



Universidad de Oviedo

Memoria del Trabajo Fin de Máster realizado por

Javier Carcedo Fernández

Para la obtención del título

Máster en Ingeniería de Automatización e Informática Industrial

**Ingeniería de automatización, control
y supervisión de una grúa semi-pórtico**

Julio 2020

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	DESCRIPCIÓN DE LA GRÚA	5
2.1.	PUENTE.....	6
2.2.	CARRO	7
2.3.	ELEVACIÓN Y PINZA.....	7
2.4.	CABINA	7
3.	SEGURIDAD	8
4.	TOPOLOGÍA.....	13
4.1.	PROFINET [6]	13
4.2.	DRIVE-CLIQ	14
4.3.	TOPOLOGÍA DE RED DE LA GRÚA	15
5.	HARDWARE.....	16
5.1.	PLC.....	16
5.2.	REMOTA.....	17
1.1.1.-	Módulo de interfaz	17
1.1.2.-	Entradas digitales	17
1.1.3.-	Entradas digitales de seguridad.....	17
1.1.4.-	Salidas digitales	18
5.3.	SENSOR ANTICOLISIÓN	18
5.4.	PANTALLA HMI	18
5.5.	VARIADORES DE FRECUENCIA	19
5.6.	JOYSTICK	20
5.7.	PROTECCIONES	21
5.8.	SCALANCE SWITCH.....	22
6.	SOFTWARE	23
6.1.	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.	23
6.2.	PANTALLAS HMI.....	26
7.	PLANIFICACIÓN	27
8.	PRESUPUESTO.....	28
9.	CONCLUSIONES	29
10.	BIBLIOGRAFÍA	30

ÍNDICE DE TABAL DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1 EJEMPLO DE GRÚA SEMI-PÓRTICO [1]	3
FIGURA 2 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA GRÚA [3]	5
FIGURA 3 CLASIFICACIÓN ZONAS ATEX.....	9
FIGURA 4 SELECCIÓN DE COMPONENTE.....	10
FIGURA 5 EJEMPLO ETIQUETA COMPONENTES	11
FIGURA 6 TOPOLOGÍA RED PROFINET.....	15
FIGURA 7 CONEXIONES DRIVE-CLIQ.....	15
FIGURA 8 CPU 1511-F 1PN	16
FIGURA 9 REMOTA ET200S	17
FIGURA 10 TELÉMETRO ANTICOLISIÓN LPR-1D24.....	18
FIGURA 11 HMI TP 900 COMFORT.....	18
FIGURA 12 CU 320 2-PN	19
FIGURA 13 MÓDULO DE CONTROL MOTOR.....	19
FIGURA 14 SMART LINE	20
FIGURA 15 JOYSTICK V85 PROFINET GESSMAN	20
FIGURA 16 EJEMPLO PUESTO DE MANDO DEL OPERARIO	20
FIGURA 17 DISTRIBUCIÓN JOYSTICK Y BOTONES SILLA DE MANDO.....	21
FIGURA 18 GUARDAMOTOR DE LA GAMA SIRIUS SIEMES	21
FIGURA 19 SCALANCE X005	22
FIGURA 20 SCALANCE XB008	22
FIGURA 21 SOFTWARE INSTALADO TIA PORTAL	23
FIGURA 22 GRÁFICO FUNCIONAMIENTO GRÚA	24
FIGURA 23 BLOQUES DE LA PERIFERIA	25
FIGURA 24 BLOQUES COMUNICACIONES.....	25
FIGURA 25 BLOQUES RUTINAS.....	25

1. Introducción

El presente proyecto consiste en el desarrollo de la ingeniería de automatización, control y supervisión de una grúa de tipo semi-pórtico situada en una refinería de petróleo.

Esta grúa se encargará de transportar el coque ubicado en un tanque de almacenamiento. Con la ayuda de una pinza, se realizará la carga de coque para depositarlo en una tolva donde se halla una cinta transportadora, esta enviará el coque a una zona de almacenamiento para su posterior utilización. Esta grúa se situará sobre unos railes, donde actualmente se encuentra en funcionamiento otra grúa tipo semi-pórtico de características idénticas.

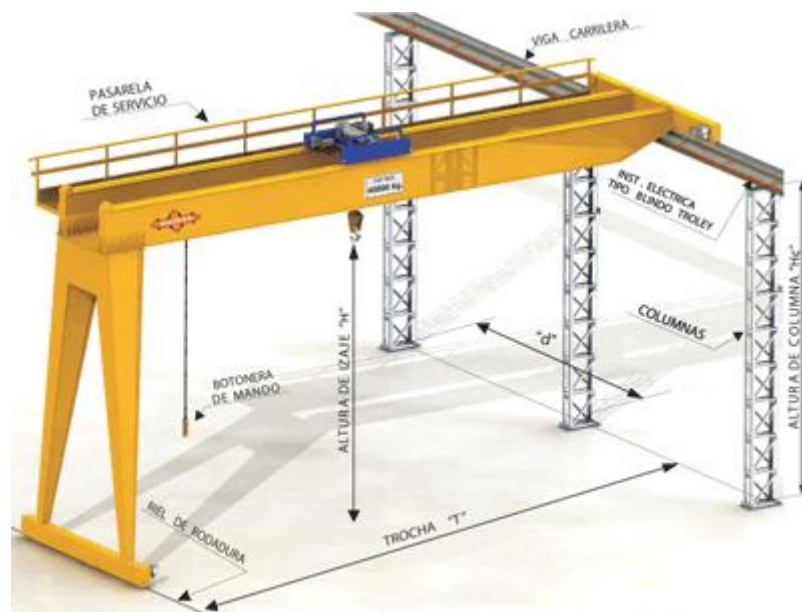


Figura 1 Ejemplo de grúa semi-pórtico [1]

El sistema mecánico consta de un desplazamiento X-Y-Z para el cual se utilizan un conjunto de motores acoplados a sendos variadores de velocidad.

Se pretender llevar a cabo un conjunto de tareas que forman parte de la ingeniería de detalles en cuanto a la automatización global del sistema se refiere; estas son:

- Definición de la instrumentación asociada a la parte operativa para el control anticolidión del movimiento basada en equipos de medida láser (telémetros) que es preciso definir y seleccionar apropiadamente, conjuntamente con elementos de final de carrera y de seguridad. La instrumentación se completa con un sistema tipo joystick manejado por el operador del puente grúa que es preciso comunicar con el controlador de planta.

