

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO AVANZADO DE DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD E INTERACCION CON EL ENTORNO EN UN ROBOT ABB IRB 6400

Autor/es

Jorge Sender Montalar

Director/es

Rosario Aragüés Muñoz

Eduardo Gil Herrando

Escuela universitaria politécnica de Teruel
2017

Resumen

El presente documento, Trabajo de Fin de Grado, explica la implantación de un sistema de seguridad avanzado para delimitar la zona de trabajo de un robot ABB IRB 6400, así como la puesta en marcha de la pinza que tiene dicho robot. También se explican las características de cada uno de los componentes utilizados para lograr este fin.

Para ello, se detallan tanto el estudio económico inicial de los diferentes componentes necesarios, como su proceso de instalación en el laboratorio de tecnologías industriales.

Cabe destacar que las restricciones recogidas en el documento vienen marcadas, principalmente, por las peculiaridades y las necesidades de la sala: cercanía del robot a las paredes, techo y verja de seguridad, para el ámbito de aplicación descrito, así como de un presupuesto limitado.

Palabras clave:

Robot, controlador, barrera de seguridad, pinza, DSQC 328, DSQC 368 Profibus DP, CAN.

Abstract

This document, Final Degree Project, explains the implementation of an advanced security system to limit the working area of an ABB IRB 6400 robot and its pin start up. It also explains the main features of each one of the components used to achieve it.

To do so, it is explained the initial economic research of every component needed as well as its installation in the industrial technologies lab.

It's important to clarify that the restrictions shown in the document are mainly imposed by the peculiarities and needs of the room where it is placed: proximity of the robot to the walls, ceiling and security fence, to the application scope described, as well as a limited budget.

Key words:

Robot, controller/driver, security fence, pin, DSQC 328, DSQC 368 Profibus DP, CAN.

Índice

Resumen.....	2
Abstract	2
1. Introducción	7
1.1. ¿Qué es un sistema robótico industrial?	7
1.2. Seguridad en un sistema robótico	7
1.3. Antecedentes	8
2. Objetivos	9
2.1. Objetivo principal.....	9
2.2. Objetivos secundarios	9
3. Elementos del sistema	10
3.1. Manipulador.....	10
3.2. Controlador	11
3.3. Pinza	12
3.4. Barreras de seguridad	13
3.5. Unidad de E/S digitales	14
3.6. Unidad Profibus DP	14
4. Escenario inicial	15
4.1. Descripción de la sala.....	15
4.2. Problemas en la seguridad	17
5. Estudio de alternativas para mejorar la seguridad	24
6. Análisis específico de la solución adoptada	31
7. Configuración de la pinza	39
7.1. DSQC 328	39
7.2. DSQC 368	42
8. Puesta en marcha de la pinza.....	46
8.1. Conexionado final	46
9. Conclusiones.....	53
10. Trabajos futuros	54
Bibliografía	55

Índice de figuras

Imagen 1: Manipulador.....	10
Imagen 2: Dimensiones del robot.	11
Imagen 3: Controlador.	11
Imagen 4: Pinza.	12
Imagen 5: Electroválvula.	12
Imagen 6: Barrera de infrarrojos.....	13
Imagen 7: Espejo de reenvío.	13
Imagen 8: DSQC 328.....	14
Imagen 9: DSQC 368.....	14
Imagen 10: Ubicación del robot.	15
Imagen 11: Plano de la zona de los robots.	15
Imagen 12: Anillo limitador Q1.	16
Imagen 13: Final de carrera.....	16
Imagen 14: Marcas de calibración.	17
Imagen 15: Componentes del anillo de seguridad.....	18
Imagen 16: Espacio de trabajo inicial.....	19
Imagen 17: Área de trabajo del robot.....	20
Imagen 18: Colisión contra el suelo.	21
Imagen 19: Colisión contra la valla de seguridad.....	21
Imagen 20: Colisión contra el techo.....	22
Imagen 21: Robot con un valor de Q1 de 79°	22
Imagen 22: Robot con un valor de Q1 de -18°	22
Imagen 23: Escáner de infrarrojos.	24
Imagen 24: Programa para configurar el escáner de infrarrojos.	24
Imagen 25: Propuesta 1.	25
Imagen 26: Propuesta 2.	26

Imagen 27: Propuesta 3.	27
Imagen 28: Propuesta 4.	28
Imagen 29: Propuesta 5.	29
Imagen 30: Inicio de colisión contra el techo.....	31
Imagen 31: Colisión contra el detector de humo.....	31
Imagen 32: Colisión contra los fluorescentes.	32
Imagen 33: Final de colisión.	32
Imagen 34: Punto inicial.....	33
Imagen 35: Punto final.	33
Imagen 36: Conector M12.....	34
Imagen 37: Calibración de las barreras de infrarrojos.	35
Imagen 38: Relé de seguridad.	35
Imagen 39: Esquema de conexionado de las barreras de infrarrojos.....	37
Imagen 40: Calibración de la articulación Q1.....	38
Imagen 41: Controlador visto por arriba.....	39
Imagen 42: Esquema de la conexión CAN.....	40
Imagen 43: Asignación de la dirección.....	41
Imagen 44: Esquema de conexión de la tarjeta DSQC 328.	41
Imagen 45: Comunicación Profibus DP.	42
Imagen 46: Componentes de la comunicación Profibus DP.	43
Imagen 47: Conector Profibus DP.	43
Imagen 48: Posición del micro switch.....	44
Imagen 49: Cable de comunicación Profibus DP.....	45
Imagen 50: Esquema eléctrico de la red Profibus DP.	47
Imagen 51: Menú de configuración de los buses de E/S.	52
Imagen 52: Buses definidos en el controlador.....	52

Índice de tablas

Tabla 1: Versiones del manipulador.....	10
Tabla 2: Posiciones extremas del robot.	20
Tabla 3: Límites articulares del robot.....	20
Tabla 4: Características de la solución 1.	25
Tabla 5: Características de la solución 2.	26
Tabla 6: Características de la solución 3.	27
Tabla 7: Características de la solución 4.	28
Tabla 8: Características de la solución 5.	29
Tabla 9: Resumen de las propuestas.....	30
Tabla 10: Pines del conector M12.....	34
Tabla 11: Pines del relé de seguridad.....	36
Tabla 12: Pines del conector X5.	40
Tabla 13: Versiones de la comunicación Profibus DP.	42
Tabla 14: Tecnologías de transmisión de la comunicación Profibus DP.	43
Tabla 15: Conector D-Sub 9.....	44
Tabla 16: Tabla resumen de los dos tipos de comunicación.....	46
Tabla 17: Parámetros de la sección EIO_BUS.....	48
Tabla 18: Parámetros de la sección EIO_UNIT_TIPE.	49
Tabla 19: Parámetros de la sección EIO_PARAM.	49
Tabla 20: Parámetros de la sección EIO_UNIT.	49
Tabla 21: Parámetros de la sección EIO_USER_SIGNAL.....	50

1. Introducción

En este proyecto se pretende mostrar las tareas necesarias para delimitar por completo el volumen de trabajo de un robot ABB IRB 6400. Para ello, se delimitará la zona de trabajo de este robot con elementos externos a él. Estos nuevos elementos serán añadidos a la cadena de seguridad.

Puesto que la financiación va a ser uno de los mayores problemas se deberá buscar la mejor solución en cuanto a relación calidad-precio.

Una vez resueltos los problemas de seguridad, se estudiará la conexión de la pinza al controlador del robot. Para ello, se identificarán las señales de comunicación que posee el controlador y se planteará una posible forma de conexión.

1.1. ¿Qué es un sistema robótico industrial?

Se conoce como sistema robótico al manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas.

Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno.

Habitualmente, su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

1.2. Seguridad en un sistema robótico

En un sistema robótico, la seguridad se relaciona con los riesgos entre los humanos o el entorno y los elementos físicos planteados por el propio robot para los cuales se deben tomar precauciones.

Existen tres ocasiones principales en las que los humanos están próximos a las máquinas y por lo tanto expuestos a peligros. Estas son:

- Durante el mantenimiento del robot.
- Durante la programación del robot.
- Durante la operación de la célula del robot, cuando los humanos trabajan en ella.

Los riesgos asociados al mantenimiento y programación suelen minimizarse en entornos industriales mediante una adecuada formación del personal de mantenimiento. Éstos siguen el protocolo adecuado de acceso a la célula mediante el uso de equipos de protección individual, dispositivos de paro de emergencia, etc.

Por otro lado, los riesgos que pueden surgir durante la operación del robot hay que limitarlos con medidas de seguridad que deben ser diseñadas teniendo en cuenta el lugar de trabajo.

En nuestro caso, la operación continuada del robot no es el objetivo de su uso, sino un uso didáctico, por lo que el principal peligro será la programación del mismo que será realizada por estudiantes. Por ello, la seguridad del manipulador se centra en limitar el volumen de trabajo para asegurar que una programación errónea no provoque riesgos para las personas o las instalaciones.

Una limitación del robot demasiado grande nos daría como resultado una zona de trabajo muy reducida, por lo que, en los siguientes apartados, veremos las posibles configuraciones del robot planteadas para extender, en la medida de lo posible, dicha zona a un coste económicamente viable.

1.3. Antecedentes

Sergio Lorente Doñate, en 2015, realizó el estudio básico de la seguridad de este robot, en el TFG titulado “DISEÑO E INSTALACIÓN DE MEDIDAS DE SEGURIDAD EN UN ROBOT ABB IRB 6400”. En él se explican los pasos realizados para: implementar la limitación articular Q1, el paro del robot al abrir la puerta y la identificación de las señales que forman la cadena de seguridad.

2. Objetivos

2.1. Objetivo principal

El objetivo principal consiste en realizar un estudio de medidas de seguridad avanzadas en un robot ABB IRB 6400, situado en el laboratorio de Tecnologías Industriales, del edificio de la Universidad Politécnica de Teruel.

Para ello se contempla el uso de barreras de infrarrojos u otros dispositivos que permitirán limitar los movimientos del robot de forma que, si sale de la zona de trabajo, se ejecutará un paro de emergencia.

El conexionado de la pinza para la interacción del robot con el entorno es otro de los objetivos que se plantean en este TFG,

2.2. Objetivos secundarios

- Identificar los riesgos de seguridad.
- Búsqueda de los componentes necesarios para solventar los problemas de seguridad.
- Elaboración de presupuestos para la búsqueda de financiación.
- Analizar específicamente la solución tomada.
- Estudiar diferentes alternativas para el funcionamiento de la pinza.
- Dejar planteada una posible solución para una futura puesta en marcha de la pinza.

3. Elementos del sistema

3.1. Manipulador

El IRB 6400 es un robot industrial de 6 ejes, diseñado específicamente para las industrias de fabricación que utilizan sistemas de automoción basados en robots flexibles. El robot dispone de una estructura polivalente especialmente adaptada para un uso flexible y ofrece la posibilidad de poderse comunicar con una amplia gama de equipos externos.

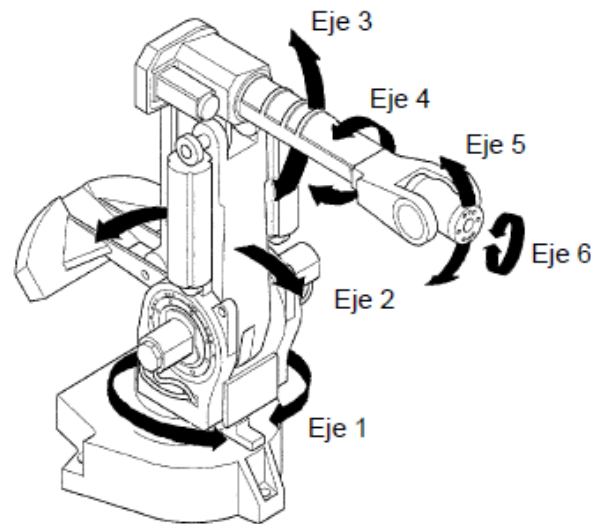


Imagen 1: Manipulador.

En la serie 6400 existen varias versiones:

VERSIONES DEL MANIPULADOR IRB 6400	
IRB 6400/2.4-120	IRB 6400F/2.4-120
IRB 6400/2.4-150	IRB 6400F/2.4-150
IRB 6400/2.4-200	IRB 6400F/2.4-200
IRB 6400/2.8-120	IRB 6400F/2.8-120
IRB 6400/3.0-75	IRB 6400F/3.0-75
IRB 6400S/2.9-120	IRB 6400FS/2.9-120
IRB 6400PE/2.25-75	IRB 6400FHD

Tabla 1: Versiones del manipulador.

- PE => Robot para soldadura por puntos.
- F => Adaptado para entornos hostiles.
- HD => Manipulador apto para trabajos exigentes.
- - => Robot montado en el suelo.
- S => Robot montado en estantería.
- X.X => Alcance máximo desde el centro de la muñeca (m).
- YYY => Carga máxima soportada (Kg).

En este caso se trata de un robot IRB 6400/2.4-150, por lo que es un robot colocado en el suelo con un alcance máximo de 2.4m y carga máxima de 150Kg.

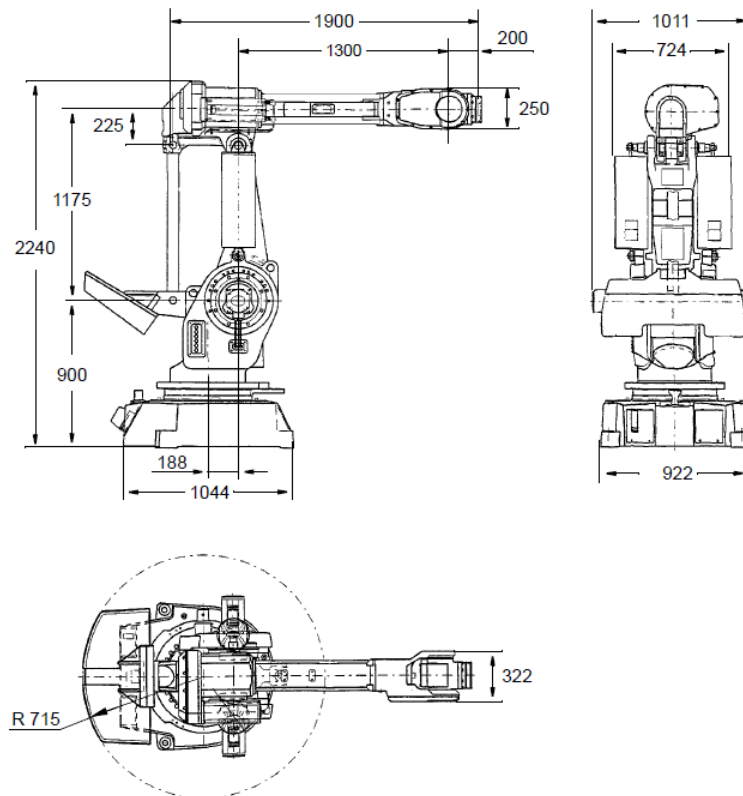


Imagen 2: Dimensiones del robot.

3.2. Controlador

Los componentes electrónicos para un correcto funcionamiento del robot, así como de los ejes externos y los diferentes componentes del equipo periférico, se encuentran alojados en el controlador del robot.

Para la gestión de los anteriores componentes, el controlador cuenta con un sistema operativo denominado BaseWare OS. Éste controla todas las funciones del robot mientras está operativo.

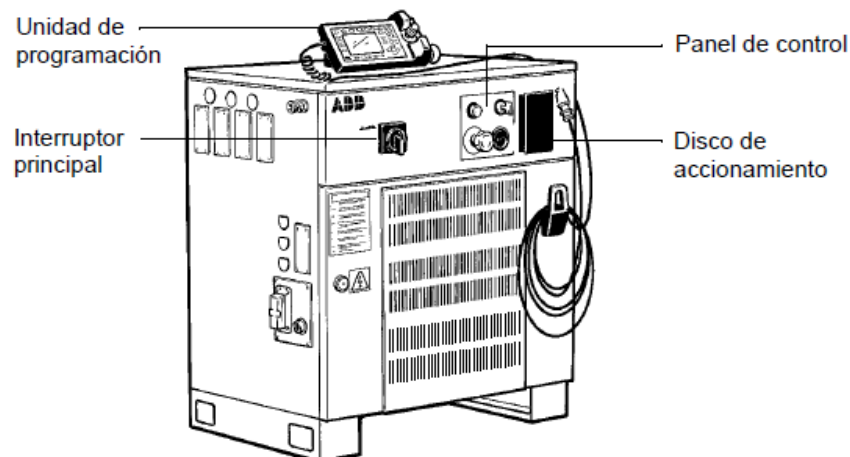


Imagen 3: Controlador.

3.3. Pinza

La pinza montada en el manipulador es una pinza neumática paralela de gran apertura (MHL2-16D2), capaz de manipular piezas de tamaños muy diferentes.

- MHL => Pinza de gran apertura.
- 2 => Cuenta con 2 dedos.
- 16 => Diámetro del cilindro.
- D => Pistones de doble efecto.
- 2 => Carrera de apertura/cierre, 80mm.

Esta pinza cuenta con un mecanismo de doble émbolo el cual proporciona una gran fuerza de amarre mientras mantiene un diseño compacto.

