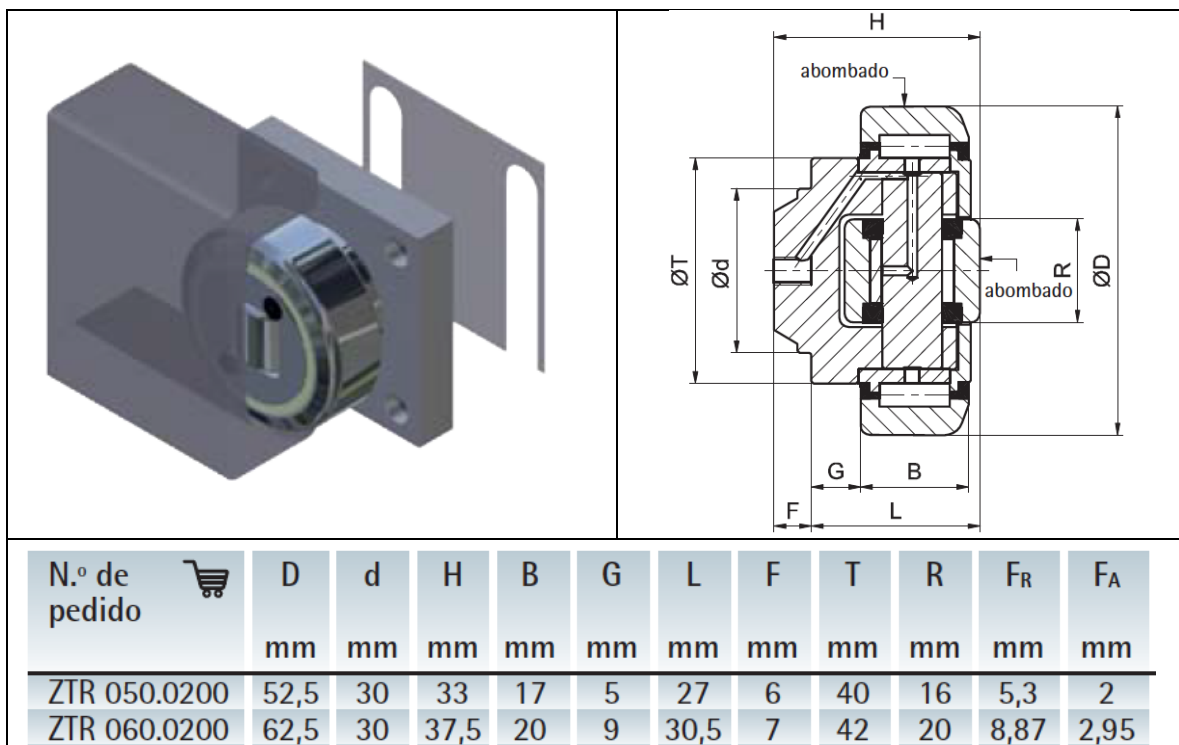


Fig. 11 Brazos telescópicos

De manera general los eslabones P1 y P2, se fabrican mediante un esqueleto soldado con tubos Protubsa de 120x30x5 mm. La estructura de esqueleto es importante porque al ser un prototipo experimental es posible hacer distintas adaptaciones, por ejemplo soportes para sensores adicionales, etc.



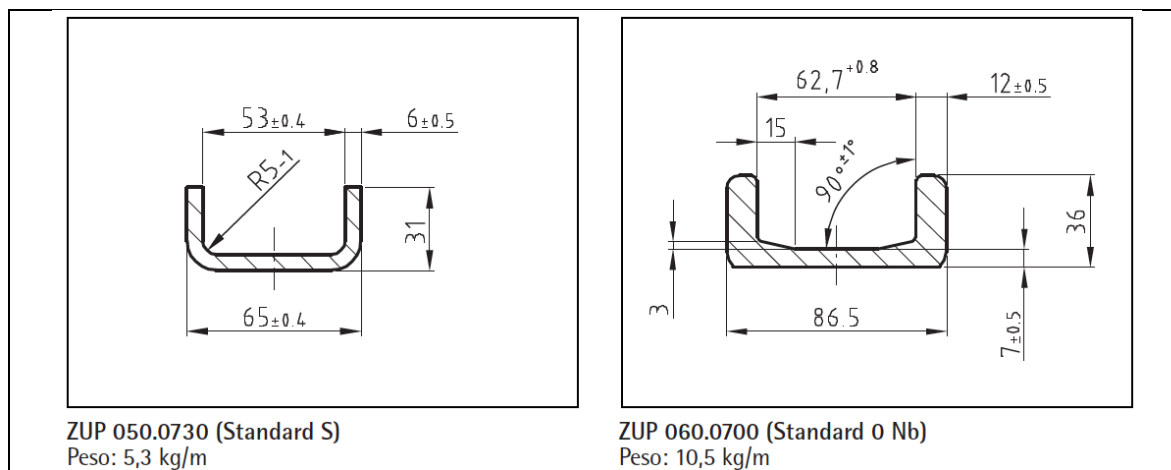


Fig. 12 Guías lineales con rodamiento combinado

El brazo telescópico en eslabón P1 monta un husillo motorizado marca ZIMM con su tuerca fijada en el eslabón P3 y que controla el posicionamiento el desplazamiento de los eslabones P2 y P3 mediante el desplazamiento del eslabón P3 y el arrastre al llegar a su tope del eslabón P2

Las siguientes son las especificaciones del husillo para el brazo telescópico.

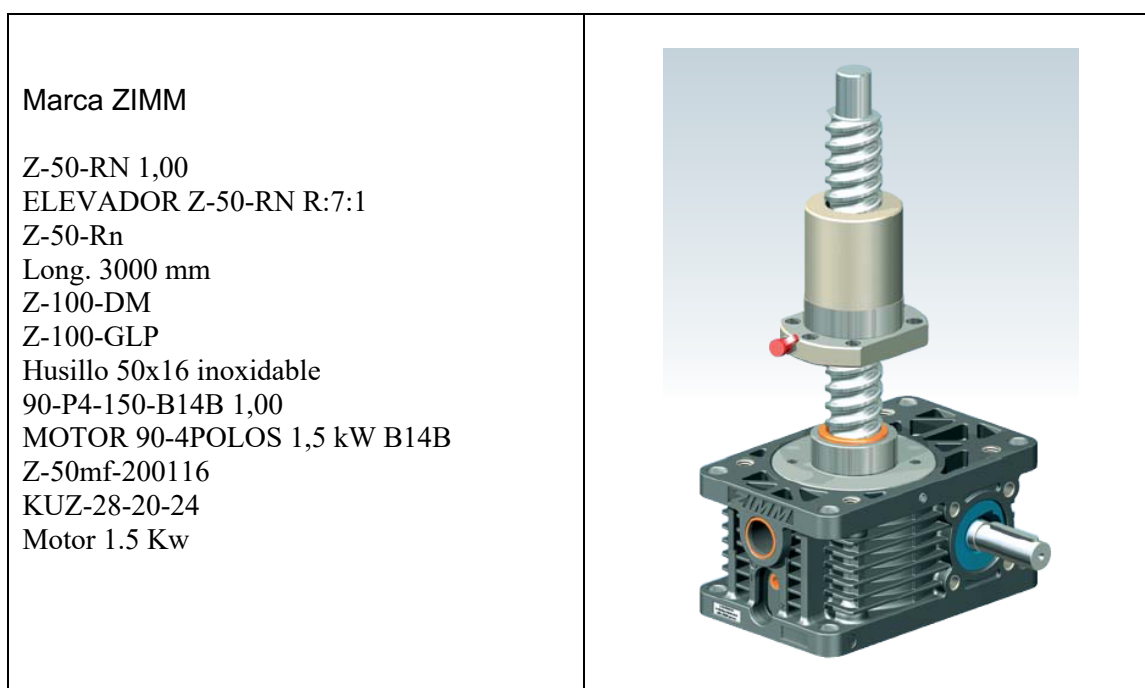
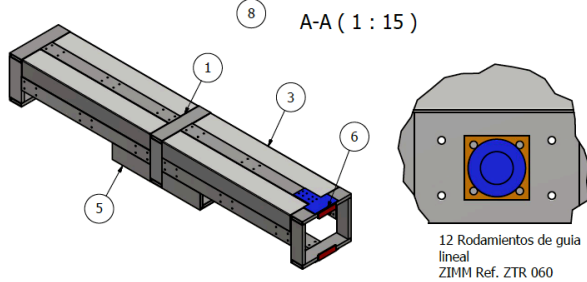
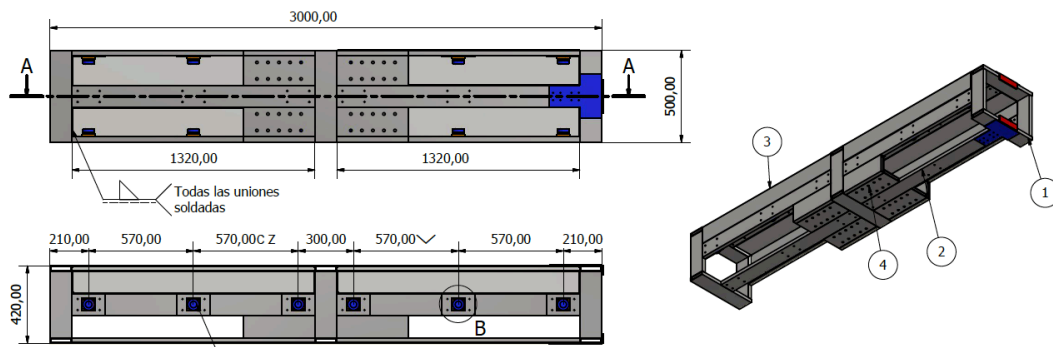