- Selección de variadores de velocidad acorde a las especificaciones de potencia de los accionamientos eléctricos, definiendo el conexionado, sus parámetros y modos de funcionamiento.
- Diseño de la arquitectura del sistema de automatización y control, basada en sistema Simatic S7 de Siemens, topología de red, controladores, módulos de E/S, redes de comunicación, protocolos, elementos y herramientas de interfaces de usuario.
- Diseño y desarrollo de programas de control para PLC en estructuras y lenguajes de programación apropiados. Validación a través de las herramientas de simulación del fabricante en diferentes secuencias y modos de operación. Se contempla asimismo la integración de un sistema de seguridad funcional que garantice la adecuación a la normativa correspondiente.
- Implementación de interfaces de usuario gráficos para supervisión y explotación de la instalación.

Para la realización de este proyecto, no se ha llevado a cabo la realización de los planos de la parte mecánica ni eléctrica de la grúa, sino que se centra en las partes de la automatización anteriormente mencionadas.

2.Descripción de la Grúa

Una grúa es una máquina que se utiliza para izar y desplazar cargas pesadas en forma horizontal y vertical. En la actualidad se pueden encontrar distintos tipos, pero de la que trata este proyecto es de una grúa pórtico industrial y más concretamente de tipo semi-pórtico [1].

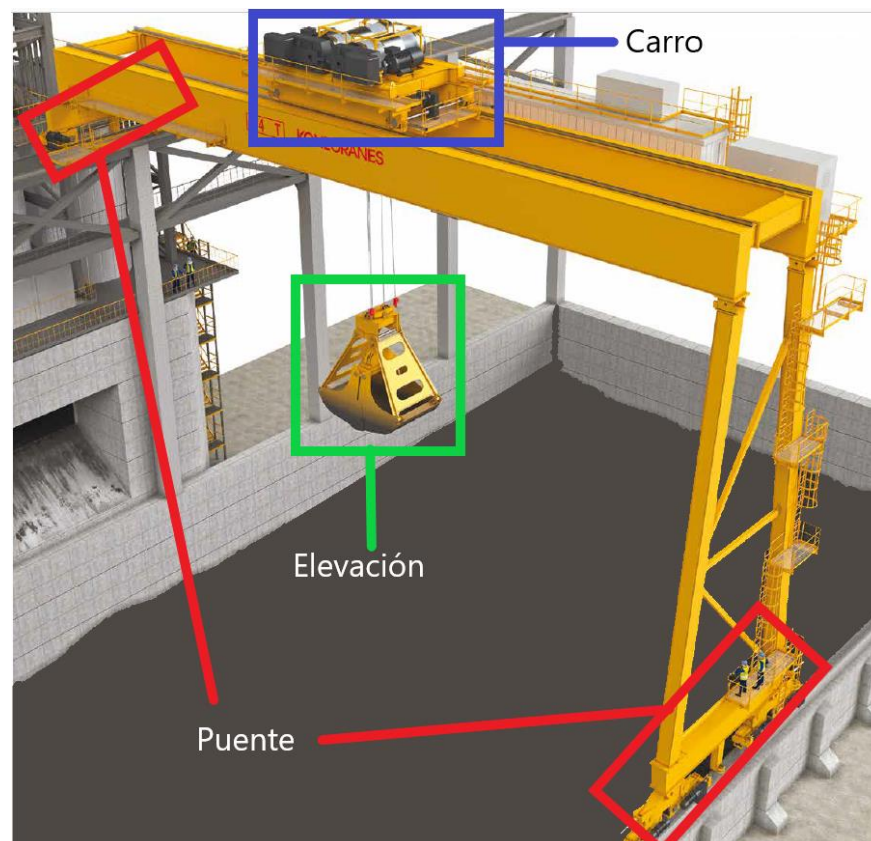


Figura 2 Identificación de los componentes principales de la grúa [3]

Las grúas de tipo pórtico se caracterizan por elevar la carga mediante un montacargas instalado sobre una viga, que a su vez es rígidamente sostenido mediante dos o más patas. Estas patas generalmente se desplazan sobre rieles horizontales al nivel del suelo. En nuestro caso, al ser semi-pórtico, esto quiere decir que una parte descansa sobre rieles a nivel del suelo mientras que la otra parte descansa directamente sobre los rieles situados al nivel de la viga superior.

A continuación, nombraremos las distintas partes de la grúa que realizan el movimiento en X-Y-Z de manera independiente y la zona de control de la grúa.

- **Puente.** Es la parte que soporta a las demás y se encarga de realizar el movimiento en la dirección X u horizontal. Esto nos permite situar la grúa en. Está formado por dos vigas entre las que se sujetan los carros.
- **Carro.** Esta parte se sitúa encima del puente desplazándose por él en la dirección Y o vertical para poder colocar la carga encima de la tolva y verter el contenido.
- **Elevación.** Es la parte encargada de elevar la carga a la hora de coger material del tanque de almacenamiento y de bajar la carga una vez situada sobre la tolva para descargar el material.
- **Pinza.** Es la encargada de recoger material y soltarlo.
- **Cabina.** Lugar desde donde se encuentra el operario que realiza el manejo de los distintos movimientos de la grúa.

2.1. PUENTE

El puente está formado por dos vigas colocadas verticalmente respecto al tanque de almacenamiento, que sustentarán los demás componentes de la grúa como son el carro, elevación y cabina de operador. Asimismo, será el lugar donde se ubiquen las sales de control y potencia para la colocación de los distintos elementos que conforman la grúa. Las dos vigas del puente están apoyadas sobre otras dos vigas por la parte derecha (llamada zona muro) por donde se desplazan los rieles a nivel del suelo. Sin embargo, por la parte derecha (llamada zona edificio), se apoya directamente sobre los rieles que se encuentran en la parte del edificio.

El movimiento de la grúa se realiza con 4 motores situados 2 en la parte derecha y 2 en la parte izquierda sobre los rieles para realizar el desplazamiento. Estos motores son de corriente continua de 22 kW y unas bobinas de excitación de 4,5 A. Además, para la seguridad se dispone de sendos termistores colocados en el motor que permiten detectar una serie de estados al monitorizar su temperatura permitiendo realizar un aviso y el paro del motor si es necesario. También consta de 4 frenos distribuidos 2 a cada lado para realizar la parada de la grúa.

El control de la posición del puente se realiza de manera visual por parte del operario con la ayuda por pantalla de la posición de la grúa en cada momento gracias a los telémetros

laser colocados uno en cada viga. También dispone de finales de carrera de ralentizado y paro para el desplazamiento.

2.2. CARRO

El carro es la parte encargada de mover la grúa en la posición Y sobre el tanque de almacenamiento y se desplaza sobre el puente.

En este caso se utilizará un motor de corriente continua de 47 kW y unas bobinas de excitación de 3,2 A. Además, al igual que el resto de los movimientos, se dispone de una serie de termistores colocados en motor para poder supervisar la temperatura y evitar fallos.

Del mismo modo que el puente, el carro también disponen de telémetros láser, para ayudar al operador a posicionarse. También dispone de finales de carrera de ralentizado y paro para el desplazamiento.