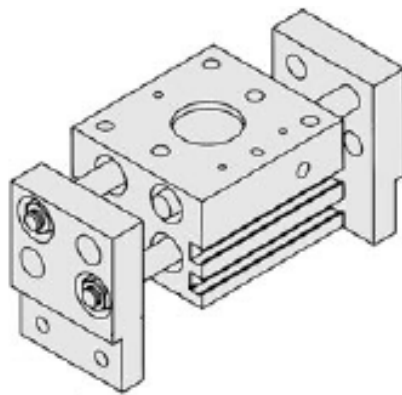


Imagen 4: Pinza.

El control de esta pinza está gobernado mediante una electroválvula (SY5120-5DZ-01F-Q), encargada de dirigir el flujo de aire según sea la orden procedente del controlador del robot.

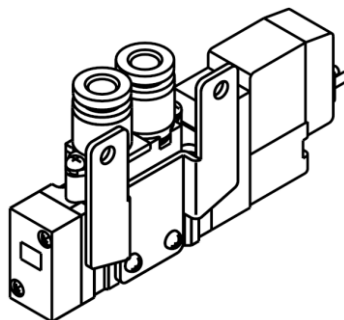


Imagen 5: Electroválvula.

- SY5 => Serie a la que pertenece, Serie SY5000.
- 1 => Tipo de actuador, 2 posiciones individuales.
- 5 => Alimentación necesaria, 24 VDC.
- D => Conector de alimentación empleado, terminal DIN con conector.
- Z => Con luz indicadora y supresor de picos de voltaje.
- 01 => Tamaño de la toma de aire principal, 1/8 de pulgada.
- F => Tipo de rosca, G (cilíndrica).

3.4. Barreras de seguridad

Las barreras de seguridad de infrarrojos, o barreras inmateriales, son uno de los elementos de seguridad activa más empleados en la industria para delimitar un espacio de trabajo.

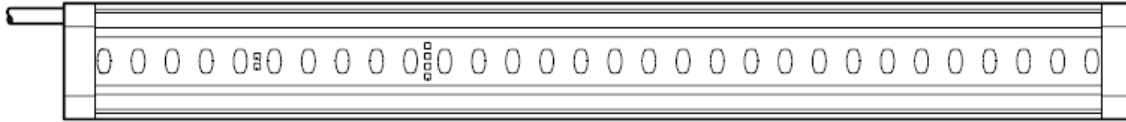


Imagen 6: Barrera de infrarrojos.

Este elemento de seguridad está formado por una columna de sensores infrarrojos situados en la parte emisora y otra columna de receptores colocados en la parte receptora, así como diferentes sensores de calibración.

Mediante la colocación de espejos de desvío se puede conseguir una protección en las tres dimensiones.

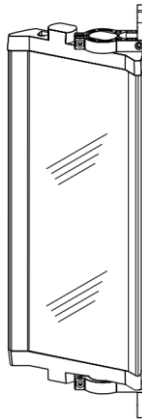


Imagen 7: Espejo de reenvío.

La distancia máxima que puede alcanzar el haz de infrarrojos está limitada por la propia barrera, la calidad del espejo y el ángulo de desvío que éste le produce al haz.

3.5. Unidad de E/S digitales

La tarjeta de entradas/salidas digitales es un componente auxiliar que se puede añadir al controlador del robot, pudiendo así interactuar con elementos externos al sistema robótico.



Imagen 8: DSQC 328.

Dicha tarjeta, DSQC 328, cuenta con 16 entradas o salidas a 24V.

3.6. Unidad Profibus DP

Mediante una tarjeta Maestro/Esclavo Profibus-DP (DSQC 368) en el controlador S4C, se ofrece la posibilidad de conectar varios conjuntos de unidades de E/S a través de la red serie, bus de campo Profibus-DP.



Imagen 9: DSQC 368.

Esta red de comunicación puede estar constituida por un máximo de 256 señales de entrada y 256 señales de salida.

4. Escenario inicial

4.1. Descripción de la sala

Las instalaciones en las que están los robots ubicados se encuentran en la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel, EUPT, más concretamente en el laboratorio de tecnologías industriales. Este laboratorio es empleado para alojar varios equipos industriales, por lo que solo nos interesa la mitad de la zona preparada para los equipos robóticos, ya que inicialmente solo va a ser puesto en funcionamiento el robot de la izquierda.

En la Imagen 10 puede verse el robot con el cual se va a trabajar por el momento, el otro robot se encuentra inoperativo actualmente.



Imagen 10: Ubicación del robot.

Como se ha dicho anteriormente, solo nos interesa la zona del laboratorio de tecnologías industriales en la que están ubicados estos robots, las medidas de esta sala se pueden ver en la siguiente imagen (unidades mm).

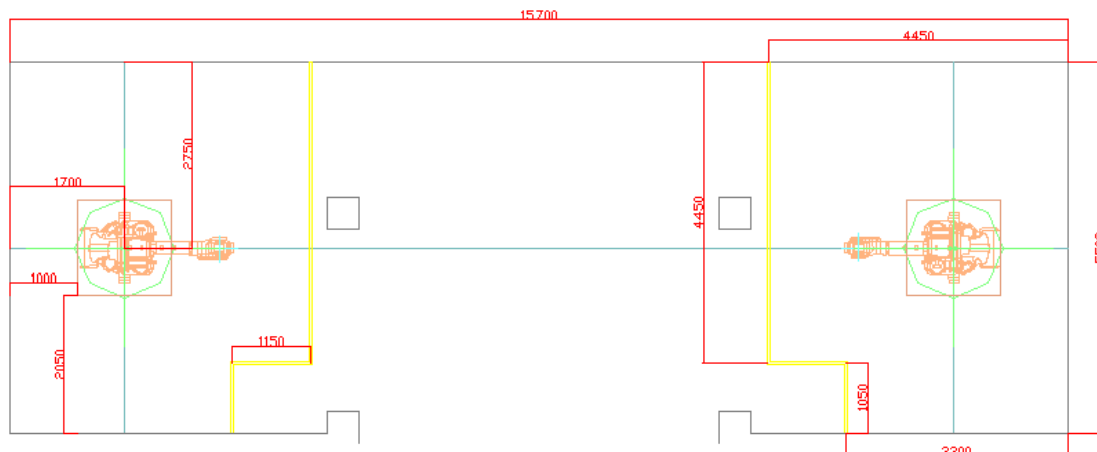


Imagen 11: Plano de la zona de los robots.

La altura de la sala desde el suelo hasta el techo es de 2780 m.

Las jaulas están dispuestas en los extremos de la sala, una enfrente de la otra. Ambas jaulas son simétricas, estando los robots ubicados en el centro de las mismas.

La situación en la que se encuentra el manipulador es en la que fue montado y anclado por el personal de General Motors. Éste se encuentra aproximadamente en el centro de su correspondiente jaula de seguridad. La instalación se realizó de forma segura cumpliendo con todas las normas de seguridad.

En el manipulador también se encontró instalado un anillo limitador de la zona de trabajo totalmente operativo, tal y como se observa en la siguiente imagen.



Imagen 12: Anillo limitador Q1.

Las jaulas están equipadas con finales de carrera para comprobar el estado de las puertas, como puede apreciarse en la Imagen 13. De esta forma saltará la parada de emergencia si estos sensores detectan la apertura de la puerta de la jaula.



Imagen 13: Final de carrera.

4.2. Problemas en la seguridad

Uno de los primeros pasos del Trabajo de Fin de Grado consistió en crear un entorno virtual que permitiera el estudio y validación de las distintas medidas de seguridad avanzadas, que se verán en los siguientes apartados.

Para que el robot no choque con ningún elemento físico que lo rodea en el entorno de trabajo, en la situación de partida, se había limitado el movimiento de los ejes 2 y 3 a través de software.

En nuestro caso, cada vez que se enciende el robot aparece un mensaje comunicando que los contadores de revoluciones no están actualizados, perdiendo la referencia de esta limitación software. Esto ocurre porque la batería que alimenta la memoria que almacena las posiciones de cada articulación está descargada. Para volver a cargar la batería se necesitan 36 horas con el interruptor principal activado.

Cuando se recibe este tipo de mensaje, el contador de revoluciones del manipulador deberá ser actualizado utilizando las marcas de calibración que se encuentran en el manipulador que se muestra en la Imagen 14.



Imagen 14: Marcas de calibración.

Hay que mover el robot a través de la unidad de programación, manualmente, de forma que las marcas de calibración queden dentro de la zona de tolerancia.

Una vez se han posicionado todos los ejes según se ha indicado anteriormente, se podrá proceder al almacenamiento de los valores de los contadores de revoluciones, utilizando la unidad de programación.

En este caso las limitaciones que nos encontramos para los ejes 2 y 3 según el espacio de trabajo que existe son (unidades en radianes):

Eje 2: irb_2

- Limite sup. eje = 0.959900
- Limite inf. eje = 0.523600

Eje 3: irb_3

- Limite sup. eje = 0.698100
- Limite inf. eje = 0.349100

Por otro lado, la articulación 1 está limitada con un anillo de seguridad, de rango ajustable, formado por: un detector (finales de carrera de tipo mecánico), levas y material de montaje (regleta de levas, placas de montaje, soporte para el detector, placas para el conector, soportes angulares, tuercas, pernos, tornillos...).

En la siguiente imagen se pueden observar todas las partes del anillo:

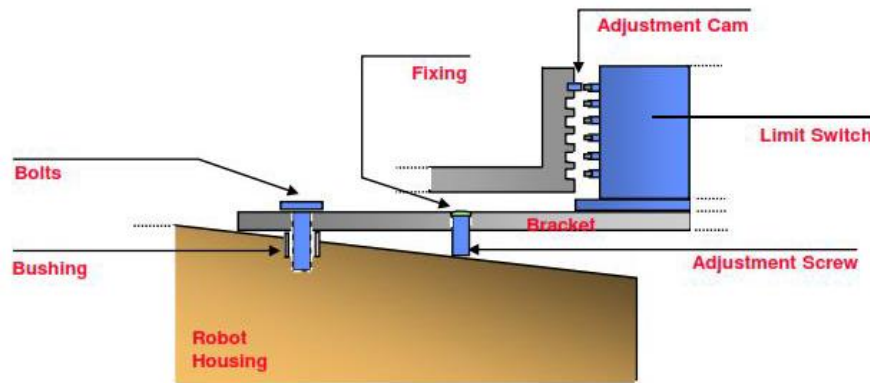


Imagen 15: Componentes del anillo de seguridad.

En cada una de las ranuras que lleva el anillo se puede colocar una guía de metal a modo de leva que accionará o no cada uno de los finales de carrera que hay en el conector.

El robot se moverá siempre que las dos levas estén presionando sus correspondientes finales de carrera. En el momento que una leva deje de presionar el final de carrera significará que se ha llegado a uno de los límites del área de trabajo, se producirá un paro general y el robot entrará en modo motores OFF. Actualmente se encuentra limitado ente -18° y 79° .

Mediante un selector se pueden cambiar los modos de funcionamiento:

- Modo programación a velocidad reducida: En el que están implementados los límites articulares. Este modo será el utilizado para probar programas, siempre ejecutados paso a paso.
- Modo manual a velocidad reducida: En este modo no están activos los límites articulares, ya que, si en el modo programación el robot sale de la zona de trabajo, y se produce un paro general habrá que volver a situarlo en la zona de trabajo manualmente mediante la unidad de programación.

Con las limitaciones articulares de la Q1 y las medidas de la sala, mediante un programa de edición 3D, como se ha dicho anteriormente, se ha realizado un modelo a escala real de todo el conjunto para posteriormente analizar todos los riesgos de seguridad que se nos presentan.

En primer lugar, como puede verse en la Imagen 16, el espacio de trabajo es muy reducido ya que las limitaciones tanto software como hardware son demasiado restrictivas para evitar que el robot no colisione con la verja de seguridad, el techo, las paredes o el suelo.

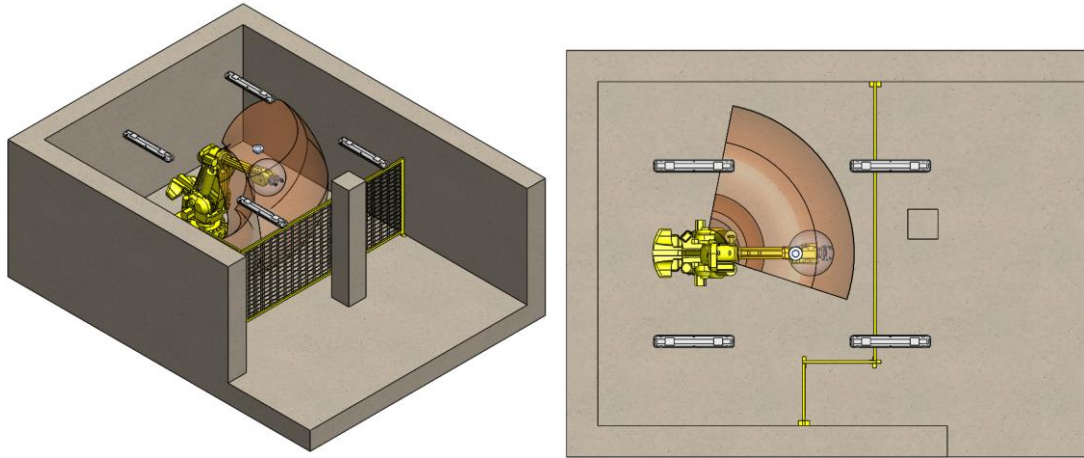


Imagen 16: Espacio de trabajo inicial.

En la imagen anterior podemos ver una parte del laboratorio de tecnologías industriales en la que se muestra el espacio de trabajo resultante después de realizar la limitación de la Q1.

Tener las articulaciones Q2 y Q3 limitadas vía software no es nada práctico, ya que cada vez que iniciamos el robot, como se ha dicho anteriormente, las baterías están descargadas, por lo que debemos volver a calibrar el manipulador.

Esto supone un gran riesgo en la seguridad, tanto de las instalaciones como de las personas cercanas al robot. Si al iniciar el robot el responsable del mismo no hubiese recalibrado y vuelto a limitar vía software el manipulador, no tendría ninguna restricción.

En la siguiente imagen vemos la trayectoria máxima, desde el punto muñeca, que puede alcanzar el robot.

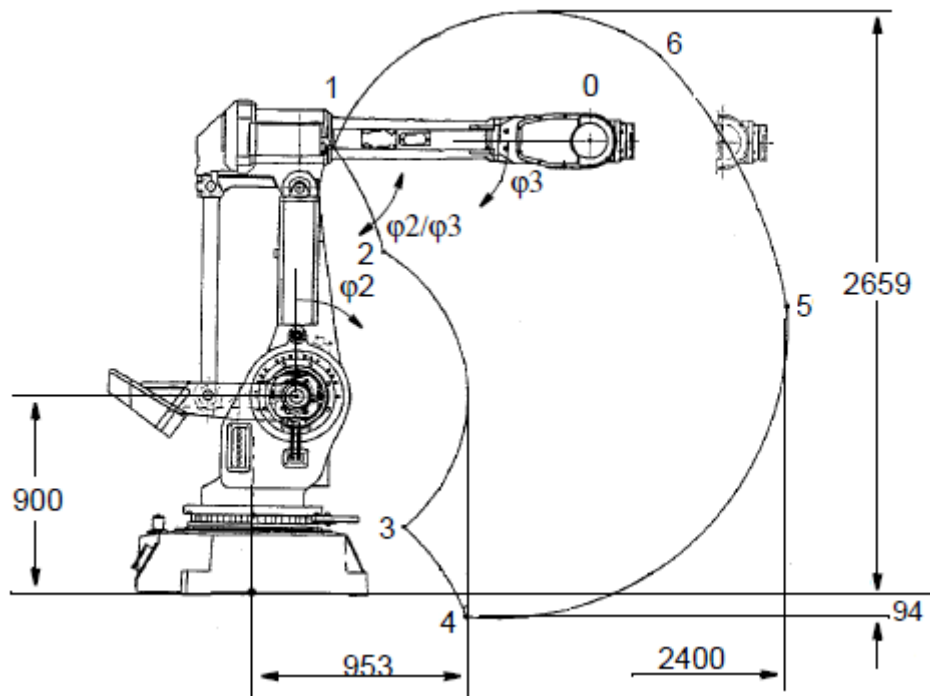


Imagen 17: Área de trabajo del robot.

Pos	Posiciones (mm)		Ángulo φ_2 y φ_3 (grados)	
	X	Z	φ_2	φ_3
0	1488	2075	0	0
1	388	2034	-70	-28
2	571	1563	-70	-5
3	680	314	40	105
4	962	-89	70	105
5	2395	1336	70	5
6	1802	2467	37	-28

Tabla 2: Posiciones extremas del robot.

	Tipo de movimiento	Alcance del movimiento
Eje 1	Mov de rotación	+180° a -180°
Eje 2	Mov del brazo	+70° a -28°
Eje 3	Mov del brazo	+105° a -28°
Eje 4	Mov de la muñeca	+300° a -300°
Eje 5	Mov de inclinación	+120° a -120°
Eje 6	Mov de giro	+300° a -300°

Tabla 3: Límites articulares del robot.