Fig. 13 Elevador con husillo

Eslabón P1

La estructura del eslabón P1 se fabrica a partir de un esqueleto de tubos de 120x30x5 mm. soldados La estructura se construye a partir de tres marcos de tubo soldados unidos entre si por tubos de un largo de 1320 mm.

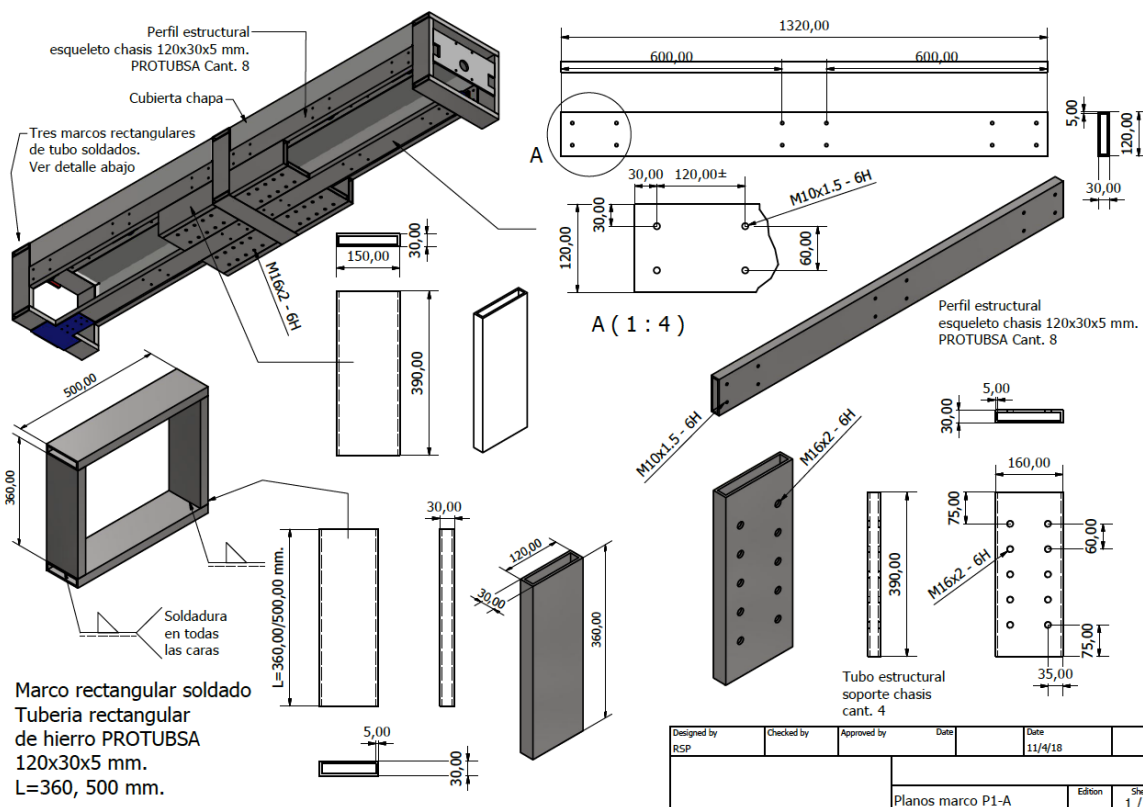


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3	marco_420x420x5mm	
2	8	perfil_protubsa_120x30x5mmx1320	
3	4	cubierta pluma-1x1320mm	
4	4	perfil_protubsa_150x30x5mmx390	
5	4	perfil_protubsa_120x30x5mmx390	
6	2	tope_2	
7	2	refuerzo lateral doble MEDIO	
8	12	ensamblaje rodamiento lineal ZTR 060	

Designed by rsalfaren	Checked by	Approved by	Date 10/4/18	Date
CAR UPM- Puertos del Estado			Eslabón prismático - P1	
			GRÚA OPS/Brazo Prismático	Sheet 1 / 1

GRUPO DE PLANOS MECANISMO PRISMATICO
Los planos de detalle se codifican como P1-XXX

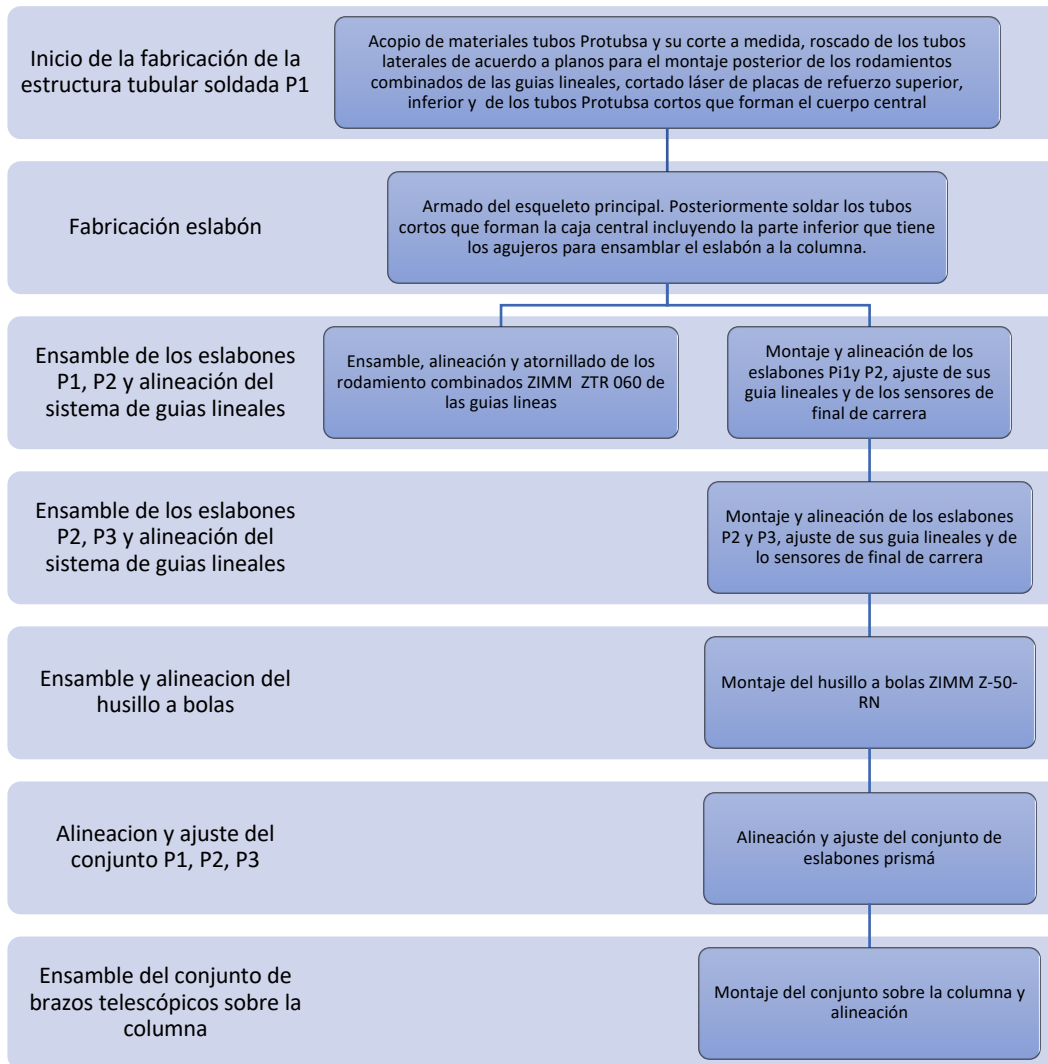
B (1 : 3)