2.3. ELEVACIÓN Y PINZA

La elevación y la pinza forman un conjunto compuesto por dos motores de corriente continua, de 600 kW y tienen una bobina de excitación de 12,5 A. Ambos motores están situados encima del carro y se mueven de manera sincronizada a la hora de realizar tanto el movimiento de subida y como el de bajada evitando así que la pinza no se abra o cierre.

Una vez localizada la elevación en la posición deseada se procede a realizar el movimiento de apertura o cierre mediante un selector que se encuentra en la cabina del operador.

Para el control del movimiento de paro y ralentizado, cuenta con finales de carrera de levas que van acoplados al eje del motor.

2.4. CABINA

La cabina es el lugar donde el operario se coloca para manejar los movimientos de la grúa mediante los joysticks y los botones que se encuentran sobre el panel de mando. Para monitorizar la posición de la grúa con los finales de carrera y el estado de la grúa, dispone de una pantalla. La posición de la cabina se encuentra sobre el puente en una posición que permite ver la pinza en todo momento para poder introducir el coque en la tolva.

3. Seguridad

Debido a que la grúa está destinada a trabajar en una refinería con productos inflamables hay que tener en cuenta **Real Decreto 400/1996** para trabajos en ambientes explosivos (ATEX).

Esta normativa se basa en dos normas:

- 99/92/CE (RD 681/2003): esta normativa se dirige a los empresarios para la mejora de la protección de la seguridad y de la salud en lugares de trabajo con posibilidad de atmósfera explosiva.
- 2014/34/UE (RD 144/2016): esta normativa se dirige a los fabricantes de equipos y componentes cuyo uso será en atmósferas eventualmente explosivas.

En el caso de la elección de los componentes, seguiremos la segunda normativa [4].

Se entiende por **ATMÓSFERA EXPLOSIVA**, toda mezcla, en condiciones atmosféricas, de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o polvo en la que, tras la ignición, se propaga a la mezcla no quemada.

Se distinguen dos tipos de atmósferas:

- **Atmósferas de gas explosivas:** mezcla de aire con una sustancia inflamable en estado de gas o de vapor (producido por la evaporación de un líquido), en la que, en caso de ignición, la combustión se propaga a toda la mezcla no quemada.
- **Atmósferas con polvo explosivo:** mezcla de aire, en condiciones atmosféricas, con sustancias inflamables bajo la forma de polvo o fibras, en la que, en caso de ignición, la combustión se propaga al resto de la mezcla no quemada.

En el caso de la grúa, para trabajar en una refinería, se ve afectada por la directiva que cubre las zonas de atmósfera con polvo por lo que se tendrá en cuenta las directrices al respecto en cuanto a las diferentes zonas para elegir la instrumentación.

Los parámetros básicos ATEX en atmósferas con polvo explosivo son:

- **Concentración mínima de explosión.** Es la concentración mínima de polvo inflamable en aire por debajo de la cual, la mezcla no es explosiva.
- **Temperatura mínima de ignición a nube:** Equivale al punto de destello.
- **Temperatura mínima de ignición en capa:** Temperatura máxima que puede alcanzar un material sin convertirse en un foco de ignición para la atmósfera que lo rodea.
- **Energía mínima de ignición:** Es la energía que debemos aportar a una atmósfera explosiva para que se produzca la ignición.

- Concentración máxima de oxígeno permitida para prevenir la ignición: Es la máxima concentración de oxígeno a la que no se produce explosión del polvo combustible.
- Presión máxima de explosión: Máxima presión que se alcanza durante la explosión.
- Gradiente máximo de presión: Velocidad de crecimiento de la presión. Nos da idea de la virulencia de la explosión.

Las zonas ATEX se dividen en 3:

- Zona 20: son zonas con presencia permanente, prolongada o frecuente de atmósfera explosiva.
- Zona 21: son las zonas con presencia de atmósfera explosiva ocasional en condiciones normales.
- Zona 22: son las zonas con presencia de atmósfera explosiva anormalmente o de manera muy breve.




Clasificación de zonas		Criterio
Gases	Polvo	
Zona 0	Zona 20	 Presencia de la atmósfera explosiva de forma permanente, prolongada o frecuente (> 1000 horas por año)
Zona 1	Zona 21	 Presencia de la atmósfera explosiva de forma ocasional en condiciones normales (10 - 1000 horas por año)
Zona 2	Zona 22	 Presencia de la atmósfera explosiva de forma anormal y, en dicho caso, brevemente (< 10 horas por año)

Figura 3 Clasificación zonas ATEX

Según los criterios anteriores se procede señalar las zonas dentro de la grúa para ver en que zonas se encuentra cada parte de la grúa y así poder determinar que tipo de instrumento elegir.

- La zona 0, se correspondería con el coque que se encuentra en un tanque de almacenamiento abierto. En este caso no hay ningún instrumento en la pinza por lo que no se tendrá en cuenta a la hora de la selección de los componentes.
- La zona 1 se corresponde con la parte de la grúa que está en la parte exterior, es decir que no se encuentra en la sala eléctrica o de control, ya que está en contacto

con el material en cantidades pequeñas y de manera poco frecuente. En este apartado se encuentran los finales de carrera, motores y telémetros.

- La zona 2 corresponde con las zonas interiores de la grúa, sala eléctrica y de control, donde se encuentra el PLC, variadores, remotas, switch y HMI. Así mismo ocurre lo mismo con la cabina del operador, donde se encuentra HMI, joystick, remota y switch

Una vez definidas las zonas, se tiene en cuenta la tabla siguiente donde se muestra los requerimientos de diseño que tendrán que cumplir los instrumentos elegidos.

Categoría	Grado de Seguridad	Requerimientos de diseño	Aplicación	Zona de Uso
1	Muy alto	Dos medios independientes de protección o seguro con dos fallos independientes	Donde una atmósfera explosiva está presente continuamente o en largos periodos	Zona 0 Zona 20
2	Alto	Seguro con frecuentes alteraciones o con un fallo de operación	Donde una atmósfera explosiva es probable	Zona 1 Zona 21
3	Normal	Seguro en operación normal	Donde es infrecuente la formación de una atmósfera explosiva y será de corta duración	Zona 2 Zona 22

Figura 4 Selección de componente

La directiva define los siguientes grupos y categorías de aparatos:

- **Grupo I:** Aparatos destinados a trabajos subterráneos y de superficie en minas, en las que puede haber peligro debido al grisú o al polvo combustible, entre los que se incluyen las categorías de aparatos M1 y M2:
 1. Categoría M1: Deben permanecer operativos aún en caso de avería.
 2. Categoría M2: Deben poder cortar la alimentación de energía.
- **Grupo II:** Aparatos destinados al uso en otros lugares en los que puede haber peligro de formación de atmósferas explosivas, entre los que se incluyen las categorías de aparatos 1, 2 y 3.
 1. Categoría 1 (Nivel de protección muy alto): Destinados a ambientes en los que se produzcan, de forma constante, duradera o frecuente, atmósferas explosivas. Los aparatos de esta categoría están destinados a ser utilizados en las clases de la zona 0 y 20.
 2. Categoría 2 (Nivel de protección alto): Destinados a ambientes en los que sea probable la formación de atmósferas explosivas. Los aparatos de

esta categoría están destinados a ser utilizados en las clases de la zona 1 y 21.