Mediante el modelo en 3D vamos a ver las colisiones que tendría el robot si las limitaciones vía software se hubiesen calibrado incorrectamente. Para ello, vamos a posicionar el robot en los puntos más desfavorables. Con el fin de simplificar el modelo se ha creado una esfera alrededor de la muñeca que simula cualquier posición que la pinza pudiese alcanzar.

- Pos 4, X->962mm y Z->-89mm, $\phi 2 \rightarrow 70^\circ$ y $\phi 3 \rightarrow 105^\circ$.

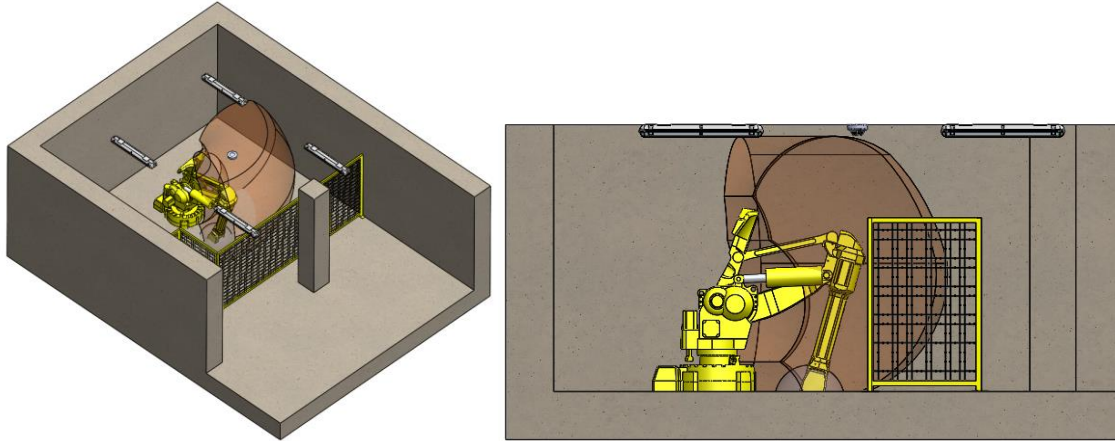


Imagen 18: Colisión contra el suelo.

Como se puede observar en la imagen anterior la muñeca del robot traspasa completamente el suelo. Sin embargo, este problema no puede corregirse puesto que, al estar la verja de seguridad, no puede ponerse ningún elemento. Por ello, cuando el robot esté funcionando en “modo programación” habrá que tener cuidado de no llevar la muñeca muy abajo.

- Pos 5, X->2395mm y Z->1336mm, $\phi 2 \rightarrow 70^\circ$ y $\phi 3 \rightarrow 5^\circ$.

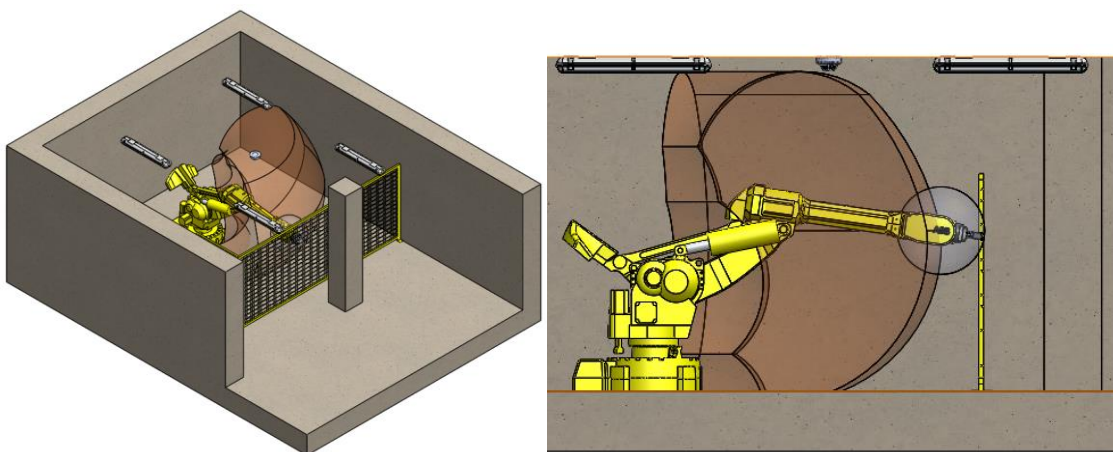


Imagen 19: Colisión contra la valla de seguridad.

Al llevar el robot a esta posición observamos que la pinza choca contra la valla de seguridad, problema que más adelante veremos cómo subsanar.

- Pos superior, X->1210mm y Z->2659mm, $\varphi 2 \rightarrow -3^\circ$ y $\varphi 3 \rightarrow 27^\circ$.

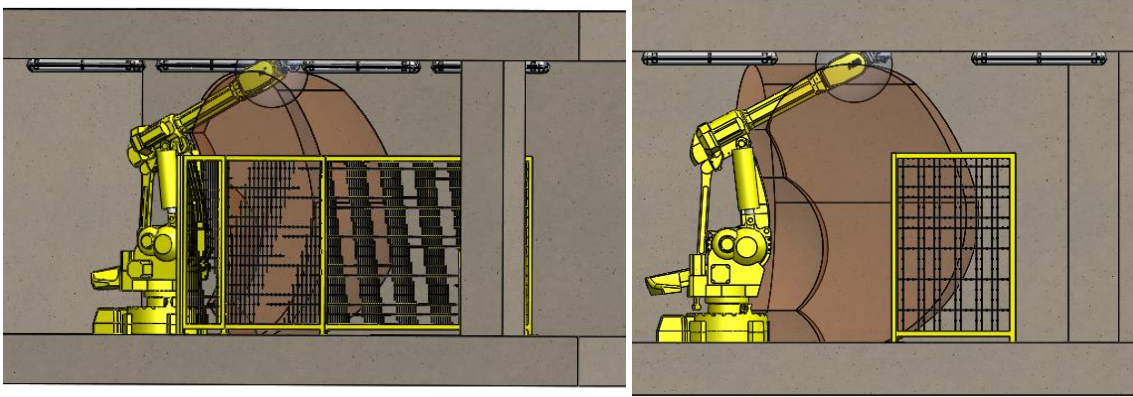


Imagen 20: Colisión contra el techo.

En esta ocasión la muñeca no traspasa el techo, pero la pinza que está instalada sí, por lo que más adelante daremos la solución a este problema.

También se ha comprobado que los límites articulares de la articulación Q1 están configurados correctamente, para ello se ha posicionado el manipulador en la posición más desfavorable, la “pos 5” con el brazo del robot totalmente extendido. En la siguiente imagen se pueden ver las comprobaciones realizadas.

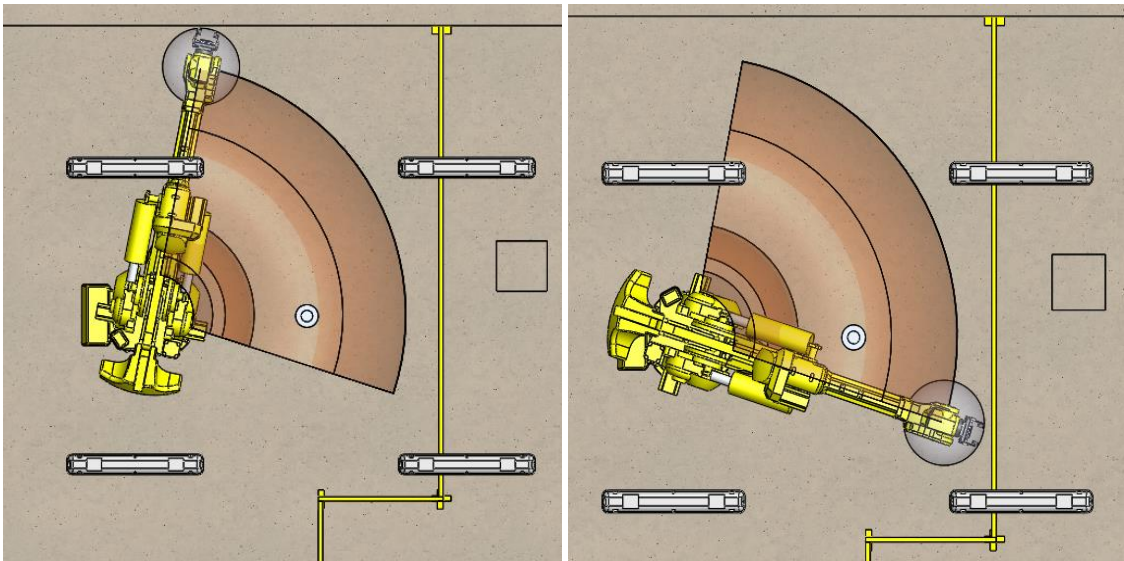


Imagen 21: Robot con un valor de Q1 de 79° . Imagen 22: Robot con un valor de Q1 de -18° .

La Imagen 21 muestra el robot cuando el valor de Q1 vale 79° , podemos observar que la pinza está demasiado cerca de la pared, por lo que podría llegar a ser un problema si la calibración no es muy precisa.

Por otro lado, la Imagen 22 muestra el robot cuando Q1 tiene un valor de -18° . Puede entonces apreciarse que la pinza está demasiado alejada de la verja de seguridad, por lo que también supone un problema para el espacio de trabajo debido a que podría ser más grande.

Por último y resumiendo este apartado, cabe destacar que los problemas en cuanto a la seguridad que tenemos presentes son:

- Choque de la muñeca contra el suelo.
- Choque de la pinza contra la verja de seguridad.
- Choque de la muñeca contra el techo
- Limitación de la articulación Q1 inapropiada.

Además de estos problemas de seguridad, existe un problema de mal aprovechamiento del espacio de trabajo, producido por una mala configuración de la articulación Q1.

En el siguiente apartado se explican las diferentes soluciones para poder subsanar estos riesgos de seguridad, así como una adecuada limitación de la articulación Q1 para un aprovechamiento más eficaz del espacio de trabajo.

5. Estudio de alternativas para mejorar la seguridad

Una vez vistos los problemas en cuanto a la seguridad, se van a explicar todas las soluciones encontradas para poder subsanarlos. Se compararán todas las propuestas y finalmente, en el apartado siguiente, se explicará en detalle cómo se realizaría la instalación de la medida seleccionada.

Los componentes utilizados para corregir estos problemas de seguridad son modelos en 3D de componentes reales que actualmente se encuentran en el mercado. Los presupuestos de estos modelos se pueden ver en el Anexo 1.

Los principales parámetros de las barreras de seguridad son:

- Altura de protección: Longitud de la barrera útil.
- Resolución: Separación entre haces.
- Nº de haces: Numero de sensores de infrarrojos que tiene la barrera.

Adicionalmente a las barreras de infrarrojos, se estudió la posibilidad de poner un escáner de infrarrojos en lugar de estas barreras.



Imagen 23: Escáner de infrarrojos.

Los escáneres pueden configurarse en un área, dentro del rango de detección, con el programa que los configura. Es bastante sencillo dibujar formas diferentes, pero no se admiten huecos dentro del área, es decir, el escáner ha de poder ver hasta el final del perímetro para poder validarlo. Esto se descartó debido al enorme coste que supondría como puede verse en el presupuesto del Anexo 2.

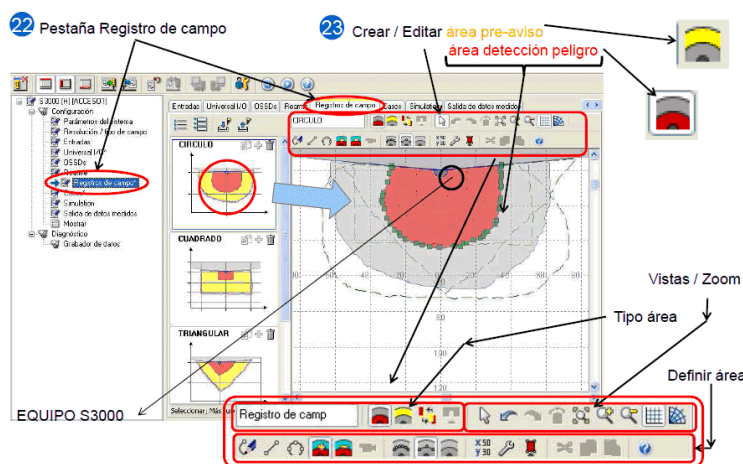


Imagen 24: Programa para configurar el escáner de infrarrojos.

- Una barrera de seguridad para proteger el techo y otra protegiendo la valla.

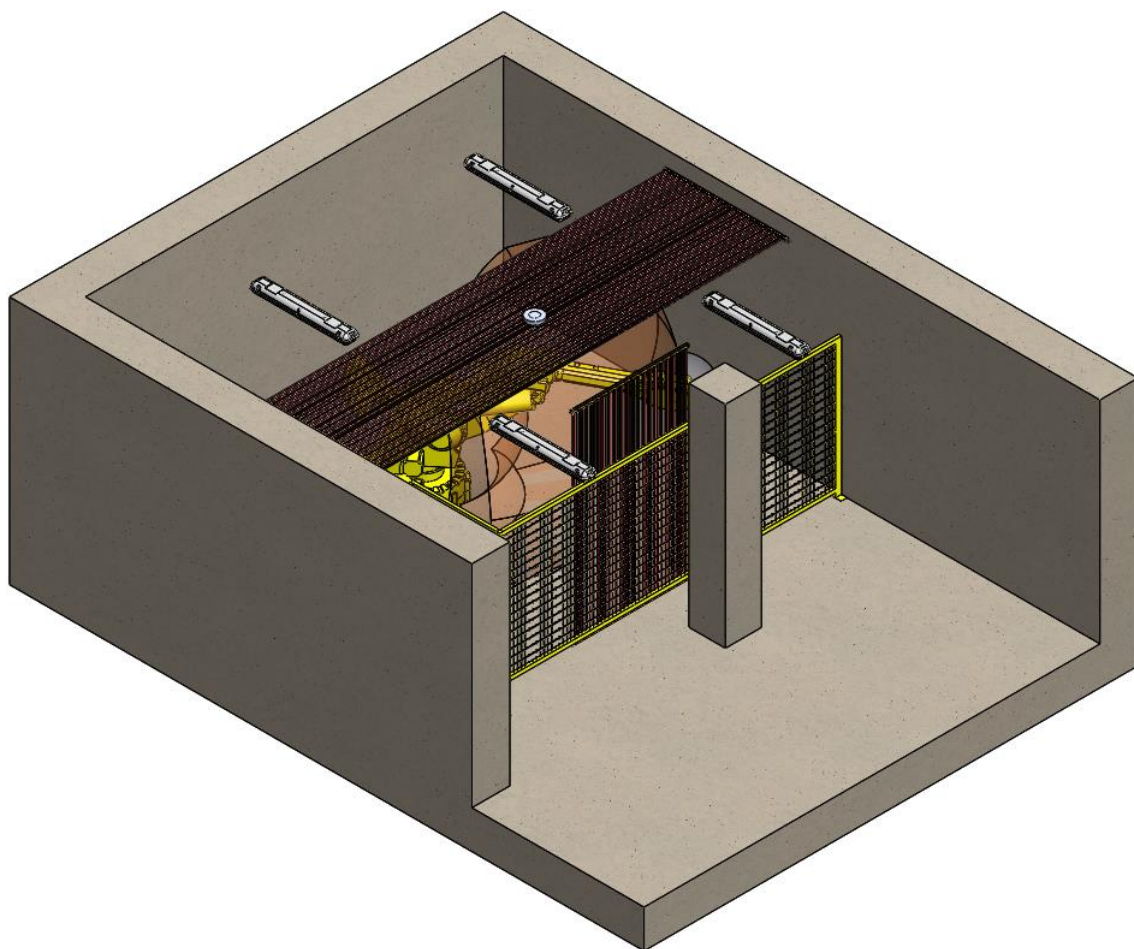


Imagen 25: Propuesta 1.

Características de las barreras de seguridad					
Posición	Altura de protección	Resolución	Nº de haces	Precio	Cantidad
Techo	1630 mm	30 mm	80	1207 €	1 unidad
Valla	1550 mm	30 mm	76	1161 €	1 unidad

Tabla 4: Características de la solución 1.

Con esta configuración de seguridad obtenemos un espacio de trabajo de 9.3 m³ a un coste total de aproximadamente 2500€.

La limitación articular Q1 se ha modificado para poder tener una mayor zona de trabajo. Esta nueva limitación va desde -30° a 70°.

- Una barrera con un espejo de reenvío para proteger el techo y la valla.