Designed by RSP	Checked by	Approved by	Date 11/4/18	Date
Planos marco P1-A			Edición	Sheet 1 / 1

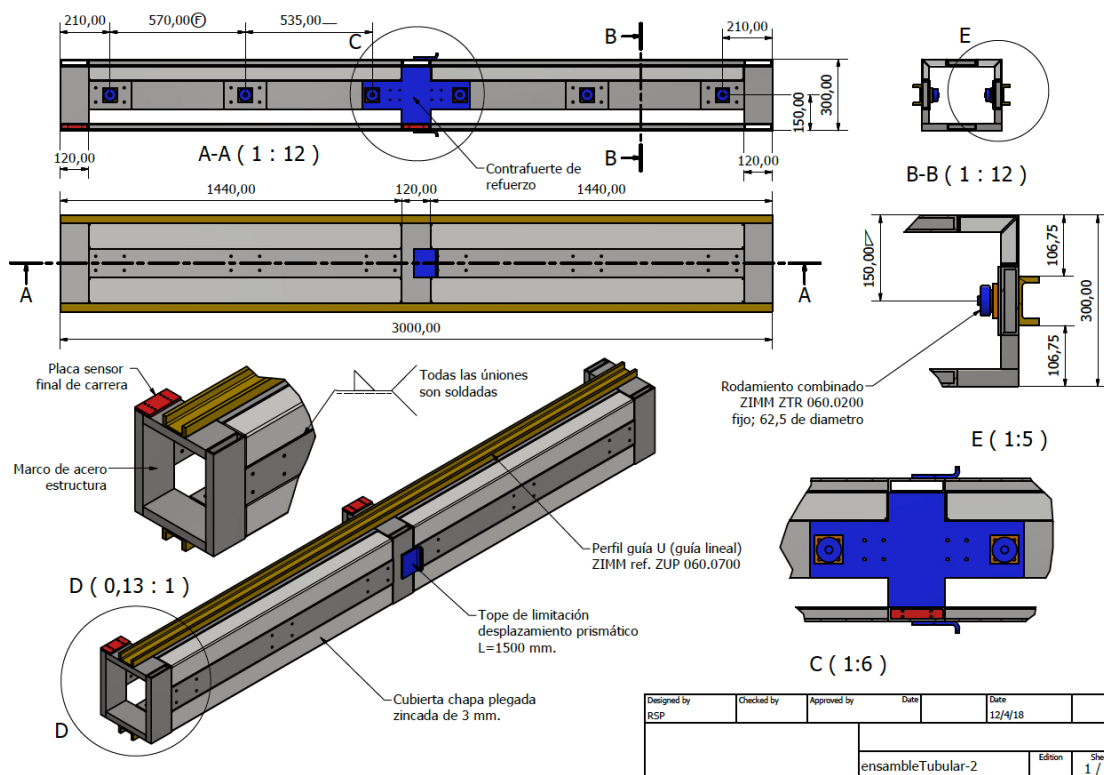
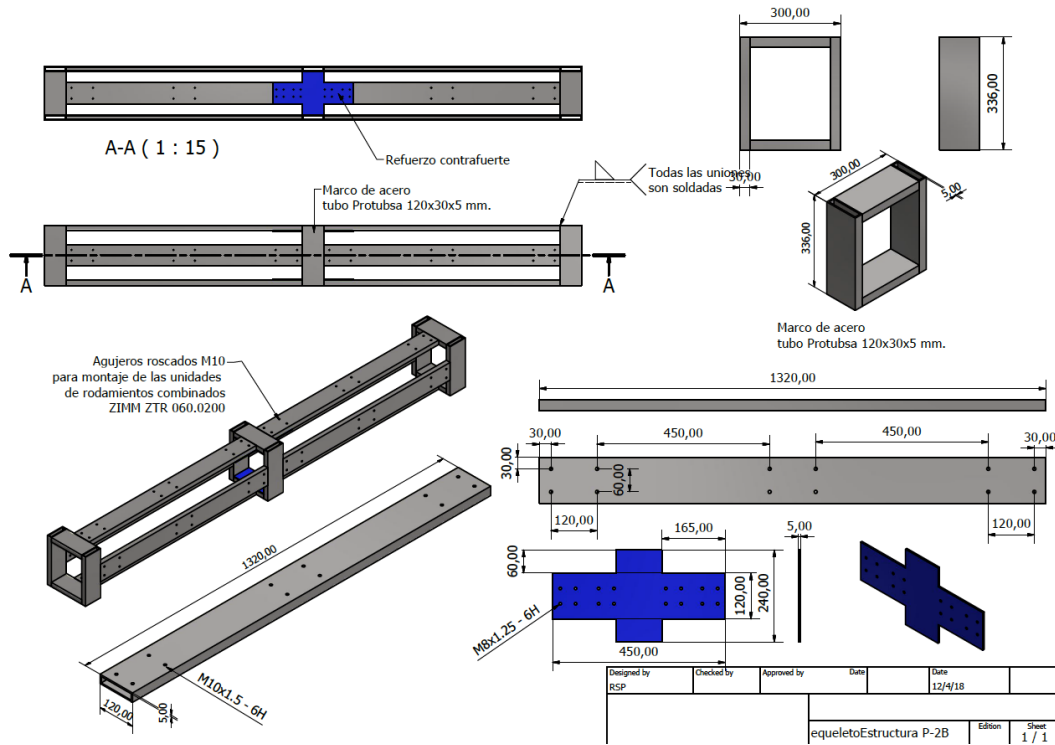
Como se muestra en la Fig. 12, el brazo telescópico P1 en la parte superior lleva una cubierta desmontable de chapa plegada de hierro cincado de 3mm de espesor. El objetivo de esta cubierta es servir para resguardar las guías lineales y sus rodamientos del agua y el polvo y facilitar su mantenimiento.

Proceso de fabricación del eslabón P1:



1.1.1.1. Brazo telescópico P2

El brazo telescópico P2 se fabrica de manera similar al brazo P1, en este caso el esqueleto se forma por tres anillos de tubo rectangular Protubsa de 120x30x8 mm. unidos entre si por perfiles de tubo rectangular de 1320 mm. de largo.