3. Categoría 3 (Nivel de protección normal): Destinados a ambientes en los que sea poco probable la formación de atmósferas explosivas o su formación sea infrecuente y su presencia, de corta duración. Los aparatos de esta categoría están destinados a ser utilizados en las clases de la zona 2 y 22.

En la imagen siguiente, se puede observar un ejemplo de marcaje de protección, según la norma armonizada EN 60079 [5].

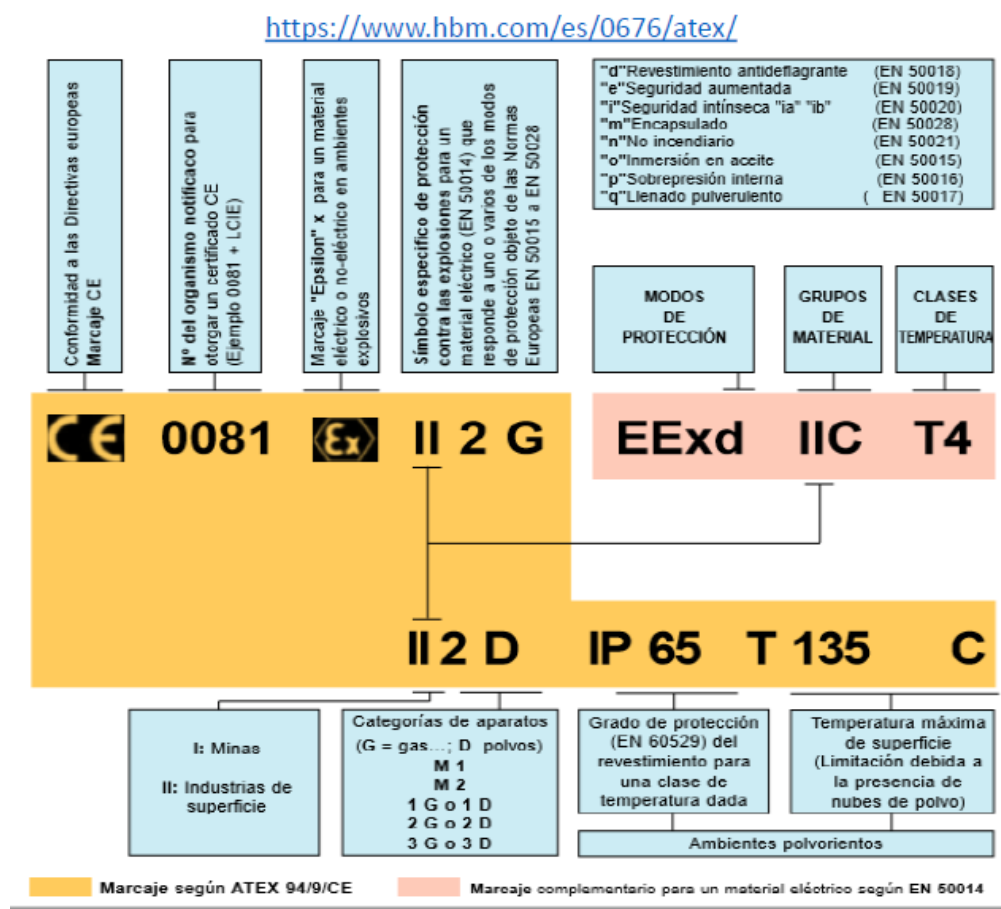


Figura 5 Ejemplo etiqueta componentes

Tras definir las zonas y saber cómo se puede comprobar que los aparatos cumplan la normativa, se procede a la selección de los instrumentos utilizados que se describen en el apartado Hardware.

Además de los requerimientos específicos de la norma de seguridad ATEX, se utilizan varias setas de seguridad y pulsadores de seguridad para asegurarse de la correcta detención de la grúa en caso de ser necesario, ya sea por un potencial riesgo detectado por el operario de cabina o para permitir el acceso a el área donde está trabajando la grúa sin peligro alguno. Estos

elementos se unirán a unas tarjetas de entrada de seguridad que se conectarán a la CPU. Para que tenga efecto correcto, además del requisito de que los pulsadores sean de seguridad, necesitamos transmitir la información de manera segura y fiable a una CPU que nos permita tratar estas señales de manera correcta. Estas características se tendrán en cuenta a la hora de realizar la selección tanto de la CPU como del medio de comunicación entre los diferentes componentes.

4. Topología

En este apartado se explicará la topología diseñada para las comunicaciones en la grúa, así como la explicación de los sistemas de comunicación usados.

4.1. PROFINET [6]

PROFINET es un estándar internacional para la comunicación sobre Ethernet Industrial, diseñado para recopilar datos en un sistema industrial. Las principales ventajas de este protocolo de comunicación son las siguientes:

- Es un protocolo de comunicación determinista lo que permite realizar control en tiempo real.
- Estabilidad de las infraestructuras
- Acceso a los dispositivos de la red desde otras redes distintas.
- Ejecución de tareas de mantenimiento desde cualquier lugar.

Además de las ventajas mencionadas, otra es la fácil configuración de los distintos dispositivos, ya que no hace falta ningún adaptador adicional para poder conectarse.

Cada dispositivo con una conexión PROFINET tiene tres direcciones.

- Dirección IP
- Dirección MAC
- Nombre del dispositivo

Al usar como base el estándar ethernet la dirección MAC es única para cada dispositivo y si se cambia la dirección MAC cambia mientras que la dirección IP se mantendría.

Además, este sistema de comunicaciones permite usarse con un sistema de comunicaciones seguro llamado PROFIsafe. Este método de comunicaciones está diseñado como una capa separada en la parte superior de la capa de aplicación del bus de campo para reducir la probabilidad de errores de transmisión de datos. Los mensajes PROFIsafe usan cables y mensajes de bus de campo estándar. Este sistema seguro no depende de los mecanismos de

detección de errores de los canales de transmisión subyacentes y, por lo tanto, es compatible con la seguridad de rutas de comunicación completas.

PROFIsafe utiliza mecanismos de detección de errores y fallos como:

- Numeración consecutiva de telegramas, esto permite identificar la pérdida de estos.
- Monitoreo del tiempo de espera o (watchdog), activa un aviso si no se reciben telegramas en un tiempo determinado.
- Comprobación de integridad de los datos. Realiza un chequeo del mensaje para determinar si recibe algún dato corrupto.