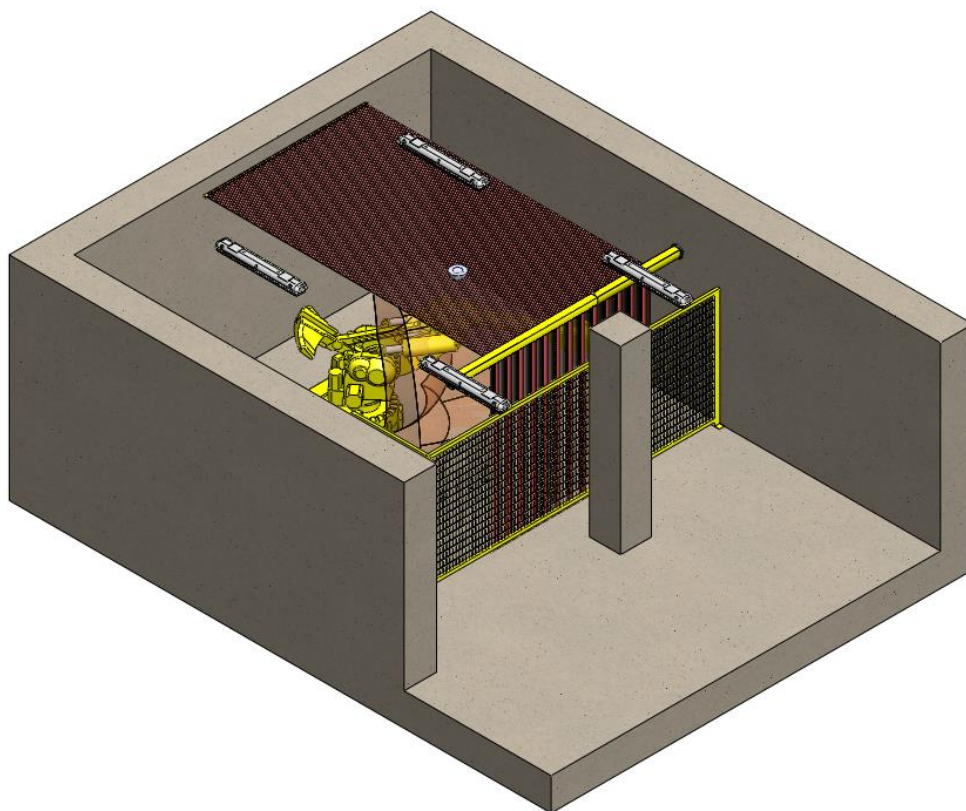


Imagen 26: Propuesta 2.

Características de las barreras de seguridad					
Posición	Altura de protección	Resolución	Nº de haces	Precio	Cantidad
Suelo pared – trasera	2510 mm	30 mm	124	1508 €	1 unidad
Características de los espejos de reenvío					
Posición	Longitud del espejo	Tipo de desvío		Precio	Cantidad
Techo	1800 mm	Vertical a horizontal		725 €	1 unidad
Techo	1050 mm	Vertical a horizontal		589 €	1 unidad

Tabla 5: Características de la solución 2.

En este caso obtenemos un espacio similar al obtenido en la solución anterior, y la limitación articular Q1 se mantiene con los mismos valores.

La problemática de esta configuración está en la unión de los espejos de reenvío, es necesario emplear 2 espejos ya que no hay espejos con una longitud mayor a 1800mm. Para que esta configuración funcione, es necesario eliminar dos haces de las barreras, ya que la unión de los espejos mide 80mm y la distancia entre haces es de 30mm. Esto se puede hacer gracias a la aplicación “Blanking o anulación de haces” que nos permite configurar las barreras mediante programación.

- Tres barreras de seguridad y cinco espejos de reenvío.

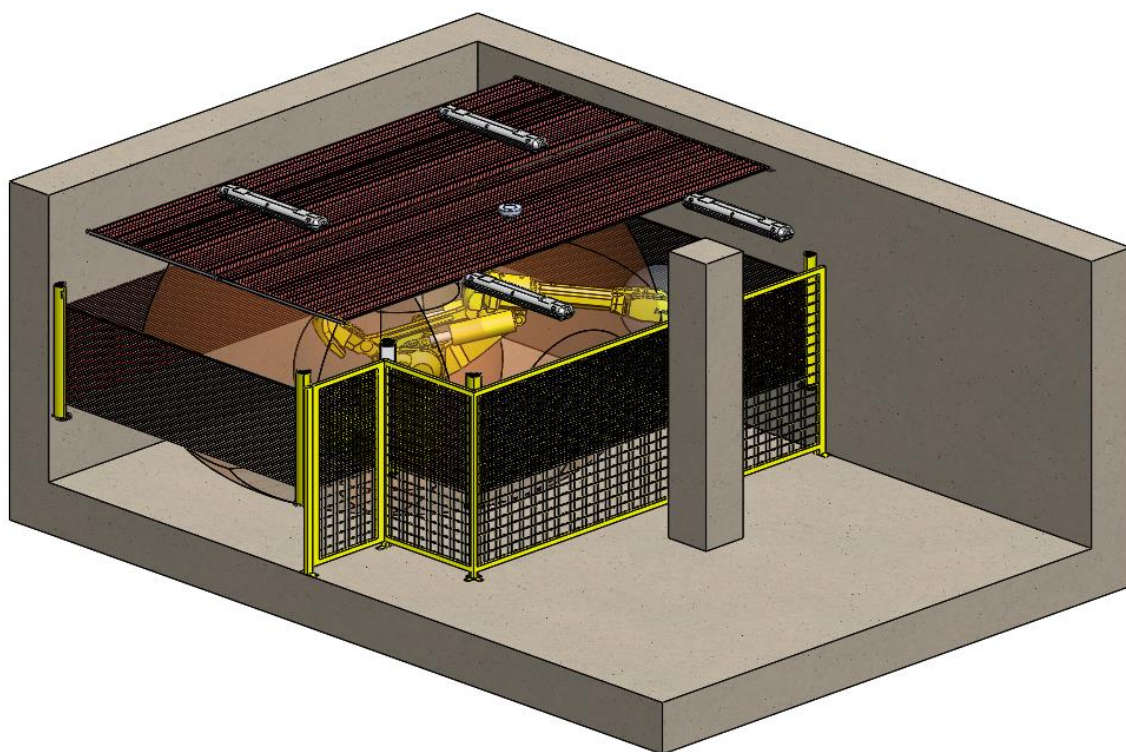


Imagen 27: Propuesta 3.

Características de las barreras de seguridad					
Posición	Altura de protección	Resolución	Nº de haces	Precio	Cantidad
Esquina	990 mm	30 mm	48	926 €	1 unidad
Techo	1550 mm	30 mm	76	1161 €	2 unidades
Características de los espejos de reenvío					
Posición	Longitud del espejo	Tipo de desvío		Precio	Cantidad
En cada esquina	1050 mm	Horizontal		589 €	5 unidades

Tabla 6: Características de la solución 3.

Poder realizar esta configuración implica un coste de aproximadamente 6500€, sin embargo, con esta solución a los problemas de seguridad se alcanzaría un espacio de trabajo de 26 m³, evitando además la colisión contra las paredes laterales, el techo y la verja de seguridad.

Esta solución representa un gasto económico demasiado elevado por lo que, a continuación, se presenta otra propuesta que mejorará el desembolso económico a costa de reducir mínimamente el espacio de trabajo.

- Tres barreras de seguridad y tres espejos de reenvío.

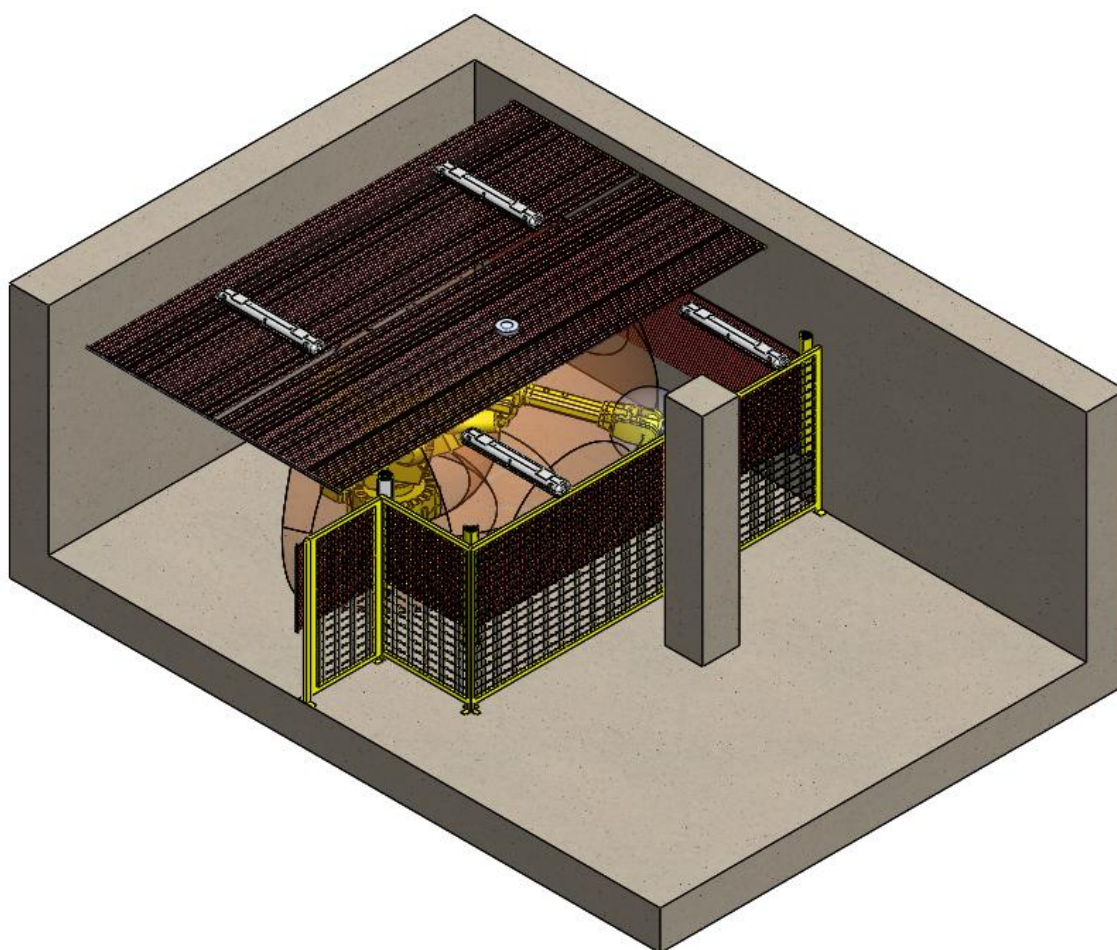


Imagen 28: Propuesta 4.

Características de las barreras de seguridad					
Posición	Altura de protección	Resolución	Nº de haces	Precio	Cantidad
Esquina	990 mm	30 mm	48	926 €	1 unidad
Techo	1550 mm	30 mm	76	1161 €	2 unidades
Características de los espejos de reenvío					
Posición	Longitud del espejo	Tipo de desvío		Precio	Cantidad
En cada esquina	1050 mm	Horizontal		589 €	3 unidades

Tabla 7: Características de la solución 4.

Esta configuración es muy parecida a la anterior excepto por una variación que consiste en quitar dos espejos con la ventaja de ahorrar casi 1200€, pero en contraposición perdemos espacio de trabajo, este ahora es de 16,8 m³.

Tomando como referencia esta configuración existirían muchas variantes ya que, con los espejos de reenvío, se puede configurar el espacio de trabajo buscando siempre la relación más apropiada en cuanto espacio de trabajo – coste.

- Una barrera y desplazar la verja de seguridad.

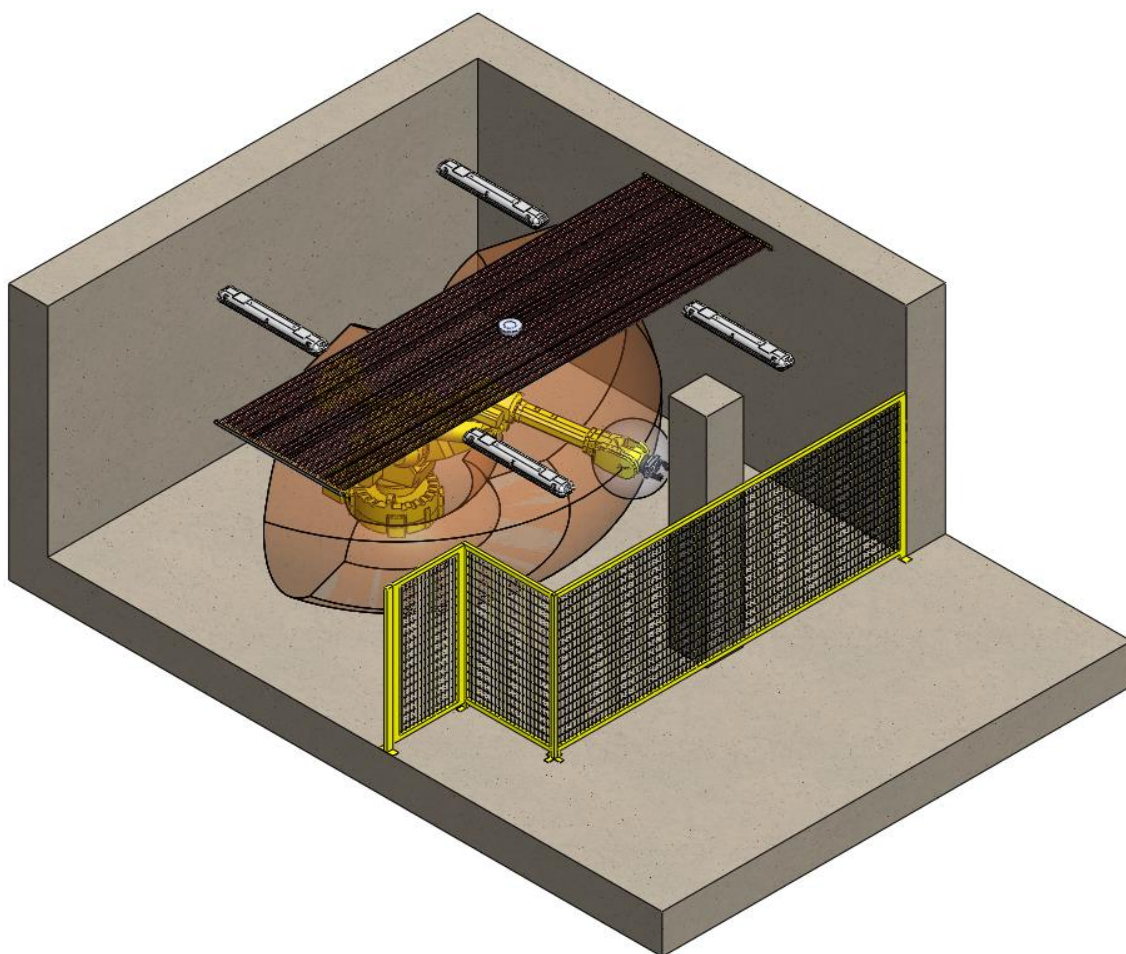


Imagen 29: Propuesta 5.

Características de las barreras de seguridad					
Posición	Altura de protección	Resolución	Nº de haces	Precio	Cantidad
Techo	1630 mm	30 mm	80	1207 €	1 unidad

Tabla 8: Características de la solución 5.

Tras estudiar las anteriores medidas, se propuso esta solución y se le planteó al responsable de seguridad de la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales en la Universidad de Zaragoza. En una prueba realizada con el robot se vio que golpeaba la valla de seguridad por muy pocos centímetros, de forma que se tomó la decisión de retrasarla para evitar este problema.

Una vez se había subsanado el problema con la valla, el presupuesto es muy inferior en comparación con las anteriores medidas. Con todos elementos necesarios para colocar una única barrera de infrarrojos en el techo, este asciende a 1500€.

El espacio de trabajo se ha visto incrementado hasta los 14 m³, por lo que es espacio suficiente para la manipulación de objetos.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de todas las propuestas anteriores, las cuales se comparan basándose en temas económicos, así como del espacio de trabajo útil.

El espacio de trabajo inicial es de 10 m³

Propuesta	Espacio de trabajo	Precio
1	9.3 m ³	2500€
2	9.3 m ³	3200€
3	26 m ³	6500€
4	16.8 m ³	5300€
5	14 m ³	1500 €

Tabla 9: Resumen de las propuestas.

Como se aprecia en la tabla, la mejor solución en cuanto a espacio de trabajo sería la propuesta número 3, que implica un gran desembolso económico. Por lo tanto, se ha tenido que buscar un equilibrio entre precio y espacio de trabajo.

La propuesta número 5 es la que se ha seleccionado para su instalación, siendo la más económica, habiendo supuesto esto una ventaja a la hora de pedir financiación. Esta propuesta cumple los requisitos indicados por la unidad de prevención de riesgos laborales.

En el siguiente apartado se muestra cómo sería, en mi opinión, la forma óptima de realizar la instalación, incluyendo tanto la ubicación correcta de la barrera de infrarrojos como la realización de todo el cableado, así como la incorporación de esta medida a la cadena de seguridad.

6. Análisis específico de la solución adoptada

Como se ha visto en el apartado anterior, la propuesta número cinco es la solución más idónea en cuanto a relación espacio de trabajo – precio. Por eso, en este apartado se va a explicar en detalle cómo sería la instalación de los diferentes componentes.

En primer lugar, gracias al modelo 3D visto anteriormente, se ha podido seleccionar con exactitud la longitud de la barrera de infrarrojos, así como su localización más idónea para una correcta protección, tanto de los elementos cercanos al robot como del propio manipulador.

De todos los elementos que hay en el techo, los que tienen riesgo de sufrir una colisión son las filas de fluorescentes que hay encima del robot y la alarma de incendios, no corriendo ningún riesgo los fluorescentes que se encuentran delante del robot. En el modelo 3D se ha posicionado el robot en las zonas que éste tiene un mayor riesgo, como se puede ver en las siguientes imágenes.