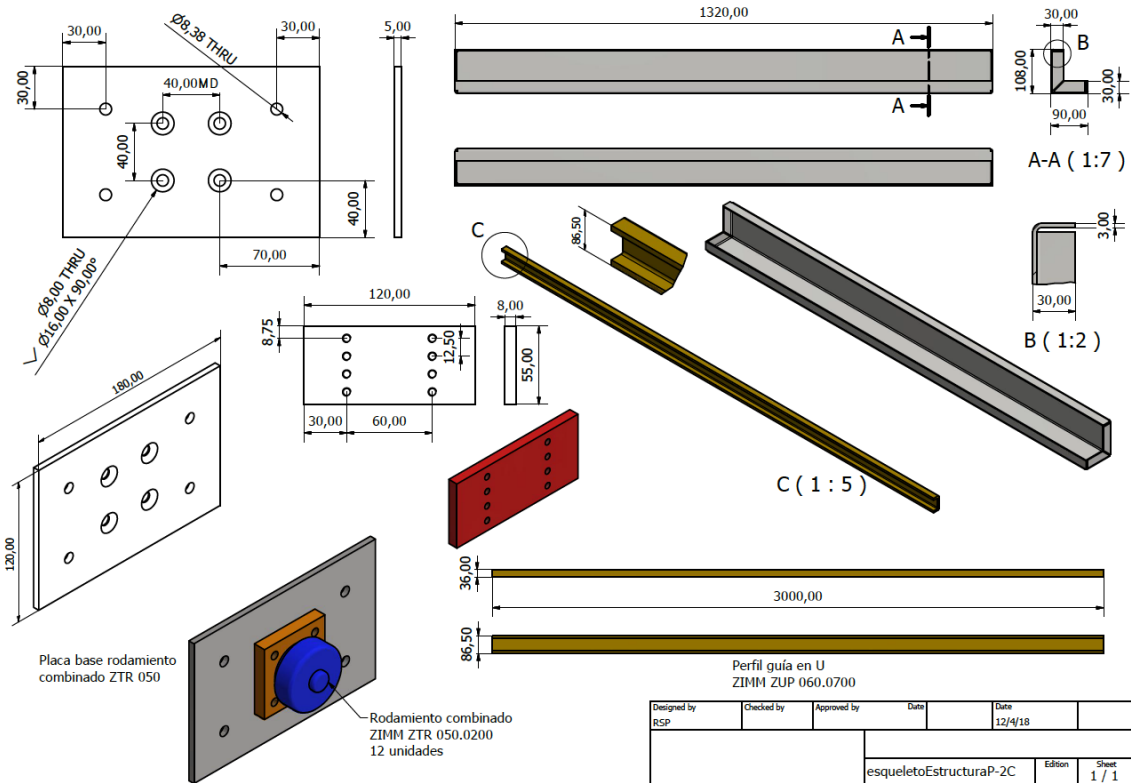
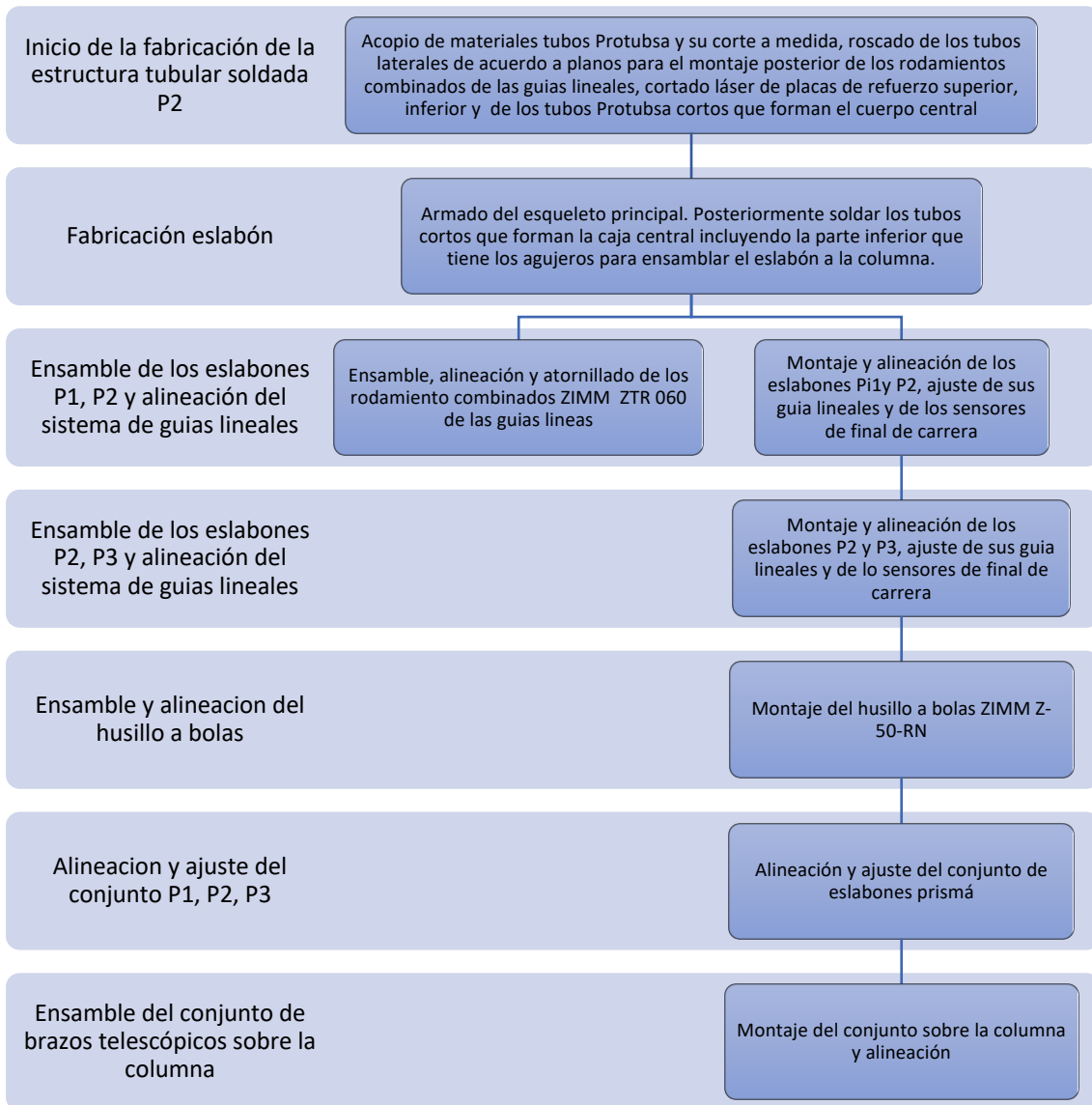


Fig. 13 Brazo telescópico P2

El brazo telescópico P2 se desplaza sobre el sistema de guías ZIMM como se muestra en la Fig. 11. Como se muestra en la Fig. 13 el brazo P2 tiene unas cubiertas superiores de chapa de hierro cincadas y plegadas de 3 mm.

Como se indica en los planos Fig. 13 el brazo telescópico P2 lleva soldadas en sus extremo dos soportes para sensores de final de carrera (ilustrados en color rojo).

Proceso de fabricación del eslabón P2:



Brazo telescópico P3

El brazo telescópico P3 esta formado por un único tubo Protubsa de 180x180x10 mm. de 3300 mm. de largo. Sobre el tubo P3 se encuentran soldadas las guías lineales U ZIMM ZUP 050.0730. Localizados estratégicamente entre si una distancia 1320 mm, se encuentran dos placas adaptadoras para los sensores finales de carrera. En un extremo del tubo P3 se halla soldada un placa de hierro “Soporte de la tuerca del husillo Z-50-RN” (ver detalle C y D) que sirve para montar la tuerca del husillo a bolas que controla el desplazamiento del mecanismo prismático.