Este sistema PROFIsafe es el protocolo encargado de realizar la comunicación entre los distintos variadores y los pulsadores de seguridad con la CPU, para garantizar el envío de las órdenes y la recepción de los distintos datos tomados por los mismos.

4.2. DRIVE-CLIQ

El protocolo de comunicación Drive-cliq es propiedad de SIEMENS, y está basado en Ethernet de 100Mbit/s, resolviendo las causas que derivan en la pérdida de mensajes. Esto permite crear redes de alta velocidad, aunque el principal inconveniente es que no permite crear redes WIFI ni redes en anillo.

Este protocolo es utilizado para conectar unidades de control (CU, del inglés *Central Unit*), variadores y motores.

4.3. TOPOLOGÍA DE RED DE LA GRÚA

La topología de red que formará parte de la grúa está basada en comunicación PROFINET y tiene la siguiente distribución.

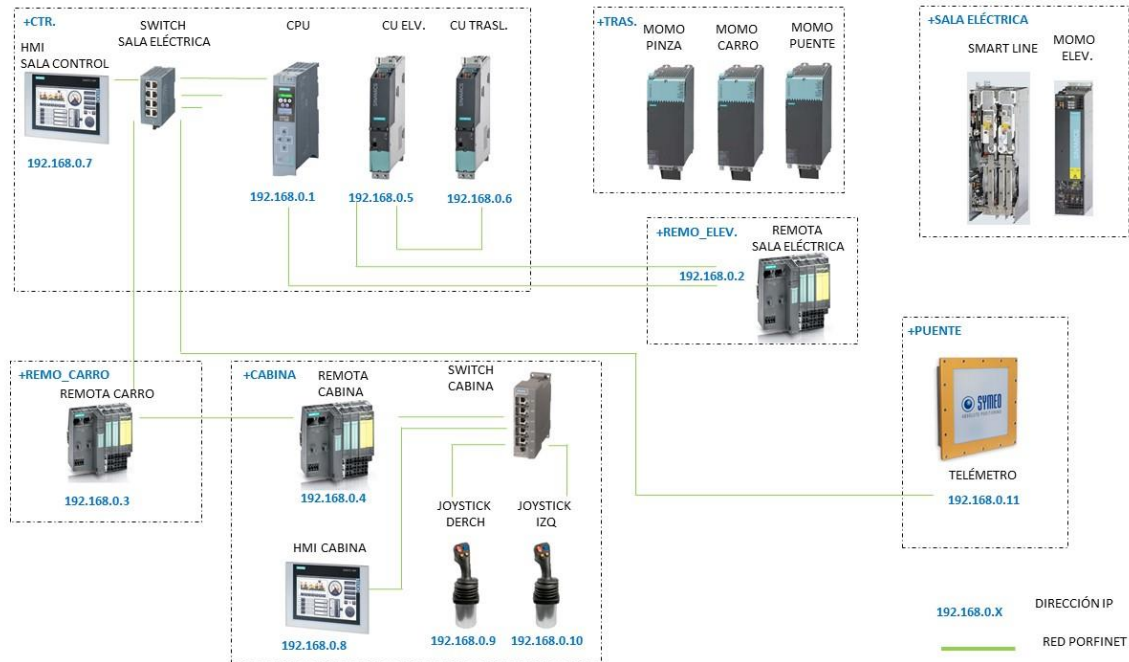


Figura 6 Topología red profinet

La parte de comunicación entre CU y los demás componentes del variador se realiza mediante drive-cliq de siemens y se puede ver en la siguiente imagen.

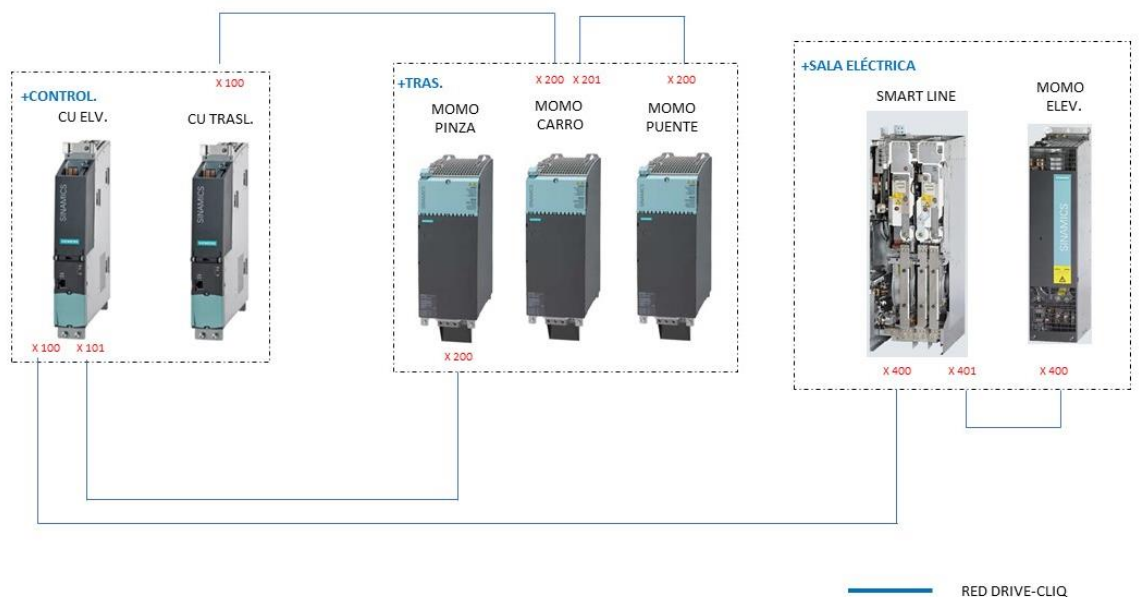


Figura 7 Conexiones drive-cliq

5. Hardware

El hardware para el control de la grúa tiene que cumplir la normativa ATEX citadas en el apartado seguridad, por lo que los siguientes componentes han sido todos elegidos siguiendo el estudio [7].

5.1. PLC

El PLC (Programmable Logical Controller) es el encargado de realizar el control de la grúa al gestionar todas las entradas y salidas que llegan a la CPU. Es a través de la CPU, donde se ejecuta el programa de control, el encargado de realizar las operaciones deseadas según el estado de entradas y salidas a través de la red PROFINET. En este caso se ha usado una CPU 1511-F 1 PN, que consta de dos entradas para comunicación PROFINET y con un módulo de seguridad para poder gestionar de manera segura las señales de los componentes de seguridad que llegan mediante PROFIsafe de las tarjetas de entrada y salida.

La referencia de la CPU es 6ES7 511-1FK00-0AB0 fabricado por SIEMENS.