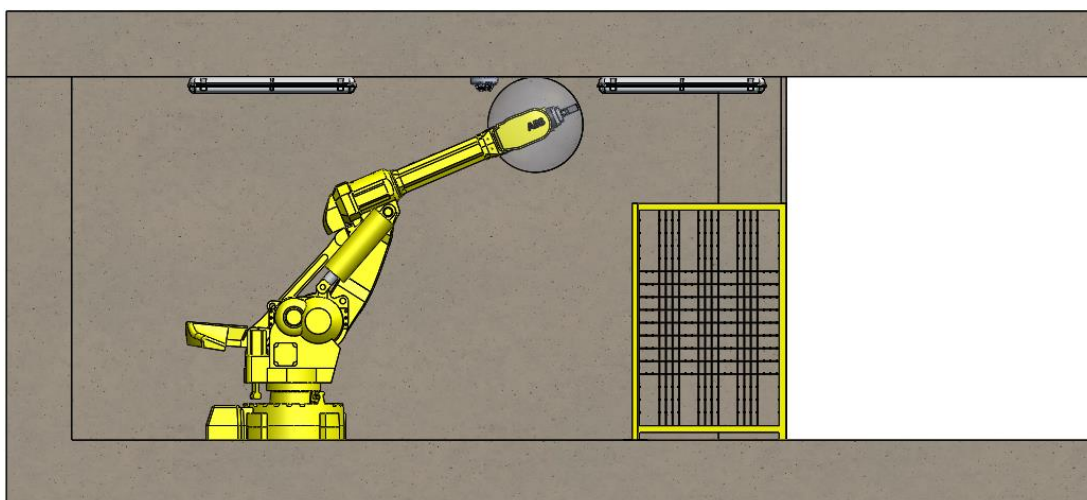


Imagen 30: Inicio de colisión contra el techo.

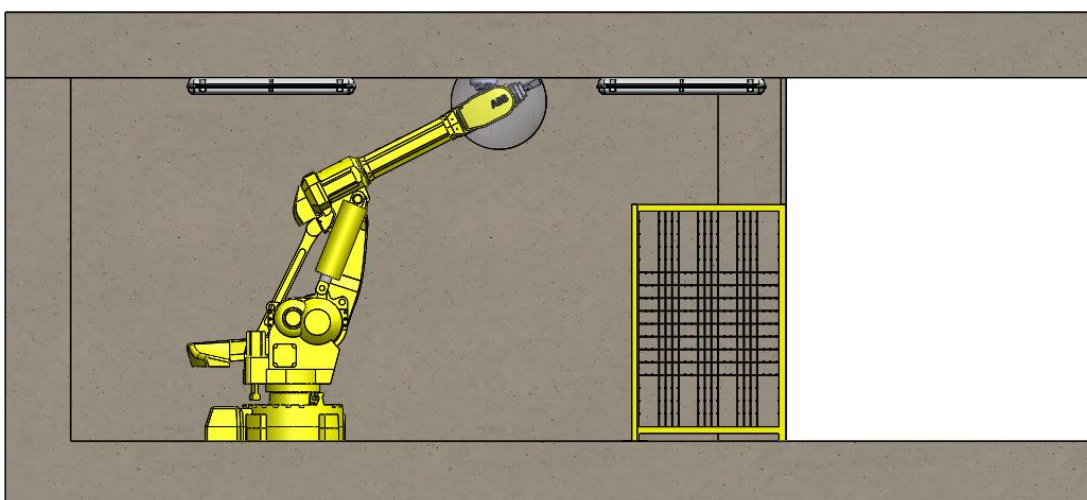


Imagen 31: Colisión contra el detector de humo.

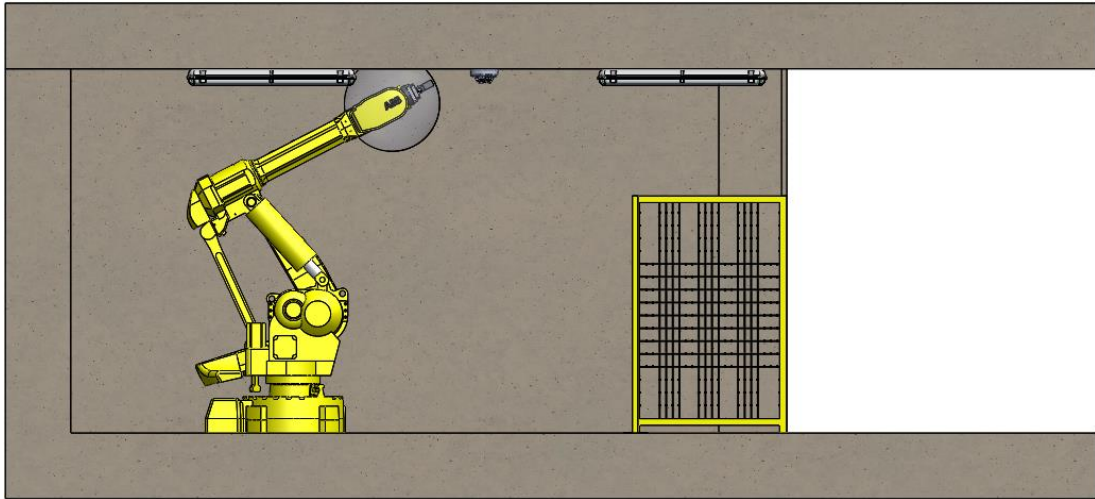


Imagen 32: Colisión contra los fluorescentes.

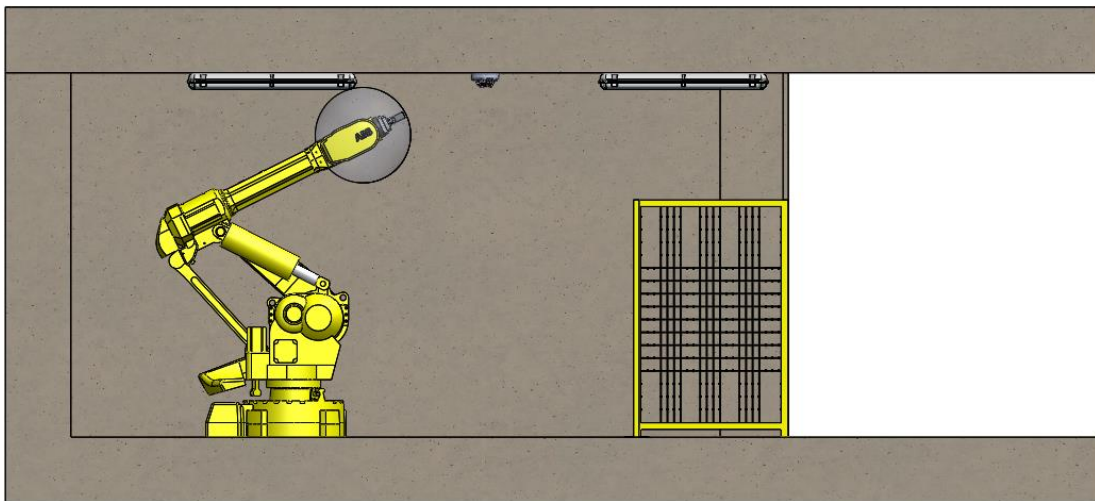


Imagen 33: Final de colisión.

- En la Imagen 28 se puede ver el momento en el cual el robot hace contacto con el techo del laboratorio de tecnologías industriales.
- En la Imagen 29 observamos que el robot, como se ha dicho anteriormente, choca contra la alarma de incendios.
- En la Imagen 30 el manipulador colisiona contra los fluorescentes que tiene encima de él.
- Por último, en la Imagen 31 el manipulador termina de hacer contacto con los obstáculos presentes en su trayectoria.

Para impedir la colisión del robot con los anteriores elementos se ha decidido que éste nunca pueda estar a menos de 10 cm de cualquier elemento situado en el techo.

Con las restricciones marcadas, en el modelo 3D creamos una línea horizontal, a modo de frontera virtual, situada a 10 cm de los fluorescentes, la cual nos va a delimitar el espacio de trabajo por la parte superior.

Con la anterior línea y la trayectoria máxima del manipulador, determinamos la longitud de la barrera de seguridad de infrarrojos.

En la siguiente imagen, podemos ver el primer punto de referencia para situar esta barrera.

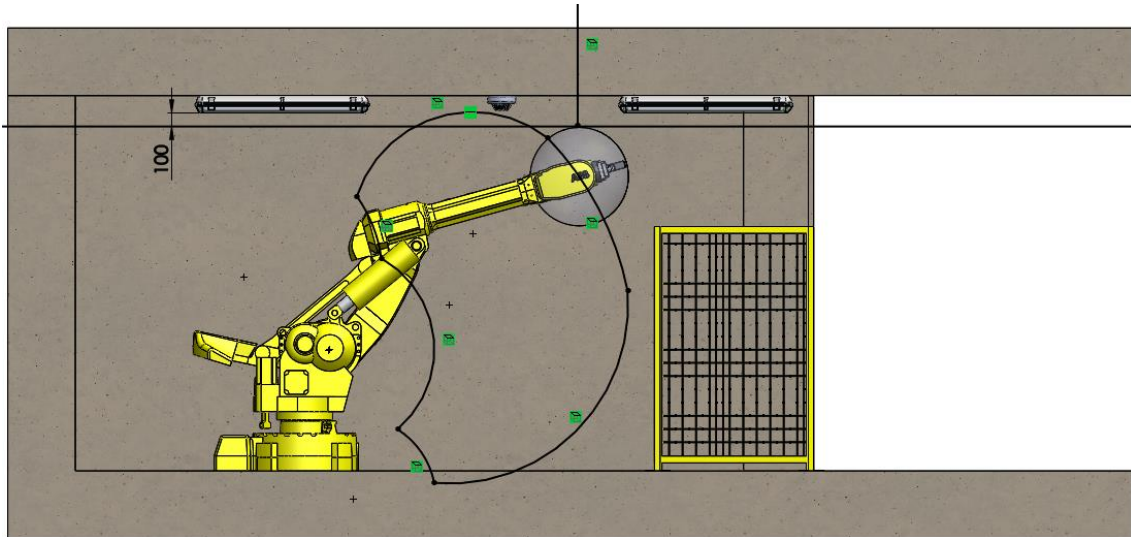


Imagen 34: Punto inicial.

Nuevamente desplazamos el robot a lo largo de su trayectoria, hasta que otra vez nos crucemos con la línea horizontal, momento que marcará el siguiente y último punto de referencia. Una vez hemos obtenido los dos puntos, la longitud de la barrera que debemos poner es la separación horizontal de éstos. En la siguiente imagen podemos ver el resultado final.

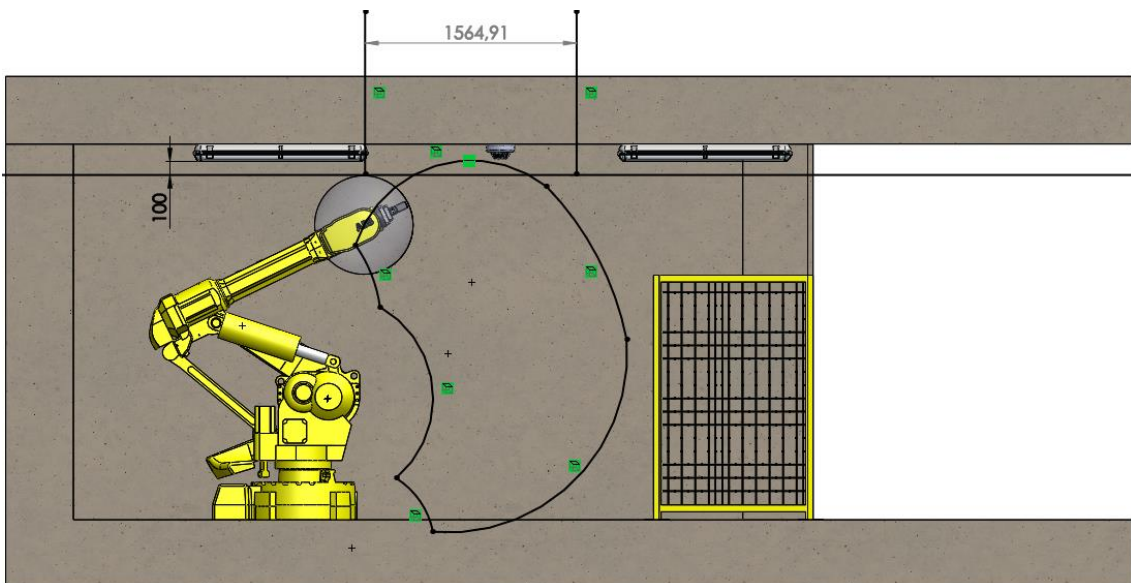


Imagen 35: Punto final.

Se ha obtenido una medida de 1564 mm y, en los catálogos de las diferentes marcas comerciales, las barreras de infrarrojos con unas medidas más próximas son de 1550 mm y de 1630 mm. La barrera de seguridad de 1550 mm tiene un alcance de protección inferior al requerido, pero al introducir un margen de seguridad de 10 cm sí que podría servir para nuestra instalación.

La barrera de infrarrojos tiene que estar situada a 230 mm del techo, 100 mm que son el margen de seguridad y 130 mm que corresponden a la altura del fluorescente.

Después de conocer las medidas necesarias para la barrera de infrarrojos, se ha realizado un estudio de mercado con diferentes marcas comerciales. En este estudio se ha pedido presupuesto de las barreras de infrarrojos (1550 mm y de 1630 mm), así como de todos los elementos necesarios para su correcta colocación. Estos presupuestos pueden verse en el Anexo 1.

Tras estudiar todos los presupuestos de las diferentes casas, se ha optado por poner una barrera de infrarrojos de la casa “Omron” de 1630 mm de protección, con referencia “F3SG-4RE1630P30”. Se ha optado por poner la barrera más grande ya que el precio de ésta y de la de 1550 mm era prácticamente el mismo.

“Sumiaraiz Teruel”, empresa encargada de suministrarnos el material, nos aconsejó sobre una serie de componentes adicionales: cable con conectores, relé de seguridad, software de configuración y cable de comunicación a PC, estos se explicarán a continuación. La instalación de estos componentes corre a cargo de la empresa “Ebro Aire” ya que ésta cuenta con un acuerdo de colaboración con la EUPT.

A continuación, se explica cómo se interconectarían todos estos componentes.

Una vez posicionado tanto el emisor como el receptor en las paredes laterales, según las medidas dadas anteriormente, se procederá a alimentar las barreras de infrarrojos. Esto se realiza mediante un conector M12 de 4 pines, el cual puede verse en la siguiente imagen.



Imagen 36: Conector M12.


	PIN	Emisor	Receptor	Color
	1	+24 Vcc	+24 Vcc	Marrón
	2	Selector de rango	OSSD 2	Blanco
	3	0 Vcc	0 Vcc	Azul
	4	No se usa	OSSD 1	Negro

Tabla 10: Pines del conector M12.

Una vez alimentadas las barreras de infrarrojos con una fuente de alimentación auxiliar de 24 Vcc, con los leds que éstas incorporan, se realiza su calibración. Cuando estén perfectamente alineadas se iluminará un led inferior y otro superior.

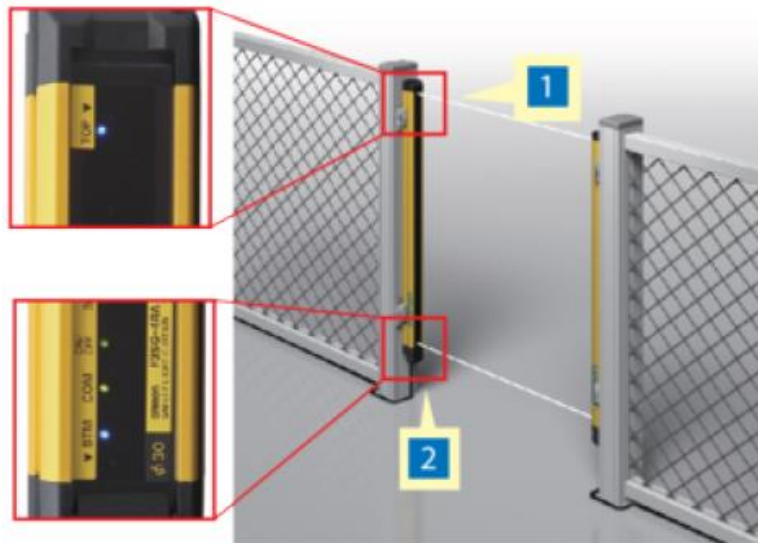


Imagen 37: Calibración de las barreras de infrarrojos.

Dicha fuente de alimentación nos va a ser útil para alimentar un relé de seguridad con referencia G9SE-401. Este tipo de relé nos permite realizar las conexiones entre la barrera de seguridad, cuya salida es un transistor de corriente máxima de carga 300 mA, y la cadena de seguridad del robot, la cual necesita una corriente superior a la suministrada por la barrera. Este relé lo podemos ver en la siguiente imagen.



Imagen 38: Relé de seguridad.

El relé posee unos diodos de indicación:

- PWR => Cuando el led está iluminado nos indica que el relé esta alimentado.
- IN1 => Si se ilumina este led quiere decir que la entrada 1 se ha activado.
- IN2 => Si se ilumina este led quiere decir que la entrada 2 se ha activado.
- OUT => Cuando este led se ilumina significa que alguna salida está activa.