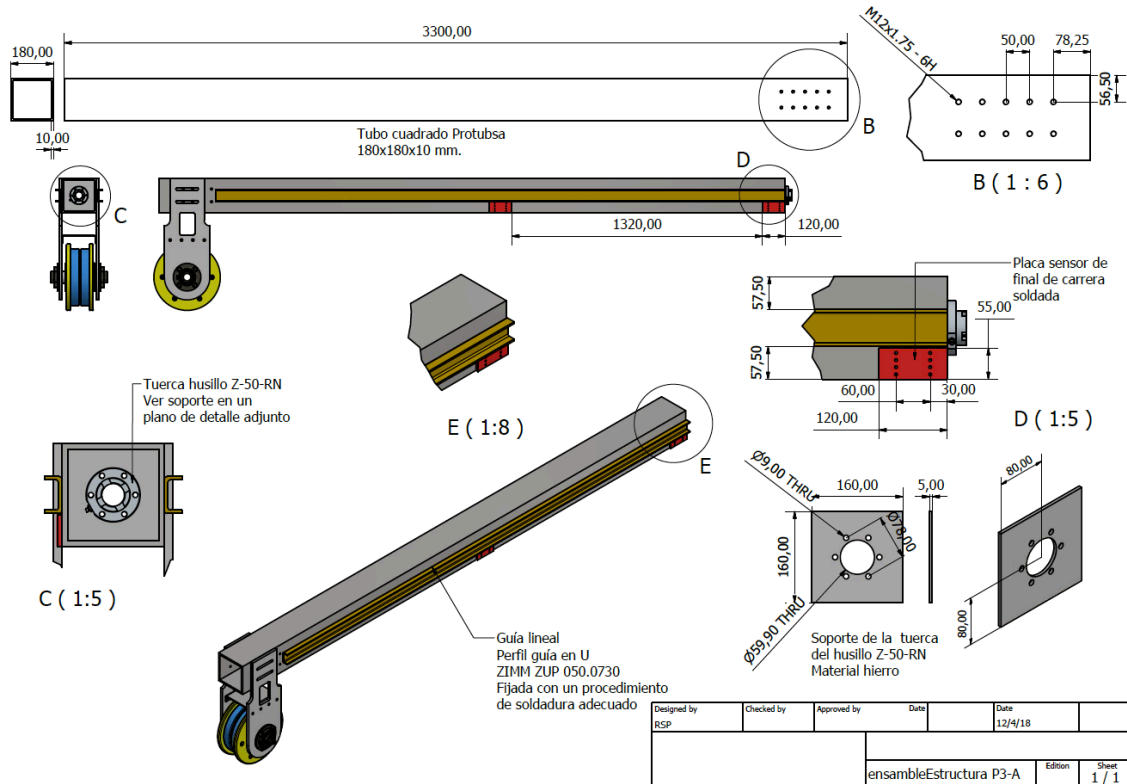
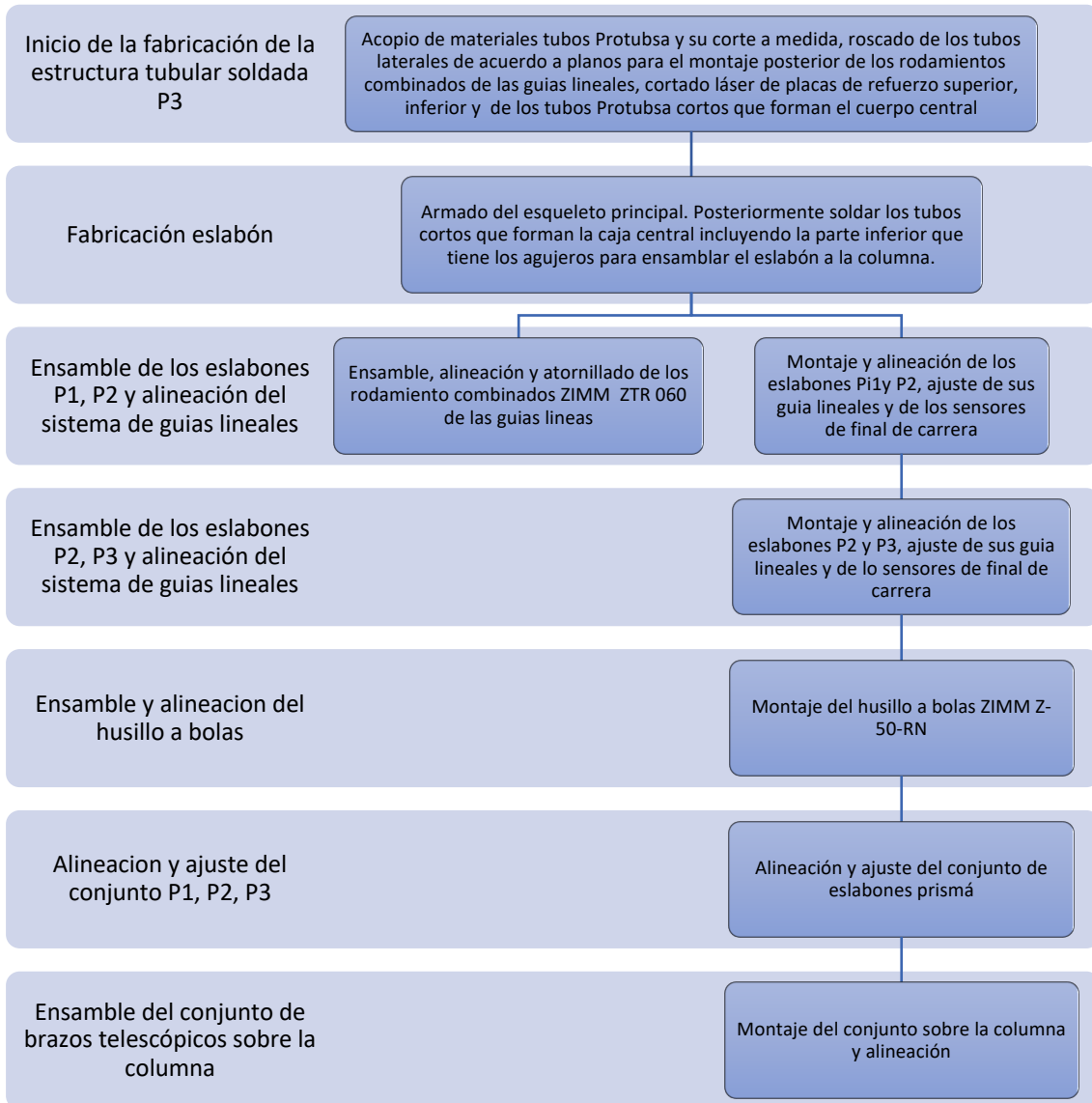


Fig. 14 Brazo telescópico P3

En el otro extremo del tubo P3 se disponen sendos agujeros (ver detalle B, de la Fig. 14) para montar el tándem de una polea.

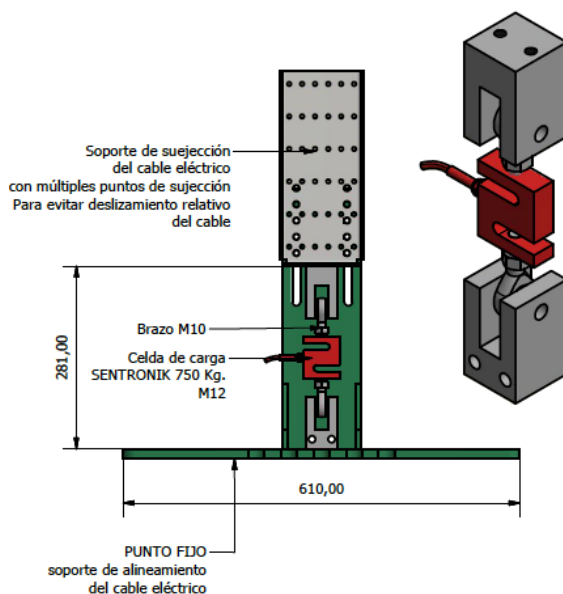
Proceso de fabricación del eslabón P3:



Seguridad y carenado

La seguridad e instalación del sistema onshore de la grúa OPS debe ajustarse de acuerdo a la normas del apartado 1.1 y en particular IEC/ISO/IEEE 80005-1 en los párrafos 6, 7, 9, 10, 11 y 12.