Figura 8 CPU 1511-F 1PN

5.2. REMOTA

Se usan remotas ET200s que se colocan en posiciones cercanas a los componentes de campo para poder conectarlos a ellas y así evitar tener que tirar un cable demasiado largo y tener pérdidas de comunicación, junto con un exceso de cable en la instalación si hay muchos componentes.



Figura 9 Remota ET200s

Las remotas están compuestas por:

1.1.1.- Módulo de interfaz

Se ha usado un módulo IM 151-3 PN con 2 entradas de ethernet para poder conectarse a la red PROFINET y usarse de punto de unión entre dos componentes de la red.

1.1.2.- Entradas digitales

En la remota se han colocado varios módulos con 8 entradas digitales de 24Vcc a las cuales se conectarán los componentes de campo.

La referencia del módulo es 6ES7 131-4BF00-0AA0 fabricado por SIEMENS.

1.1.3.- Entradas digitales de seguridad

En cada remota se conectan varios módulos de entradas digitales de seguridad con hasta 8 componentes si los componentes de seguridad tienen un solo hilo o 4 si son doble. En caso de ser doble, sirve para que la CPU evalúe si el estado de ambos hilos está igual o contrario y así añadir mayor seguridad.

La referencia del módulo es 6ES7 138-4FA05-0AB0 fabricado por SIEMENS

1.1.4.- Salidas digitales

A las remotas se les añaden varios módulos de salidas digitales para poder activar los componentes como pueden ser luces o bocinas.

La referencia del módulo es 6ES7 132-4BF00-0AA0 fabricado por SIEMENS

5.3. SENSOR ANTICOLISIÓN

Para la medición de la distancia con la grúa que se encuentra sobre la misma guía para el movimiento del puente y del carro, se utiliza el modelo LPR®-1D24 de la marca Symeo.

Este modelo nos ofrece una alta precisión mediante la medición por radiofrecuencia a 24Ghz, lo cual nos permite una medición más exacta, aunque tenga vibraciones por el desgaste de la guía [8].



Figura 10 Telémetro anticoliisión LPR-1D24

5.4. PANTALLA HMI

En la pantalla HMI se muestra el estado de la grúa en todo momento para poder ayudar al operario de cabina a realizar los movimientos o informar a los operarios de mantenimiento si hay algún fallo en la grúa y poder solucionarlo.

Para ellos se han usado los paneles TP 900 comfort de la marca SIEMENS, una pantalla táctil de 9”.

La referencia del modelo es 6AV2 124-0JC01-0AX0.



Figura 11 HMI TP 900 comfort

5.5. VARIADORES DE FRECUENCIA

Los variadores de frecuencia se usan para el control de los motores para los movimientos en XYZ. Esto permite sincronizar los movimientos y alargar la vida útil de los motores. Los variadores utilizados son de la familia SINAMICS de Siemens, en más concreto el modelo S120 específico para grúas debido a sus necesidades de arrancar y parar constantemente y el uso de modo regenerativo. El modelo S120 está compuesto por:

- CU 320 2-PN es la inteligencia del accionamiento y las funciones de regulación se condensan en los módulos. Ejecutan operaciones de regulación de velocidad y de par para todos los ejes, así como otras funciones que requieren inteligencia. Tiene 2 entradas ethernet para poder conectarse a la red profinet. La referencia es 6SL3040-1MA01-0AA0.



Figura 12 CU 320 2-PN

- Módulo del motor es una etapa de potencia (ondulador) que proporciona la energía para los motores conectados. La energía proviene del circuito intermedio de la unidad de accionamiento. Un Motor Module tiene que estar conectado a una Control Unit vía DRIVECLiQ; en ella están guardadas las funciones de control y regulación para el Motor Module



Figura 13 Módulo de control motor

En los módulos de elevación y pinza también se incluye:

- Smartline: es una unidad de alimentación que proporciona una tensión continua no regulada al “Modulo del Motor”.



Figura 14 Smart line

5.6. JOYSTICK

El joystick utilizado es de la empresa Gessman, el modelo V85. Se colocan dos joysticks similares, uno en la parte izquierda para controlar el movimiento de puente y carro en X e Y y otro en la parte derecha para el control de la elevación y abrir y cerrar la pinza [9].



Figura 15 Joystick V85 profinet Gessman

Los joysticks están instalados en la silla del operario dentro de la cabina junto con la pantalla HMI.



Figura 16 Ejemplo puesto de mando del operario

Además de los joysticks, tiene varios pulsadores y un selector de 3 posiciones para seleccionar la elevación principal, auxiliar o ambas con la siguiente distribución:

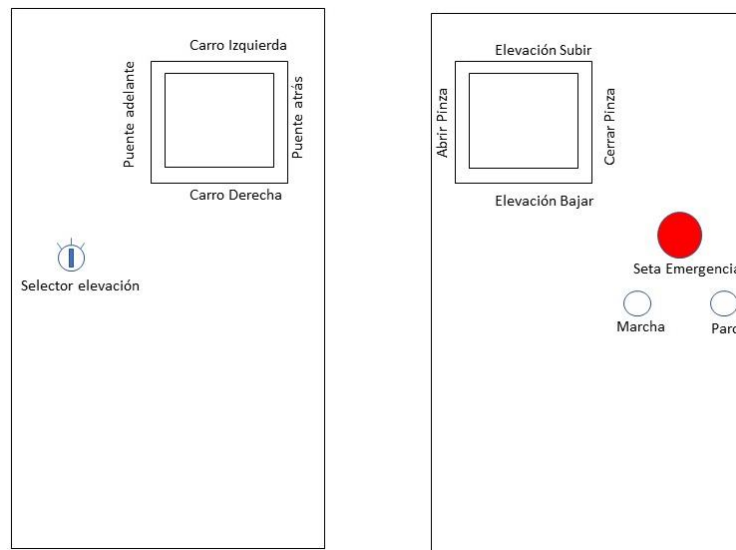


Figura 17 Distribución joystick y botones silla de mando

5.7. PROTECCIONES

Todas las protecciones utilizadas son de la gama SIRIUS de SIEMENS. Esta gama de equipos dispone de una serie de contactores y guarda motores de distintas potencias y voltajes.



Figura 18 Guardamotor de la gama SIRIUS SIEMES

5.8. SCALANCE SWITCH

Para conectar todos los dispositivos a la red PROFINET, se utiliza un switch SCALANCE X005 de la marca Siemens con referencia 6GK5 005-0BA00-1AA3. Este switch se instala en la cabina del operador para poder conectar a la red el HMI y los joysticks.



Figura 19 SCALANCE X005

Asimismo, se conecta otro switch SCALANCE XB008 de Siemens con referencia 6GK5 008-0BA00-1AB2. Este switch se instala en la sala de control donde se encuentra el PLC para conectar los distintos dispositivos como son telémetros y remotas.