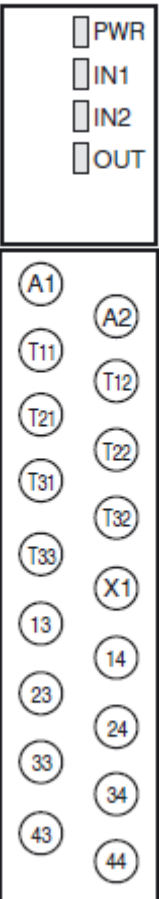
	PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	A1 A2	Entrada de alimentación.	Conecte la fuente de alimentación a los terminales A1 y A2.
	T11 T12	Entrada de seguridad 1.	Para configurar las salidas de seguridad en estado ON, las señales de estado HIGH deben conectarse a la entrada de seguridad 1 y la entrada de seguridad 2.
	T21 T22	Entrada de seguridad 2.	
	T31 T32 T33	Entrada de rearme.	La entrada de señal a T32 debe cambiar del estado OFF al estado ON y, a continuación, al estado OFF.
	X1	Salida auxiliar.	Mantenga estas salidas abiertas cuando NO las utilice.
	13-14 23-24 33-34 43-44	Salida de seguridad.	Se pone en estado ON/OFF de acuerdo con el estado de las entradas de seguridad, entradas de realimentación/rearme.

Tabla 11: Pines del relé de seguridad.

La entrada de rearme será cableada al rearme principal que está situado en el controlador del robot.

La salida auxiliar se trata de un transistor PNP, cuya corriente de carga máxima es de 100 mA. Esta salida, al no ser utilizada, se deja al aire, del mismo modo, las salidas no utilizadas en este relé no se conectan.

Una vez se han conectado todos elementos, queda incorporar esta medida de seguridad a la cadena, para ello el contacto 13 – 14 del relé de seguridad se pondrá en serie con la señal del final de carrera de la puerta, y la que proviene del anillo de seguridad de la articulación Q1.

En la siguiente imagen se puede observar un esquema eléctrico en el que aparecen todas las conexiones necesarias para la incorporación de la barrera de infrarrojos a la cadena de seguridad del controlador.

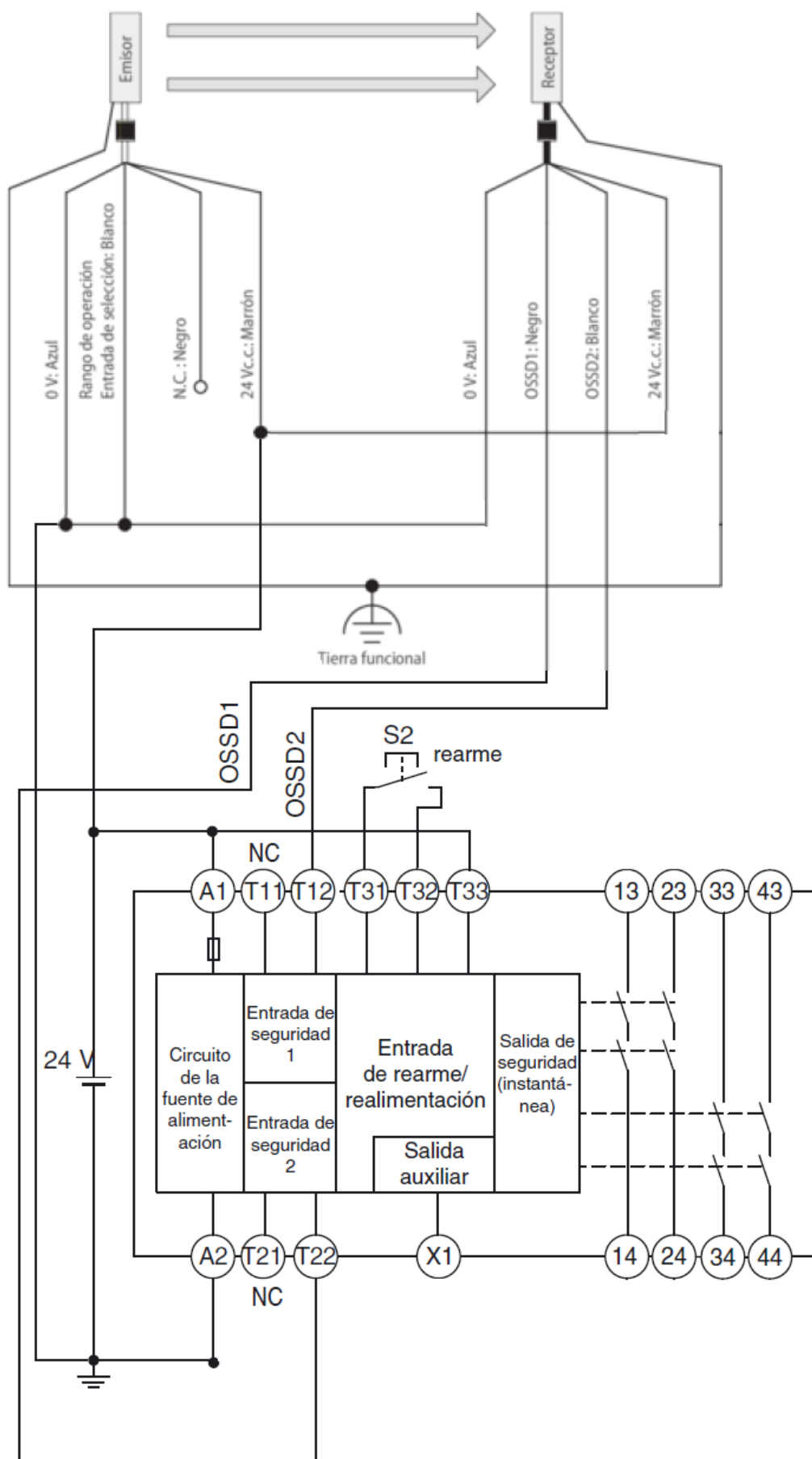


Imagen 39: Esquema de conexionado de las barreras de infrarrojos.

Para el ajuste de la articulación Q1 también se ha empleado el modelado en 3D trazando una línea a 5 cm de la pared y aproximando posteriormente el robot hasta que coincida con esta línea, siendo éste un margen suficiente ya que el robot al trabajar a velocidad reducida no produce ninguna inercia. Al trazar después una línea horizontal partiendo del centro de la base del robot y otra línea coincidente al centro del brazo del mismo, obtendremos el ángulo necesario para limitar la articulación Q1. Puesto que la sala es simétrica y el robot está situado en el centro, dicha limitación también será simétrica. Este proceso puede verse en la siguiente imagen.

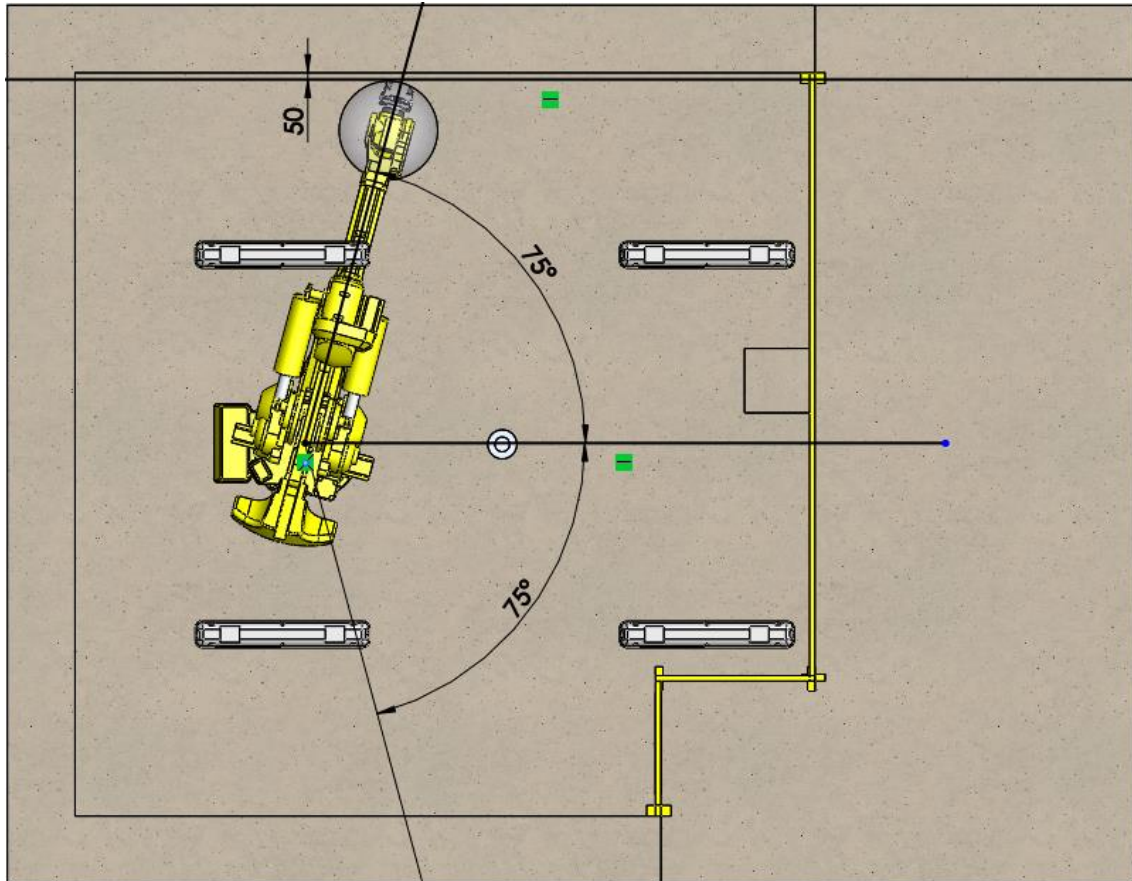


Imagen 40: Calibración de la articulación Q1.

7. Configuración de la pinza

En la actualidad, la electroválvula se encuentra gobernada mediante una fuente de alimentación y un interruptor. En este TFG se pretende dar solución al problema para poder controlar la apertura y cierre de la pinza mediante el controlador del robot.

Para ello, se plantean dos alternativas; conectar la electroválvula a un módulo de E/S digitales o crear una red Profibus DP para el control de dicha electroválvula.

7.1. DSQC 328

Como se ha mencionado en el apartado 3.5 Unidad de E/S, este componente es una tarjeta de E/S digitales.

Tiene 16 entradas y salidas, divididas en grupos de ocho. Todos los grupos están aislados galvánicamente y pueden ser alimentados a partir de la alimentación de E/S de 24 V de armario o desde una fuente de alimentación separada.

La conexión con el controlador se realiza mediante comunicación CAN, este controlador posee un bus de comunicación CAN, dividido a su vez en: CAN1, CAN2 y CAN3.

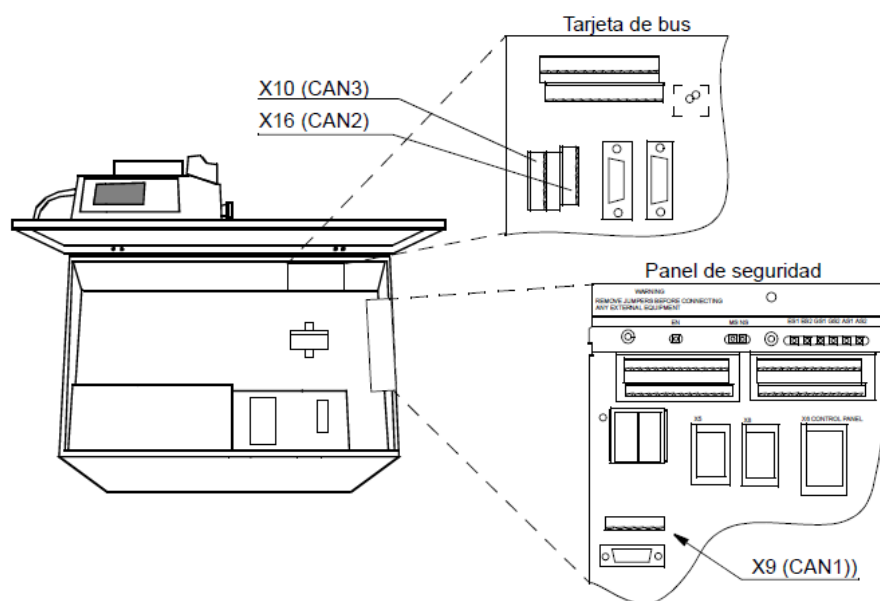


Imagen 41: Controlador visto por arriba.

La Imagen 41 nos muestra el armario del controlador abierto por la parte superior. En el panel de seguridad se encuentran todas las señales procedentes de la parte de seguridad del manipulador, así como las señales de limitación de la Q1 y los diferentes paros de emergencia.

El conector X9, que corresponde al bus CAN1, está reservado únicamente para el panel anterior, por lo que no podemos alterar dichas señales de seguridad.

La tarjeta del bus es la encargada de gestionar e interactuar con las unidades de E/S externas al controlador.

Por un lado, tenemos el conector X16 correspondiente al CAN2, que es el responsable de la comunicación cuando la unidad de E/S está colocada en el manipulador, el cual no podemos usar porque estas señales son propias del robot.

Por tanto, tenemos que emplear el conector X10, que corresponde al CAN 3, el cual es el encargado de intercomunicar señales cuando la unidad de E/S está colocada fuera del armario de control.

Cuando sólo uno de los X10/X16 está conectado, el otro deberá tener 120 Ω de terminación.

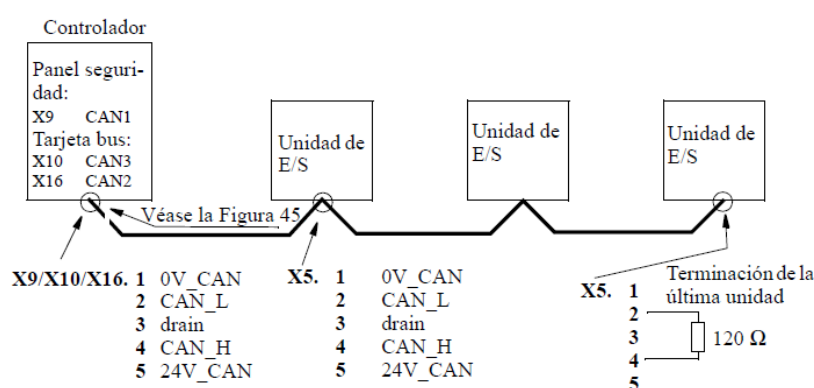


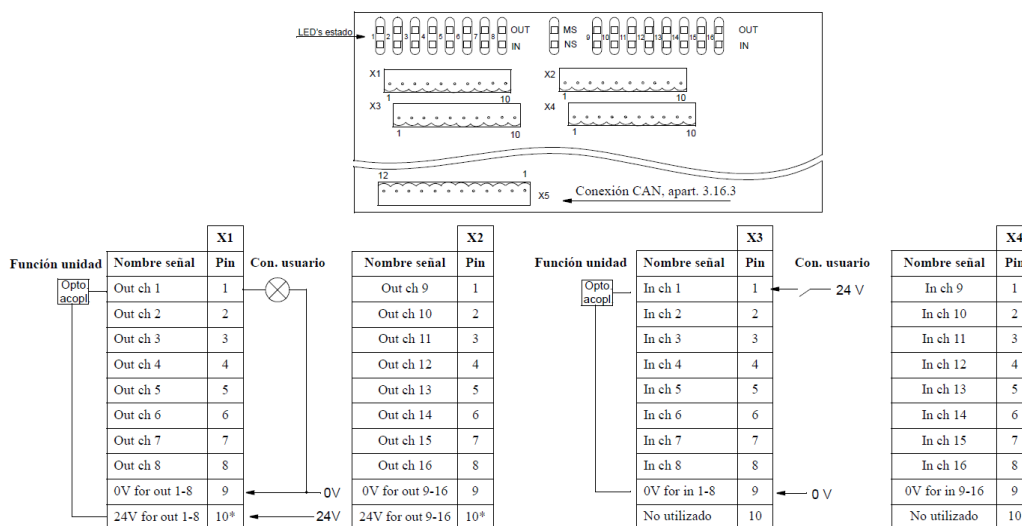
Imagen 42: Esquema de la conexión CAN.

El conector X5 correspondiente al módulo de E/S es por el que pasa la información del bus, a la vez que nos permite crear una dirección única de esa tarjeta.

CONECTOR	PIN	SEÑAL	DESCRIPCIÓN
	1	V-	Tensión de alimentación GND
	2	CAN_L	Señal CAN desactivada
	3	DRAIN	Apantallamiento
	4	CAN_H	Señal CAN activada
	5	V+	Tensión de alimentación 24VCC
	6	GND	GND Lógico
	7	MAC ID 0	Tarjeta ID bit 0 (LSB)
	8	MAC ID 1	Tarjeta ID bit 1
	9	MAC ID 2	Tarjeta ID bit 2
	10	MAC ID 3	Tarjeta ID bit 3
	11	MAC ID 5	Tarjeta ID bit 4
	12	MAC ID 5	Tarjeta ID bit 5 (MSB)

Tabla 12: Pines del conector X5.