De acuerdo a los anteriores párrafos de la norma IEC/ISO/IEEE 80005-1 en el diseño de la grúa se debe prever un sistema de monitoreo del esfuerzo mecánico al que esta sometido el cable eléctrico. En la figura Fig. 15 se muestra una celda de carga típica y el sistema de montaje. El montaje se explica de la siguiente manera: El cable eléctrico se debe sujetar sobre la placa plegada con múltiples agujeros. Los puntos de sujeción del cable deben ser numerosos para evitar su deslizamiento. La placa que sujeta el cable esta atornillada sobre el otro extremo del la celda de carga como se muestra. La placa tiene unos pines deslizante a lo largo de las ranuras de la placa del soporte del sistema (de color verde)



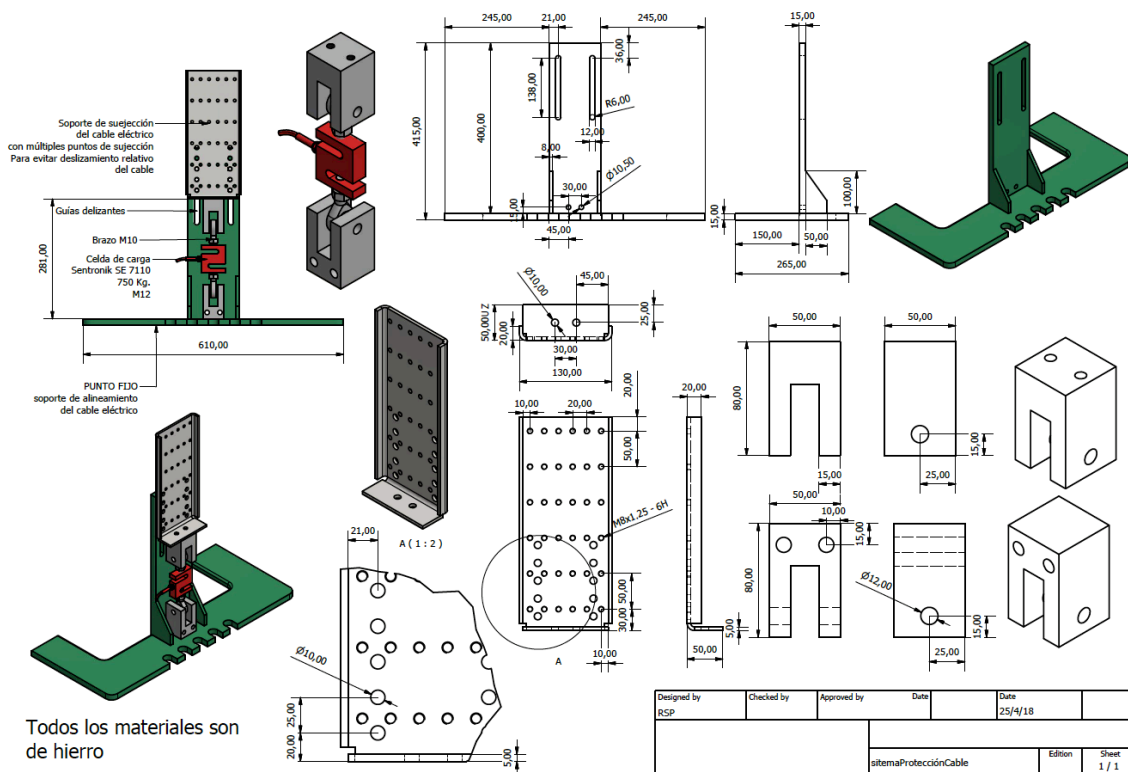
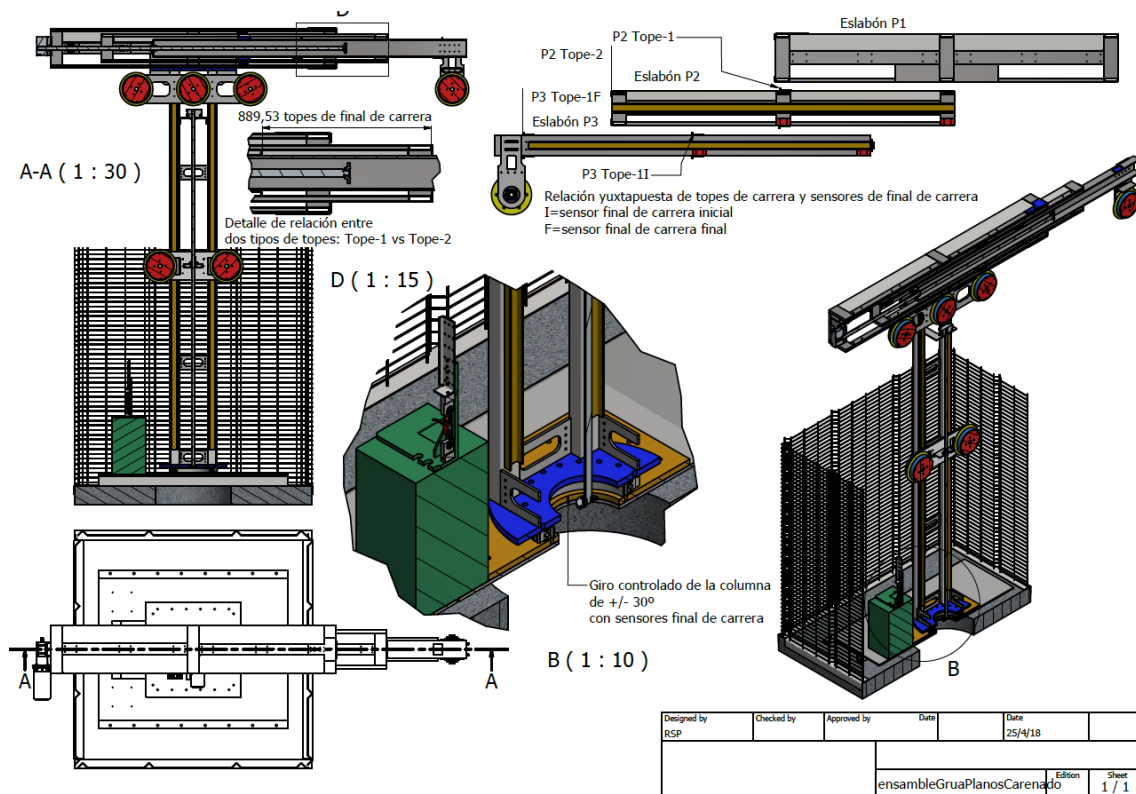


Fig. 15 Sistema de protección contra rotura mecánica del cable eléctrico

Distribución de sensores y topes mecánicos del alargamiento telescópico

En las siguientes figuras se define la localización de los topes mecánicos que controlan el desplazamiento telescópico relativo de las eslabones P2 y P3, respecto de P1.

La importancia de los topes mecánicos y finales de carrera es crucial para el control del movimiento de la grúa.