Figura 20 SCALANCE XB008

6. Software

Para la realización del programa de control del proyecto, se ha utilizado el programa TIA PORTAL v15 de SIEMENS, el cual está compuesto por STEP 7, SINAMICS Startdrive y WinCC Advanced.

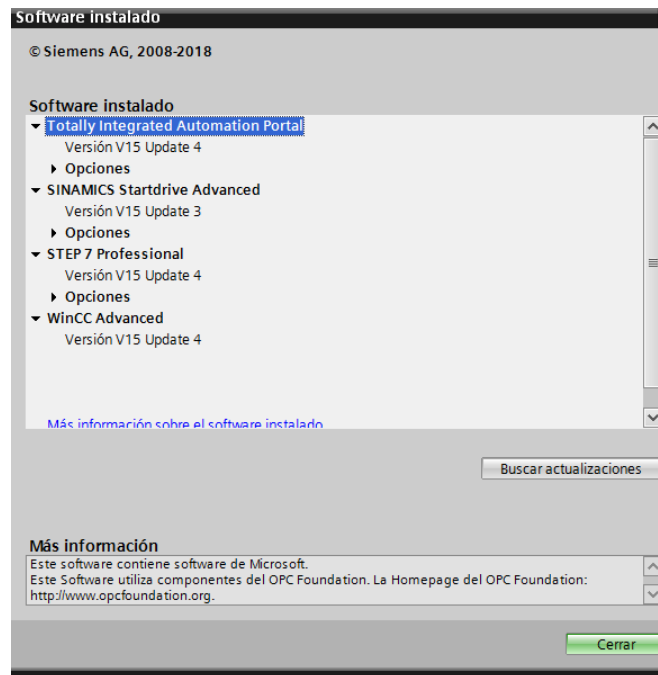


Figura 21 Software instalado TIA PORTAL

Esto permite realizar la programación de control, la configuración de variadores y creación de las pantallas HMI utilizando el mismo software como se puede ver en el Anexo I: Programación de control y supervisión.

6.1. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

Antes de empezar a crear el programa, se realiza un estudio de los distintos estados de funcionamiento en los que se puede encontrar la grúa, para saber qué hacer en cada caso y cómo realizar la transición entre dichos estados.

- Estado inicial o parado, en el cual la grúa se encuentra en parada a la espera de iniciar el arranque mediante el pulsador de marcha.
- Estado funcionamiento normal, en el cual la grúa funciona de manera normal acorde a los movimientos indicados por el gruista.
- Estado de fallo, en el cual uno de los componentes importantes para el funcionamiento correcto de la grúa falla. A este estado se pasaría desde el estado

inicial de manera automática al detectarse una anomalía en algún dispositivo. Para pasar al estado inicial, se debe presionar el botón de rearme.

- Estado de emergencia, se pasará a este estado tras pulsar la seta de emergencia y no permitirá el movimiento de la grúa hasta que se rearme y se vuelva al estado inicial.

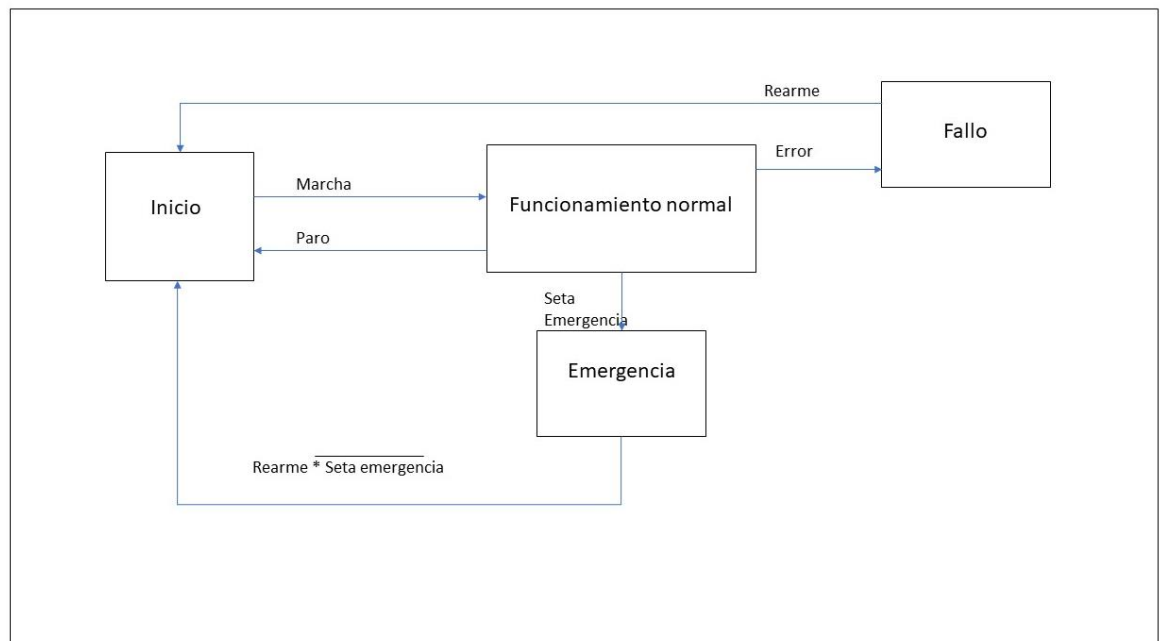


Figura 22 Gráfico funcionamiento grúa

Una vez definidos los estados de funcionamiento se procede a realizar el programa de control. Para ello, además de utilizar los bloques de seguridad y los distintos OB's, se crean 3 carpetas para organizar el programa:

- Periferia, se crean bloques de datos con la información de las entradas y salidas donde se guardará o pasará el valor de las entradas y salidas físicas. Para ellos se crean varias funciones para pasar la información.

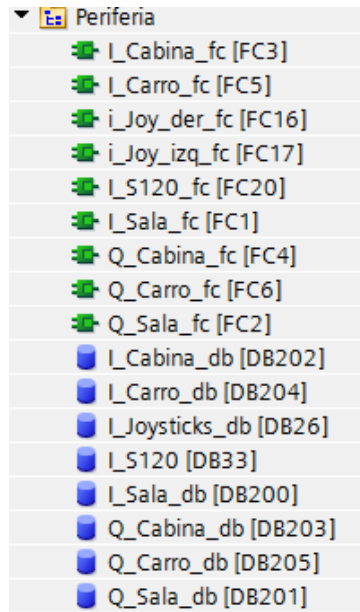


Figura 23 Bloques de la periferia

- Comunicaciones, se realiza un FC para recibir información del telémetro.

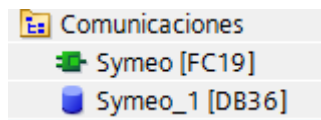


Figura 24 Bloques Comunicaciones

- Rutinas, se crean varias funciones para controlar el movimiento, comprobar el estado de las protecciones y las alarmas.