24V_CAN no deberá ser usado para la alimentación de las entradas y salidas digitales. En vez de ello, deberán utilizar la alimentación de 24 V E/S procedente del armario o de forma externa mediante una unidad de fuente de alimentación.



7.2. DSQC 368

En este apartado vamos a ver el conexionado de la red Profibus DP mediante la tarjeta de expansión ya nombrada en el apartado 3.6 y la electroválvula que gobierna la pinza.

La red Profibus DP es el sistema de comunicaciones más extendido en la industria, y no es más que un elemento que hace de maestro del que cuelgan uno o más elementos esclavos.

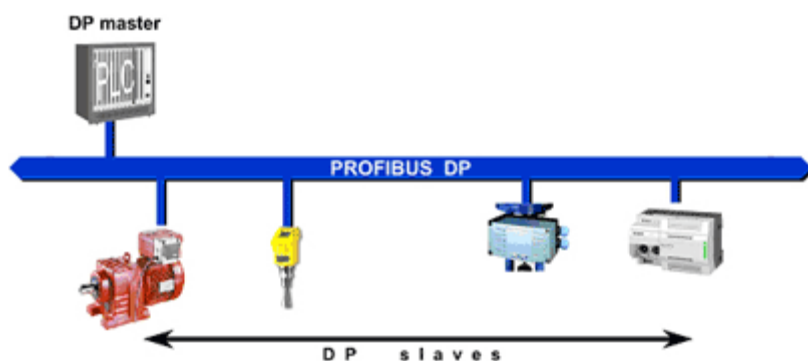


Imagen 45: Comunicación Profibus DP.

Profibus DP tiene tres versiones o variantes:

DP-V0 (1993)	<ul style="list-style-type: none">• Transferencia cíclica de datos.• Diagnóstico de estaciones.• Módulos y canales.• Soporte de interrupciones.
DP-V1 (1997)	<ul style="list-style-type: none">• Comunicación acíclica de datos.• Orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización.
DP-V2 (2002)	<ul style="list-style-type: none">• Permite comunicaciones entre esclavos.• Alta velocidad para sincronización entre ejes.• Orientada a tecnología de drives.

Tabla 13: Versiones de la comunicación Profibus DP.

El hardware del bus de campo Profibus-DP está formado de una unidad Maestro/ Esclavo y de unidades esclavo de E/S distribuidas. La unidad DSQC 368 está conectada al bus VME del controlador del robot mientras que las unidades esclavo están vinculadas a la red de bus de campo.

Las unidades esclavo pueden ser unidades de E/S con señales digitales y/o analógicas. Todas ellas están controladas por la sección maestro de la unidad DSQC 368.

La sección esclavo de la unidad DSQC 368 está controlada por un maestro externo en una red Profibus-DP separada como se puede ver en la Imagen 46. Esta red es distinta de la que contiene las unidades esclavo para la sección maestro de la tarjeta.

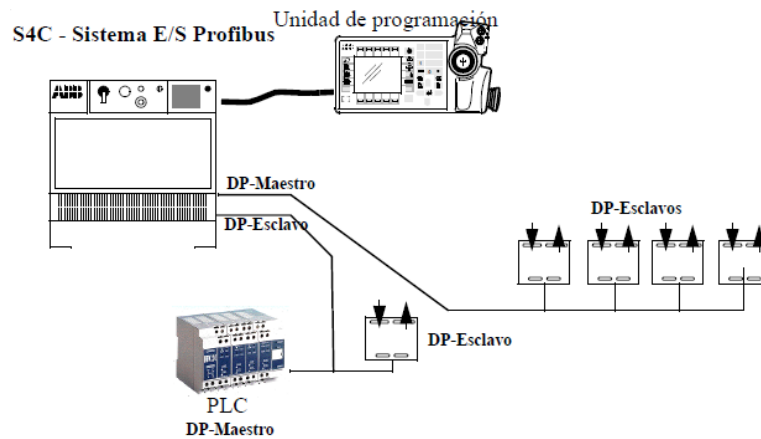


Imagen 46: Componentes de la comunicación Profibus DP.

Las diferentes tecnologías de transmisión son identificadas como:

RS 485	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza un par de cobre trenzado apantallado. • Velocidades entre 9.6 kbit/s y 12 Mbit/s. • Hasta 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores.
MBP	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión sincrónica con una velocidad fija de 31.25 kbit/s.
RS 485 IS	<ul style="list-style-type: none"> • Las versiones IS son utilizadas en zonas peligrosas.
MBP IS	
Fibra óptica	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra de vidrio multimodo y monomodo. • Fibra plástica. • Fibra HCS.

Tabla 14: Tecnologías de transmisión de la comunicación Profibus DP.

La conexión entre la red profibus y la unidad DSQC 368 se realiza mediante un conector RS 485, más comúnmente conocido D-Sub 9. Como se puede apreciar en la Imagen 47, este conector cuenta con una electrónica básica para satisfacer las necesidades de una red Profibus DP, cuenta con unas resistencias de terminación y la posibilidad de conectar dos canales de bus.

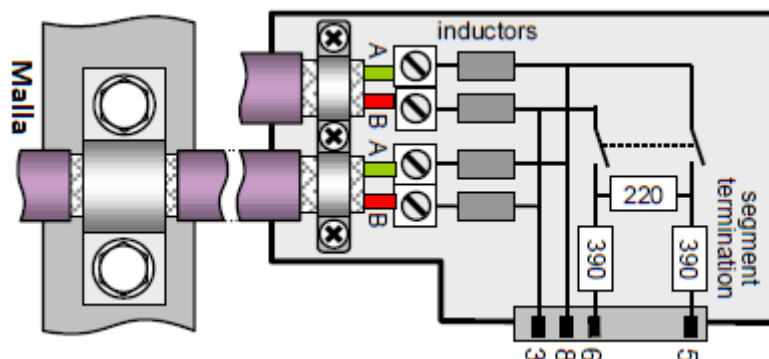


Imagen 47: Conector Profibus DP.

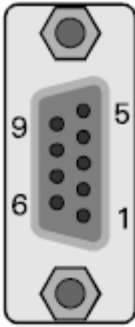
CONECTOR	SEÑAL	PIN	DESCRIPCIÓN
	Malla	1	GND
	-	2	-
	B-line	3	Datos linea B
	RTS	4	Señal de control TTL
	DGND	5	Datos 0V
	VP	6	5V para terminación del bus
	-	7	-
	A-line	8	Datos linea A
	-	9	-
	Malla	Chasis	GND

Tabla 15: Conector D-Sub 9.

El conector posee un micro switch de ON/OFF empleado para activar las resistencias de terminación, estas son necesarias cuando solo se utiliza un canal en el conector.

El terminador es una resistencia eléctrica al final de un canal de transmisión para absorber las señales del canal, evitando de este modo que reboten y que vuelvan a ser recibidas por las estaciones anteriores.

Las resistencias de terminación, convierten la corriente del bus de campo transmitida en una tensión detectada en el cable.



Imagen 48: Posición del micro switch.

Como se puede ver en la Imagen 48, el conector de la red Profibus DP posee un canal de entrada “canal A” y un canal de salida “canal B” Cuando esta red de comunicación solo cuenta con un esclavo instalado, las resistencias de terminación estarán activas.

Los datos son enviados a través de un cable que cuenta con: dos vivos, “línea A” señal negativa y “línea B” señal positiva, y una malla, GND

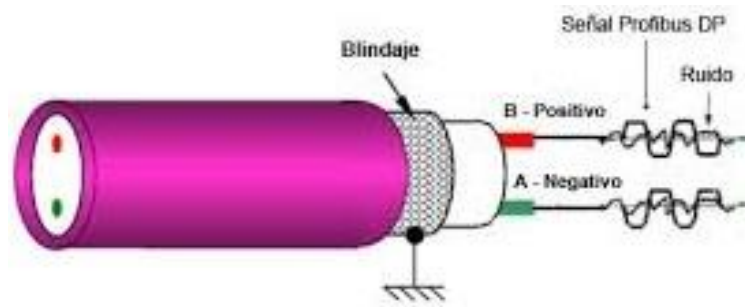


Imagen 49: Cable de comunicación Profibus DP.

El bus de comunicaciones lo completamos conectando a la red Profibus DP en módulo esclavo mediante el terminal D-Sub 9, y configurando el conector como se ha explicado anteriormente.

8. Puesta en marcha de la pinza

En este apartado veremos cuál de las dos opciones, mostradas en el apartado anterior, es la que finalmente se implantaría en nuestro sistema robótico.

En la siguiente tabla, podemos observar una comparativa de las dos propuestas:

	DSQC 328	DSQC 368
Conexión	Peor	Mejor
Configuración	Mejor	Peor
Cableado	Mejor	Peor
Compatibilidad	Mejor	Peor
Precio	Peor	Mejor

Tabla 16: Tabla resumen de los dos tipos de comunicación.

Por lo tanto, observamos que la tarjeta más óptima para realizar nuestro proyecto es la DSQC 328 con un precio de 2580 €.

Como pasa en muchos proyectos, el precio suele ser uno de los factores más importantes a la hora de seleccionar un producto, y puesto que la tarjeta DSQC 368 se encuentra instalada en el controlador, vamos a utilizar este método para interconectar la pinza.

8.1. Conexionado final

Vamos a ver cómo sería el montaje final, tanto software como hardware, de la tarjeta con el controlador y de la red Profibus DP, partiendo del controlador hasta llegar a la pinza.

El controlador tiene conectada la tarjeta DSQC 368 al bus VME por lo que la primera conexión la tendríamos resuelta.

Con el conector D-Sub 9 visto en el apartado 7.2. DSQC 368 y un cable para comunicación profibus, también visto en dicho apartado, realizamos la conexión entre la tarjeta DSQC 368, conectando en la salida DP-Master, y un módulo de E/S con comunicación Profibus.

Puesto que solo vamos a utilizar un módulo el cable profibus lo conectamos al “canal A” del conector D-Sub 9, finalmente ponemos el switch en la posición ON para activar las resistencias de terminación.

La unidad de E/S digitales utilizado en la red profibus es un SIEMENS ET200B 16DI/16DO, con un precio de alrededor de 500 €, muy inferior al de la tarjeta DSQC 328. La ventaja de esta unidad es que es totalmente compatible con los demás elementos que conforman la red Profibus DP, con lo que es configurable desde el controlador.

Pasamos a interconectar el módulo esclavo con la electroválvula, puesto que la electroválvula tiene un consumo de 0,45 W a 24 VDC no necesitamos ningún relé auxiliar. Podemos alimentarla directamente desde la unidad de E/S digitales, para su conexión necesitamos 2 salidas digitales, apertura y cierre, y una masa procedente del controlador, ya que ningún elemento está aislado galvánicamente.

En la siguiente imagen podemos ver un esquema eléctrico de las diferentes conexiones.

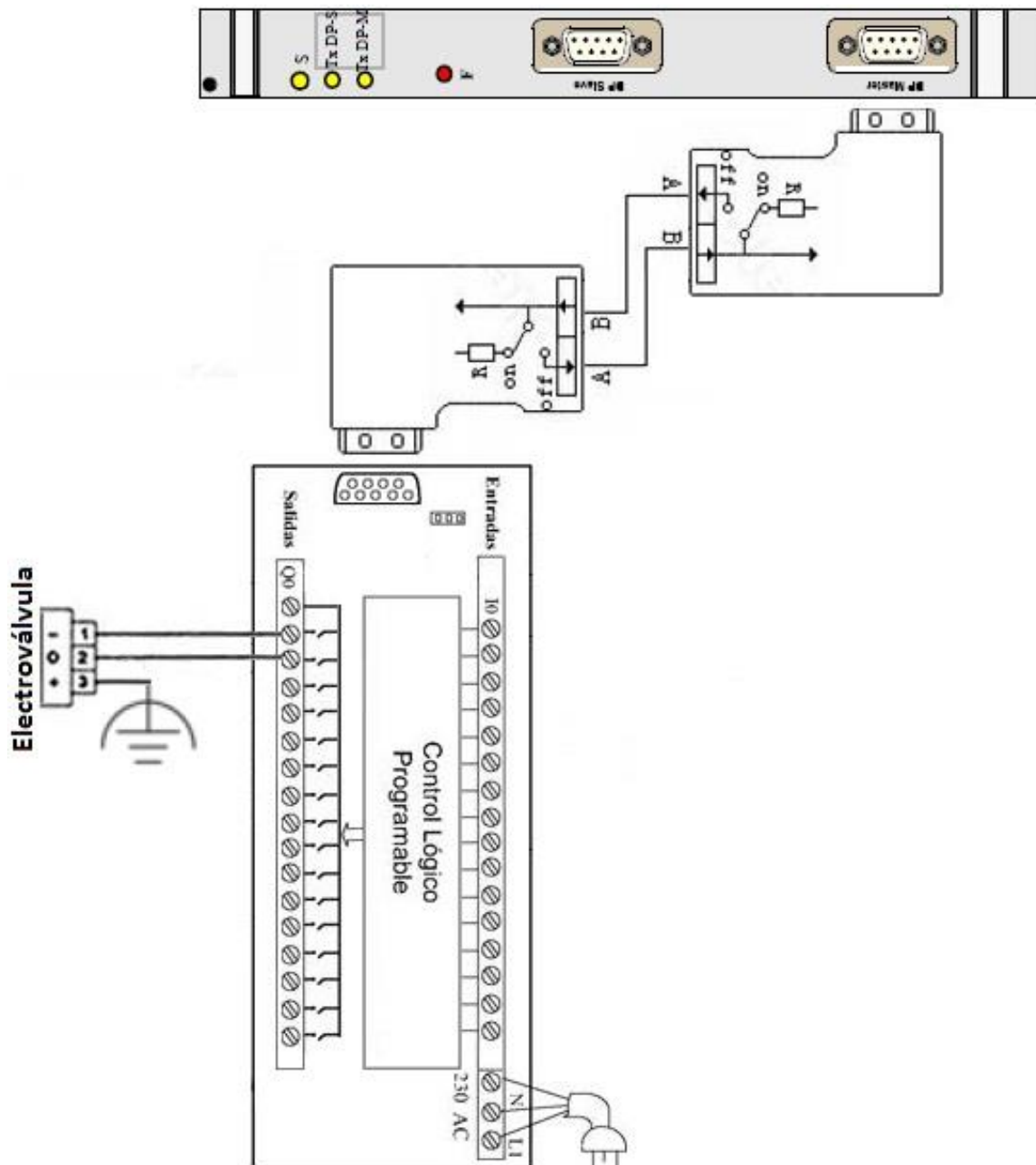


Imagen 50: Esquema eléctrico de la red Profibus DP.

Una vez tenemos el hardware instalado, vamos a proceder a configurar el módulo de E/S digitales. El bus podrá ser configurado a partir de la unidad de programación o bien a partir de un archivo de configuración.

En primer lugar, vamos a crear el archivo de configuración de nuestra red Profibus DP.

La primera parte del código de configuración está dividida en dos secciones, “EIO_BUS” y “EIO_PARAM_VALUE”. La sección EIO_BUS contiene las definiciones generales para un bus de campo de acuerdo con el sistema S4C, y la sección EIO_PARAM_VALUE contiene la configuración específica Profibus DP, el conjunto de parámetros de bus, de acuerdo con las Especificaciones estándar de Profibus DP.

EIO_BUS	
Name	Nombre del bus. Se utilizará posteriormente cuando se definan las unidades.
Trp	Siempre debe ser “pbusdp1:” para Profibus-DP.
Type	Siempre debe ser “Profibus_DP” para Profibus-DP.
Address	Dirección del maestro de S4C en la red Profibus-DP.
BaudRate	Velocidad de transmisión de los datos en el bus DPmaestro.
Param	PBUS_12000_DEF configuración por defecto de los parámetros EIO_PARAM_VALUE.

Tabla 17: Parámetros de la sección EIO_BUS.

En segundo lugar, hay que crear el tipo de unidad. La configuración del tipo de unidad en un archivo de configuración está dividida en dos secciones: “EIO_UNIT_TYPE” y “EIO_PARAM”. La sección EIO_UNIT_TYPE contiene las definiciones generales para un tipo de unidad de acuerdo con el sistema S4C y la sección EIO_PARAM contiene la configuración específica Profibus, el conjunto de parámetros esclavo, según indicaciones de la norma estándar Profibus DP.

EIO_UNIT_TYPE	
Name	Nombre del tipo de unidad, será utilizado posteriormente para seleccionar ese tipo de unidad para una unidad.
VendorId	No utilizado.
VendorName	Nombre del proveedor, procedente del archivo GSX.
DeviceType	Debe estar determinado en 1.
ProductId	Numero de identidad, procedente del archivo GSX.
ProductIdName	Nombre del modelo, procedente del archivo GSX.
MajorRev	De Software_Release en el archivo GSD.
MinorRev	De Software_Release en el archivo GSD.
MaxDigin	Número máximo de señales de entrada digitales.
MaxDigout	Número máximo de señales de salida digitales.

MaxAnout	Número máximo de señales de salida analógicas.
MaxAnin	Número máximo de señales de entrada analógicas.
Param	Indica una sección para proporcionar EIO_PARAMS.
MMCAAttr	Deberá ser determinado en PBUS_NON_MOD_ATTR en el caso de unidades Profibus-DP normales.