Placa refuerzo tipo-2

Placa porta sensores final de carrera inferior

Base inferior soldada

395,00

Uniones soldadas

Placa superior estructura prismática

Aleta de refuerzo

695,00

Placa porta sensores final de carrera superior

Placa refuerzo tipo-1

Datos técnicos

Tipo:	final de carrera mecánico con contacto positivo de abertura
Material:	Caja metálica, vástago de rodillo de metal
Funcionamiento:	NC + NO, con contacto de acción instantánea
Grado de protección:	IP67
Rango de temperatura:	de -40°C a +70°C
Cable estándar - material:	PVR negro Ø 7,3 mm, 5 x 0,75 mm ²
Cable estándar - temperatura:	de -25°C a +70°C
Cable especial - temperatura:	de -40°C a +105°C (disponible sólo bajo petición)
Datos de func. eléctrico:	máx. 240V AC / 1,5 A máx. 250V DC / 0,1 A
Vida útil eléctrica:	5 millones de ciclos de maniobra con tensión continua 24 V DC/3W 1 millón de ciclos de maniobra con tensión alterna 230 V AC/0,5 A
Peso:	Kit de finales de carrera: 0,15 kg; Cable (5m): 0,45 kg

normally closed	BK	black	negro
	BK-WH	black-white	negro-blanco
normally open	BU	blue	azul
	BN	brown	marrón
Conductor de protección a tierra	GN-YE	green-yellow	verde-amarillo

BN BK

BU BK-WH

GN-YE

Fig. 16 Estructura del sistema de control de desplazamiento, sensorial del brazo prismático y del tándem de poleas.

Las placas de los sensores y los topes mecánicos son soldados, el ajuste fino del sistema de control con el hardware se realizara experimentalmente, no obstante como se nota en el diseño del prototipo experimental de la grúa se han previsto agujeros adicionales para facilitar el montaje.

Sistema de control

El sistema de control de la grúa se representa en la Fig. 17. El sistema tiene tres accionamientos eléctricos con controlador PID de frecuencia de velocidad/posición SIEMENS controlados a través de un Autómata S7 1500.

Modos de funcionamiento

Fase de posicionamiento del conector eléctrico

En la fase de posicionamiento el objetivo de la grúa OPS es manipular el conector eléctrico de media potencia para acercarlo a la escotilla del barco donde se encuentra el punto de conexión a la red eléctrica del puerto. Para estos efectos, aunque la grúa es de altura fija, dispone de dos grados de libertad de movimiento.

El desplazamiento horizontal se realiza mediante los eslabones P1, P2 y P3. El eslabón P1 es fijo y los eslabones P2 y P3 están acoplados mediante los topes P3-T1 y P3-T2, el eslabón P2 limita su desplazamiento, mediante el tope P2-T1. En su posición de casa (home) los eslabones P1, P2 y P3 esta recogidos y los topes P2-T1 y P3-T coinciden (sensores P3-S1 y P2-S1, activados).

Para desplazar los eslabones el motor M1 gira el husillo a bolas Z 50-RN el cual desplaza inicialmente el eslabón P3 1450 mm. por estar acoplada a este eslabón, la tuerca del husillo. Cuando el eslabón P3 llega al tope P3-T2, el eslabón P3 arrastra al eslabón P2 1450 mm. hasta que llega a su tope P2-T1 (sensor P2-S2).

La recogida del brazo se realiza de manera inversa.

El alcance de la grúa se puede ver en la Fig.18.

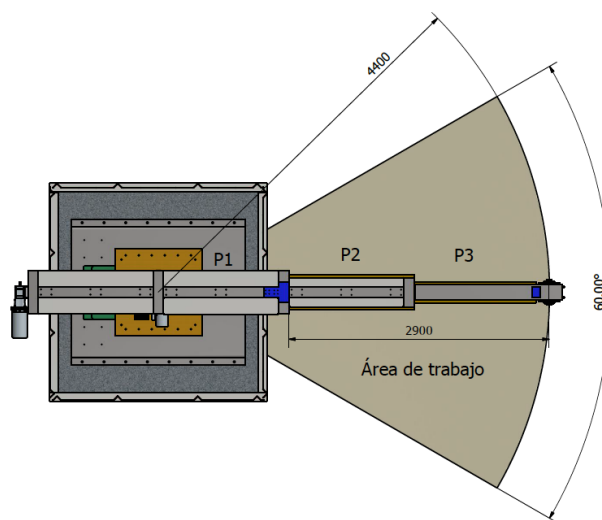


Fig. 18 Área de trabajo de la grúa

En la siguiente figura, se representan los componentes mecánicos y eléctricos (en azul) que esta implicados en el control de la grúa.

El modelo de control de la Grúa OPS se estructura en base a las señales de entrada y salida. Estas señales aparecen registradas en la Tabla 1.

El sistema de control esta basado en un modelo secuencial representado en el lenguaje GRAFCET

En este trabajo, la metodología genérica se aplica utilizando GEMMA (Guía de estudio de los modos de lectura y de llegada), casos de uso y GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande, Etapes, Transitions).

GEMMA es una guía para abordar la búsqueda sistemática de todos los estados en los que puede evolucionar un proceso automatizado; por lo tanto, se usa para identificar los modos de operación. Los casos de uso se utilizan para descubrir a los actores que participan en cada modo de operación y se utiliza un conjunto de plantillas GRAFCET para ayudar en el diseño de los casos de uso.

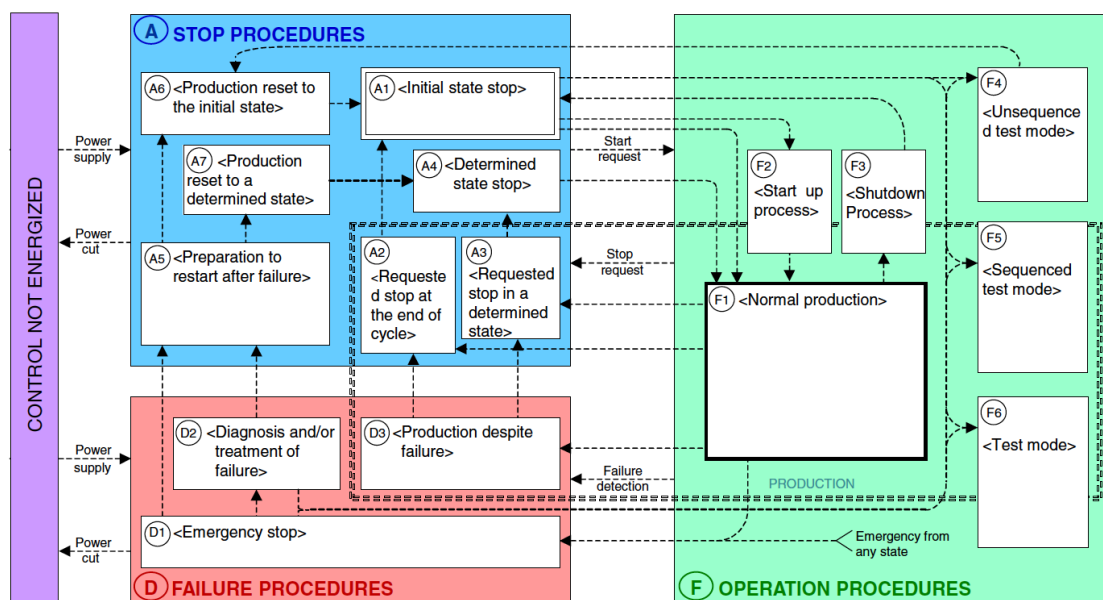


Fig. 19 Guía GEMMA

La guía GEMMA facilita desarrollar el paradigma del sistema de control en base cuatro módulos.