Figura 25 Bloques Rutinas

La configuración completa y el contenido de las funciones y bloques de datos se puede encontrar en el *Anexo I: Programación de control y supervisión.*

6.2. PANTALLAS HMI

Para la creación de las pantallas, se tiene en cuenta las necesidades y requisitos del cliente. En este caso son:

- Crear dos HMI iguales en la cabina de cliente y sala eléctrica.
- Crear una pantalla identificación para realizar el uso de la pantalla. Dependiendo de la persona registrada podrá acceder a más o menos pantallas.
- Visualizar el estado del selector de shuntado, para poder mover la grúa cuando llegue al final de carrera de seguridad.
- Visualizar el estado de los variadores, si está funcionando correctamente o en fallo y en caso de fallo mostrar el código de error.
- Visualizar los comandos enviados a cada variador.
- Visualizar el estado de los finales de carrera de los distintos movimientos.
- Incluir pulsador para realizar el rearme en caso de fallo de algún componente y otro de seguridad para utilizar en caso de fallo de alguna tarjeta de seguridad. Este segundo pulsador solo podrá ser accesible si se identifica una persona autorizada.
- Listado de alarmas.
- Estado de las setas de emergencia.
- Crear una pantalla para configurar los parámetros de distancia de ralentizado y paro del telémetro. Esta pantalla solamente será accesible en caso de identificarse como persona autorizada.
- Cambiar el idioma de las pantallas para que se pueda visualizar en español e inglés.
- Visualizar el estado de smartline, si está en uso o en fallo.
- Visualizar el estado del modo regenerativo.

Teniendo en cuenta los requisitos del cliente, se procede a crear las pantallas. La descripción de la creación y funcionamiento de las pantallas se puede ver en el *Anexo I: Programación control y supervisión* y en el *Anexo II: Manual del operador*.

7. Planificación

En este apartado se realizará un estudio de horas necesarias para realizar las diferentes actividades necesarias para la creación del proyecto. Se han tenido en cuenta a la hora de realizar la planificación las horas lectivas de 8/h al día y se ha contemplado como festivo los fines de semana. A esta planificación habría que sumarle las horas de pruebas en taller y las horas de puesta en marcha que no se tendrán en cuenta por no poder llevarse a cabo.

			Mayo																													
Actividad	fin	inicio	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Análisis de requisitos cliente	04/05/2020	06/05/2020																														
Análisis instalación eléctrica	06/05/2020	08/05/2020																														
Configuración del hardware	11/05/2020	15/05/2020																														
Creación del programa	15/05/2020	05/06/2020																														
Creación del HMI	08/06/2020	19/06/2020																														
Creación de documentación	22/06/2020	26/06/2020																														

			Junio																													
Actividad	fin	inicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Análisis de requisitos cliente	04/05/2020	06/05/2020																														
Análisis instalación eléctrica	06/05/2020	08/05/2020																														
Configuración del hardware	11/05/2020	15/05/2020																														
Creación del programa	15/05/2020	05/06/2020																														
Creación del HMI	08/06/2020	19/06/2020																														
Creación de documentación	22/06/2020	26/06/2020																														

8. Presupuesto.

En este apartado se realizará el presupuesto del proyecto basándose en las horas de trabajo de la planificación y los materiales utilizados como se muestra en la siguiente tabla

Concepto	Coste unitario	Mediciones	Coste
Mano de obra	25 €/h	320 h	8.000 €
Variadores	62.370,90 €/ud	1 ud	62.370,90 €
PLC	971,50 €/ud	1 ud	871,50 €
Remotas y tarjetas IO	5441,90 €/ud	1 ud	5441,90 €
Telómetro SYMEO	320,50 €/ud	1 ud	320,50 €
Joystick V85 Gessman	316,20 €/ud	2 ud	632,40 €
Pulsadores	180,30 €/ud	1 ud	180,30 €
Finales de carrera	158,70 €/ud	1 ud	168,70 €
Aparamenta	20.000,00 €/ud	1 ud	20.000,00 €
SCALANCE X005	84,20 €/ud	1 ud	84,20 €
SCALANCE XB008	178,60 €/ud	1 ud	178,60 €
Total, del material y de la mano de obra			98.249,00 €
Gastos imprevistos (5%)			4.912,45 €
Beneficios (7%)			7.877,43 €
Total, sin impuestos			110.038,88 €
IVA 21%			23.108,17 €
TOTAL			133.147,05 €

El presupuesto total del proyecto corresponde a **ciento treinta y tres mil ciento cuarenta y siete coma cero cinco euros.**

9. Conclusiones

Para la realización de este proyecto, se ha tenido en cuenta que el funcionamiento de la grúa se realiza de manera manual por parte del operario, que se encuentra en la cabina dirigiendo los movimientos mediante los joysticks y ayuda del HMI, pero siempre con el control completo de la grúa por parte del operario.

Una posible mejora del proyecto sería añadir varios telémetros más para el posicionamiento y control del movimiento del puente, así como el movimiento del carro. A su vez se podrían añadir encoders a los motores de las elevaciones e instalar algún sistema ofrecido por alguna compañía como es el caso de SIEMENS para el control anti-balanceo.

La instalación de estos componentes, permitiría añadir un modo de funcionamiento automático o semiautomático, optimizando el tiempo que está en funcionamiento la grúa de manera eficiente y sin tiempos muertos.

Estas medidas de mejora dependen siempre del cliente, los cuales poco a poco van realizando actualizaciones dentro de la industria para adaptarse a las necesidades del mercado y poder ser más competitivos.

10. Bibliografía

- [1] Aguirre, «<http://agirre-eraikuntzak.es/>,» [En línea]. Available: <http://agirre-eraikuntzak.es/online/index.php/gruas-semiportico>.
- [2] K. Cranes, «Kone Cranes,» [En línea]. Available: <https://www.konecranes.com/>.
- [3] Atmósferasexplosivas.com, «Atmósferasexplosivas.com,» [En línea]. Available: <http://www.atmosferasexplosivas.com/index.php/normativaatex>.
- [4] Solerpalau.com, «Solerpalau.com,» [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/normativa-atex/>.
- [5] Profinet, «us.profinet.com,» [En línea]. Available: <https://us.profinet.com/technology/profinet/>.
- [6] SIEMENS, «Siemens,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/1000000>.
- [7] Symeo.com, «Symeo.com,» [En línea]. Available: <https://www.symeo.com/en/applications/distance-measurement/index.html>.
- [8] Gessmann, «Gessmann,» [En línea]. Available: <https://www.gessmann.com/products/crane-systems-and-hoisting-equipment/multi-axis-controller/multi-axis-controller-v85-vv85/>.
- [9] Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%BAa_p%C3%B3rtico.