Tabla 18: Parámetros de la sección EIO_UNIT_TIPE.

EIO_PARAM	
T_WatchDog	Tiempo de supervisión, indica la frecuencia con que el esclavo busca el maestro activado.
Usr_Prm_Data1	Aplicación y/o datos específicos del proveedor.
ModularStation	Define si una unidad es modular (1) o no (0).
MaxModule	Número de los posibles módulos.
Module1	Posiciones de los módulos.
Supp_BaudRates	Valor que especifica las velocidades de baudios que un módulo puede soportar.
MaxTsdr_187.5	Máximo retraso de una respuesta a una pregunta a la velocidad de 187,5 kbaud - 12Mbaud.
MaxTsdr_500	
MaxTsdr_1.5M	
MaxTsdr_3M	
MaxTsdr_6M	
MaxTsdr_12M	
MinSlaveInt	Periodo de tiempo más corto permitido entre 2 ciclos de exploración esclava.

Tabla 19: Parámetros de la sección EIO_PARAM.

La configuración de la unidad de E/S en un archivo de configuración se divide en dos secciones, "EIO_UNIT" y "EIO_PARAM_VALUE". La sección EIO_UNIT contiene las definiciones generales de una unidad de acuerdo con el sistema S4C y la sección EIO_PARAM_VALUE contiene la configuración específica Profibus. Esto incluye el tiempo de supervisión, los datos de parámetros y las definiciones de módulo en el caso en que la unidad sea del tipo de estación modular.

EIO_UNIT	
Name	Nombre de la unidad. Se utilizará posteriormente.
Type	Nombre del tipo de unidad.
Bus	Nombre del bus, PBUS.
Address	Dirección de la unidad esclavo.
Digin	Número de señales de entrada digitales lógicas.
Digout	Número de señales de salida digitales lógicas.
Param	Indica una sección para proporcionar los EIO_PARAM_VALUES.

Tabla 20: Parámetros de la sección EIO_UNIT.

La última parte del archivo de configuración, "EIO_USER_SIGNAL", trata de la declaración de variables para poder utilizarlas en el programa de ejecución del robot.

El controlador S4C no es capaz de determinar automáticamente si los datos desde una unidad Profibus-DP I/O tiene una representación digital o analógica. Por tanto, se tiene que proporcionar una descripción de las señales físicas para cada unidad y/o tipo de unidad que contenga señales analógicas o una combinación de señales digitales y analógicas.

EIO_USER_SIGNAL	
Name	Nombre de la variable.
Unit	Nombre de una unidad.
Type	Tipo de señal a considerar: AI (entrada analógica), AO (salida analógica), DI(entrada digital), DO(salida digital).
Phsig	Número de señales definido por la línea corriente.

Tabla 21: Parámetros de la sección EIO_USER_SIGNAL.

Teniendo en consideración todos los parámetros vistos anteriormente, el archivo de configuración puede ser creado mediante la aplicación "block de notas", guardándolo en un pen con la extensión ".CFG". Quedaría de la siguiente forma.

Bus definition

EIO_BUS:

```
-Name PBUS \
-Trp "pbusdp1:" \
-Type Profibus_DP \
-Address 2 \
-BaudRate 9 \
-Param PBUS_12000_DEF
```

Unit type definition

EIO_UNIT_TYPE:

```
-Name ET_B_16/16D \
-VendorId 0 \
-VendorName "Siemens" \
-DeviceType 1 \
-ProductId 0x000A \
-ProductName "ET200B 16DI16DO" \
-MajorRev 0 \
-MinorRev 0 \
-MaxDigin 16 \
-MaxDigout 16 \
-MaxAnout 0 \
```

```

- MaxAnin 0 \
- Param ET_B_16/16D_P \
- MMCAAttr PDP_NON_MOD_ATTR
ET_B_16/16D_P = EIO_PARAM:
- Name T_WatchDog          - Path "T_WatchDog"          - DefValue "200"
- Name Usr_Prm_Data1        - Path "Usr_Prm_Data"        - DefValue "0,0,0,0,0"
- Name ModularStation       - Path "ModularStation"      - DefValue "0"
- Name MaxModule            - Path "MaxModule"           - DefValue "1"
- Name Module1              - Path "Module1"             - DefValue "21,11"
- Name Supp_BaudRates       - Path "Supp_Baudrates"      - DefValue "0x3DF"
- Name MaxTsdr_187.5        - Path "MaxTsdr_187.5"       - DefValue 60
- Name MaxTsdr_500          - Path "MaxTsdr_500"         - DefValue 100
- Name MaxTsdr_1.5M         - Path "MaxTsdr_1.5M"        - DefValue 150
- Name MaxTsdr_3M           - Path "MaxTsdr_3M"          - DefValue 250
- Name MaxTsdr_6M           - Path "MaxTsdr_6M"          - DefValue 450
- Name MaxTsdr_12M          - Path "MaxTsdr_12M"         - DefValue 800
- Name MinSlaveInt          - Path "MinSlaveInt"         - DefValue 1

```

Defining a unit

```

EIO_UNIT:
- Name BOARD1 \
- Type ET_B_16/16D \
- Bus PBUS \
- Address 10 \
- Digin 16 \
- Digout 16 \
- Param BOARD1_VALS
BOARD1_VALS = EIO_PARAM_VALUE:
- Name T_Watchdog          - Value 100

```

Defining a signal

```

EIO_USER_SIGNAL = EIO_SIGNAL:
- Name abrir               - Unit BOARD1      - Type DO      - Phsig 1
- Name cerrar              - Unit BOARD1      - Type DO      - Phsig 2

```

Insertamos el pen en el controlador y, como se muestra en la Imagen 51, nos dirigimos a “Parámetros del sistema – Señales de E/S – Buses de E/S”.

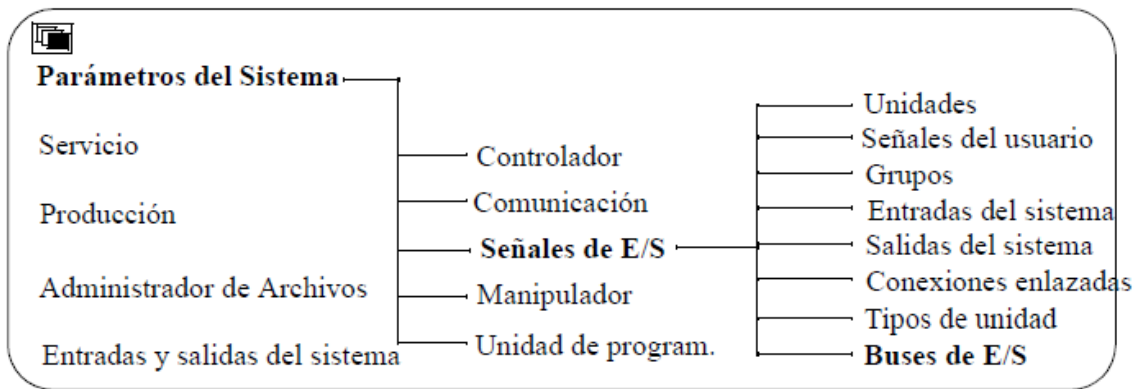


Imagen 51: Menú de configuración de los buses de E/S.

Nos aparecerán todos los buses definidos en nuestro controlador.

Archivo	Editar	Temas	Tipos
Parámetros del Sistema		Señales de E/S	
Buses de E/S			
Nombre		3 (3)	
BASE			
SIM			
PBUS			
Añadir			

Imagen 52: Buses definidos en el controlador.

Pulsamos “Añadir” y automáticamente se cargará nuestra configuración en el controlador.

Cuando todas las definiciones de configuración están determinadas, se deberá realizar una nueva puesta en marcha del sistema. El sistema S4C automáticamente iniciará la comunicación con los DP-esclavos, y el controlador registrará si ocurre algún error, iluminándose el led rojo de la tarjeta DSQC 368.

9. Conclusiones

Al llevar a cabo la realización del presente trabajo se pueden obtener una serie de conclusiones referentes al mismo.

En primer lugar, los objetivos marcados inicialmente se han podido completar en su totalidad de una forma correcta. A continuación, planteo los principales problemas que me han ido surgiendo en la realización de este TFG.

Tras la realización del TFG, he llegado a la conclusión de que, probablemente, una de las mayores complejidades del mismo es la combinación de los diferentes componentes para una futura puesta en marcha de la pinza. Esto me resulta especialmente curioso, ya que este problema ni siquiera había sido identificado como tal en el comienzo de la realización del mismo.

Este proyecto me ha ayudado para, en un futuro, saber cómo afrontar con posible problema, de estas características, en la empresa. En este tipo de problemas tienes que dejarte ayudar por los comerciales y técnicos con los que te pones en contacto, muchos comerciales con los que he tratado no tienen ningún estudio referente al campo que estamos tratando, pero, se han hecho expertos en estos productos al llevar muchos años trabajando con ellos.

Otro gran problema que he tenido, para la obtención de los presupuestos, ha sido lidiar con los diferentes comerciales, algunos de ellos, para poder realizar una oferta piden demasiada información, a mi criterio muy exhaustiva.

Durante la realización del proyecto también he sido consciente de que, para realizar un proyecto de estas características, es imprescindible contar con conocimientos de informática.

Por último, como pensaba en un principio, la financiación iba a ser otro problema, sabía que esto iba a producir retrasos en la instalación de las barreras, pero dejando un margen de dos meses, entre la entrega de los presupuestos y la finalización de este proyecto, consideraba que sería tiempo suficiente para completar su instalación.

10. Trabajos futuros

Como trabajos futuros, se propone la implantación física de la seguridad externa mediante las barreras de seguridad, ya que por problemas de burocracia y aun dejando un amplio margen de tiempo entre la entrega de los presupuestos y la finalización de este TFG, no se ha podido realizar la instalación por falta de tiempo y dinero.

Al inicio de este proyecto, se planteó como un objetivo secundario la puesta en marcha de la pinza, en una línea futura se puede completar la instalación, ya que en este documento se explican todos pasos para la ejecución de ésta.

Puesto que la financiación siempre es un problema, poco a poco y con la ayuda de la dirección del centro, el laboratorio de tecnologías industriales debería tener los dos robots que se encuentran en él en funcionamiento, con la seguridad exterior instalada y la pinza en perfecto funcionamiento.

Por último, este TFG se ha realizado con la intención de solventar un problema de seguridad por el cual no se podían realizar prácticas con los robots. Cuando se hayan instalado las barreras de seguridad, se podrá dar comienzo las prácticas con éstos.

Bibliografía

A continuación, se enuncian las principales fuentes empleadas para el desarrollo del proyecto:

- TFG de Sergio Lorente Doñate
Proporcionado por los directores.
- Definición de robot
http://platea.pntic.mec.es/vgonzalez/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm
- Manual de usuario ABB IRB 6400
https://library.e.abb.com/public/6f7652bc9fb72662c12576cb00528d9e/3HAC10337-1_rev6_sp_Library.pdf
- Barreras de seguridad
https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj06YLSzp7UAhUIK1AKHc_BA9kQFggmMAA&url=https%3A%2F%2Fdownloads.omron.eu%2Ffiab%2Fproducts%2FSafety%2FSafety%2520Sensors%2FSafety%2520Light%2520Curtain%2FF3SG-RA%2FF3SG-R%2520Brochure%2FES_f3sg_r_br.pdf&usq=AFQjCNHJZ0Anh4o6iuiP5aDhVIEltH48mQ
- Relé de seguridad G9SE-401
http://www.mlago.es/uploads/document/file/9/J198-ES2-01_G9SE_Datasheet.pdf
- DSQC 328 y DSQC 368
Proporcionado por el fabricante
- Manual SIEMENS ET200B 16DI/16DO
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/452/1144452/att_34044/v1/ET200B_s.pdf
- Pinza
<http://www.smc-pneumatics.com/pdfs/MHL2.pdf>
- Electroválvula
https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/local/DK/download_kataloger/pdf/SY3_5_7_9000_ventil_magnet_5_porte.pdf

**Todas las fuentes electrónicas citadas se han comprobado y están activas a 14/06/2017*

ANEXO I:

Presupuestos de las barreras de infrarrojos.

OFERTA VENTA Nº 7010978 ZAR

Fecha Oferta: 22/03/2017

S/Referencia:

Att. Inmaculada Plaza/Eduardo gil

Página: 1

99999 EU Politécnica de Teruel

CL Atarazana 2

44003 Teruel

Teruel

Telf:

Fax:

CIF: Q5018001G

Muy Sr.(s) nuestro(s).

En atención a su amable solicitud, nos complace enviarle(s) nuestra mejor oferta, para el suministro de los siguientes materiales, quedando a su entera disposición para cualquier consulta que necesiten al respecto.

Esperando que la presente oferta merezca su aprobación, aprovechamos la ocasión para saludarles atentamente.

Descripción	Cantidad	Precio	Uds/PVP	Dtos.	Plazo Entrega	Importe
F3SGRA163030 Barrera Seg. Cat. IV Avanzada 1630mm n	1,00	1.207,200	1	0,00	1 semana	1.207,20
F39JG15AL Cable emisor 15m barrera F3SGRA	1,00	33,800	1	0,00	1 semana	33,80
F39JG15AD Cable receptor 15m barrera F3SGRA	1,00	46,150	1	0,00	1 semana	46,15
F39-GIF Cable de programación barreras	1,00	97,500	1	0,00	1 semana	97,50
G9SE401DC24 Módulo Seguridad 4PST-NA 5A 1Aux 24Vc	1,00	79,300	1	0,00	1 semana	79,30

OBSERVACIONES:

TOTAL OFERTA
1.463,95 EUR

% IVA
21,00

Importe IVA
307,43

Total Oferta Venta (con I.V.A.) 1.771,38 EUR

EN CASO DE PEDIDO ROGAMOS
CITEN EL NUMERO DE OFERTA

Un Cordial Saludo Roberto Beatove

Oferta 17/OF-05186

SICK-Optic,S.A. | LA-CATARA

Fecha 17/03/17

Jose Carlos Nieto

Su referencia :

Pos.	Nº	Descripción	Cant.	EUR P.Venta	% Dto	EUR Importe
1	1200588	M40S-68A105AA0 www.sick.es/1200588	1	1.391,00	32	945,88
2	1200589	M40E-68A105RA0 www.sick.es/1200589 M4000 Area Resolución: 80 mm Alcance: De 0,5 m ... 70 m, configurable Alimentación: 24 VDC, de 19,2 Vdc a 28,8 Vdc 4 (EN ISO 13849) PL e (EN ISO 13849) SIL3 (IEC 61508), SILCL3 (IEC 62061) Conector macho Hirschmann M26 × 11 + TF	1	1.540,00	32	1.047,20
ELEMENTOS COMUNES						
3	2022547	CONECTOR M26,11P.+T. RECTO + CABLE 10 Mts. (Hirschmann) www.sick.es/2022547	2	134,00	35	174,20
4	7021352	BEF-3WNGBAST4 ESCUADRAS RIGIDAS www.sick.es/7021352	1	35,00	35	22,75
5	6024915	UE48-20S2D2 INTERFACE SEGURIDAD SALIDA RELE www.sick.es/6024915	1	179,00	35	116,35
Total						2.306,38

El precio de las barreras de infrarrojos de algunas casas comerciales con las que he contactado, me lo han facilitado directamente por correo, sin enviarme ningún presupuesto.

- Balluf (<info.es@balluff.es> 935 44 13 13 935 44 13 12)

REF: BLG 4A-150-19X-030-O01-SX =====> Sumiaraiz Teruel

- Omron (Pedro I. Cortes <pedro.i.cortes@eu.omron.com> 619 28 15 84)

REF: F3SG-4RA1550-30 =====> Sumiaraiz Teruel

- ABB (Oriol Valls <oriol.valls@es.abb.com> 666 57 19 54)

REF: Orion1-4-30-150-B =====> 1.857,41€

- Telemecanique (<ja.ombria@megasiem.com> 976 52 92 00)

REF: XUSL4E30H151N =====> 2.590,01€

ANEXO II:

Presupuesto del escáner de infrarrojos.

Oferta 17/OF-00231

Cliente virtual

Fecha 09/01/17

Su referencia :

Pos.	Nº	Descripción	Cant.	EUR P.Venta	% Dto	EUR Importe
ESCANER DE SEGURIDAD, ZONA 4M RADIO						
1	1028934	S30A-4011BA www.sick.es/1028934	1	2.925,84	NETO	2.925,84
2	2027170	CONECTOR S3000 STANDARD/REMOTE CON CABLE 1xM20 SALIDA ARRIBA www.sick.es/2027170	1	171,55	NETO	171,55
3	6034575	DSL-8U04G10M025KM1 CABLE DE PROGRAMACIÓN RS232 www.sick.es/6034575	1	61,32	NETO	61,32
4	2015623	Conjunto Fijación Nº 1 No ajustable www.sick.es/2015623	1	55,48	NETO	55,48
5	2015624	Conjunto Fijación Nº 2 (Montaje sobre Fijación 1) Ajustable www.sick.es/2015624	1	94,17	NETO	94,17
6	6024917	UE10-3OS2D0 INTERFACE SEGURIDAD SALIDA RELE www.sick.es/6024917	1	92,30	NETO	92,30
Total						3.400,66