- Z-Modos de conexión: Conexión y desconexión del control
- F-Modos de producción: Operación de la grúa
- F-Modos de parada: Parada de la grúa desde distintos modos de operación o emergencia
- D-Modos de fallos: Generación de paradas de acuerdo con modos de fallos y de emergencia

Los siguientes GRAFCET's comprenden los niveles básicos del sistema de la grúa OPS

- GRAFCET de seguridad, GSeguridad
- GRAFCET de rearme, GRearme
- GRAFCET de puesta en inicio, GInicio
- GRAFCET de servicio, GServicio
- GRAFCET de conducción, GConducción
- GRAFCET de producción, GProducción

El sistema de control de acuerdo con la guía GEMMA se representa mediante la siguiente arquitectura modular.

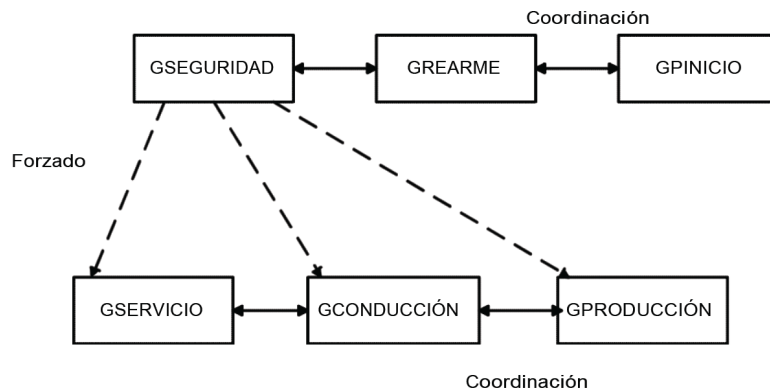


Fig. 20 Niveles de control GRAFCET

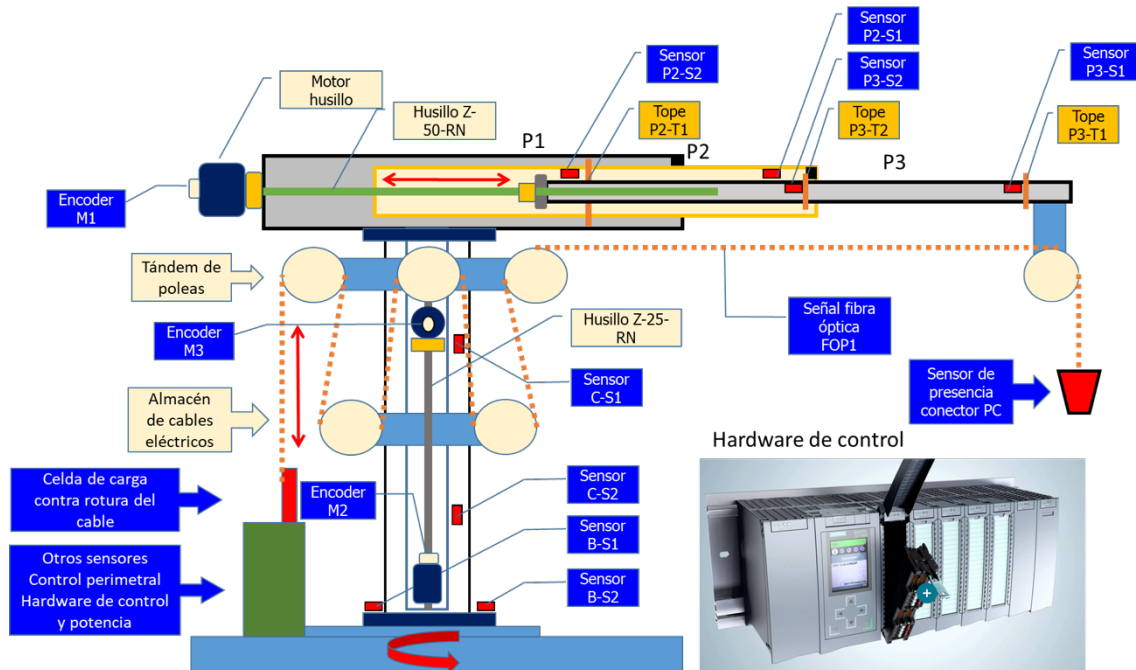


Fig. 21 Estructura del sistema de control y sensorial del brazo

En la siguiente tabla se ilustra las variables de entrada y salida del sistema de control y su descripción.

Tabla 1. Señales del sistema de control

Variables de entrada			
No.	Nombre variable	Características	Descripción
1	B-S1	Digital	Señal del final de carrera para el giro de +30°
2	B-S2	Digital	Señal del final de carrera para el giro de -30°
3	C-S1	Digital	Señal del final de carrera para la posición superior del tándem de dos poleas del almacén de cables
4	C-S2	Digital	Señal del final de carrera para la posición inferior del tándem de dos poleas del almacén de cables
5	P2-S1	Digital	Señal del final de carrera para la posición recogida del eslabón prismático 2
6	P2-S2	Digital	Señal del final de carrera para la posición extendida del eslabón prismático 2
7	P3-S1	Digital	Señal del final de carrera para la posición recogida del eslabón prismático 3

8	P3-S2	Digital	Señal del final de carrera para la posición extendida del eslabón prismático 3
9	M1	Encoder	Encoder para el control en lazo cerrado del motor M1
10	M2	Encoder	Encoder para el control en lazo cerrado del motor M2
11	M3	Encoder	Encoder para el control en lazo cerrado del motor M3
12	CONNECT	Digital	Sensor de presencia conector multipolar
13	START	Digital	Marcha
14	MAUTO	Digital	Modo automático
15	MMAN	Digital	Modo manual
16	MCC	Digital	Modo ciclo a ciclo
17	STOP	Digital	Paro
14	EMER	Digital	Emergencia
15	TRUE	Digital	Validar
16	APHL	Digital	Alarma Perdida de una fase
17	APHC	Digital	Alarma Cambio de fases
18	AROT	Digital	Alarma Limite rotura del cable alcanzado
19	APERIM	Digital	Alarma perimetral
20	ASHP	Digital	Alarma perdida de conexión barco
21	APOINT	Digital	Alarma perdida de comunicaciones puerto
22	FOP1	Digital	Señal digital de comunicaciones a través del cable multipolar
Señales de salida			
1	CM1	Analógica	Señal de control PID motor M1
2	CM2	Analógica	Señal de control PID motor M2
3	CM3	Analógica	Señal de control PID motor M3
4	SEG1	Digital	Señal de alarma al convertidor para desconexión
5	SEG2	Digital	Señal de alarma al convertidor para desconexión
6	PERIM	Digital	Señal para iluminación perimetral
7	SOUND	Digital	Señal sonora
8	ON	Digital	Señal de operación
9	LM1	Digital	LED Operación motor-1
10	LM2	Digital	LED Operación motor-2
11	LM3	Digital	LED Operación motor-3
12	LAUT	Digital	LED Marcha en automático
13	LAMAN	Digital	LED Manual
14	LCC	Digital	LED Ciclo a Ciclo
15	LSTOP	Digital	LED Paro
16	LEMER	Digital	LED Emergencia

Anexos

Publicaciones en revistas internacionales JCR

Como resultados de la difusión internacional de los resultados del proyecto se ha publicao un artículo científico en la revista Journal of Electronics de tipo Q2 JCR.

“An Intelligent Algorithm for Decision Making System and Control of the GEMMA Guide Paradigm Using the Fuzzy Petri Nets Approach by Oz Yakrangi 1, Roque J. Salterén Pazmiño, Juan S. Cely, Alejandro Rodríguez,

Tesis doctoral

Se ha realizado la tesis doctoral: Study and development of an artificial intelligence algorithm for revisiting the GEMMA Guide paradigm. Tesis doctoral, Autor D. Oz Yakrangí. Director Roque Saltaren Pazmino. En esta tesis doctoral se puede encontrar en su totalidad la parte científica y técnica del desarrollo del prototipo y sistema de control, por lo que este documento forma parte integral de los resultados de este informe final y se incluye como anexo.

