



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

DISEÑO E INSTALACIÓN DE MEDIDAS DE  
SEGURIDAD EN UN ROBOT ABB IRB 6400

Autor/es

Sergio Lorente Doñate

Director/es

Eduardo Gil Herrando  
Rosario Aragues Muñoz

Escuela universitaria política de Teruel  
2015

# DISEÑO E INSTALACION DE MEDIDAS DE SEGURIDAD EN UN ROBOT ABB IRB 6400

## Resumen

El objetivo principal de este trabajo fin de grado es la incorporación de medidas de seguridad en un robot ABB IRB 6400 situado en el laboratorio de Tecnologías Industriales del edificio de la Universidad Politécnica de Teruel, con el fin de garantizar la seguridad, tanto de las personas que vayan a operar con el robot como de las paredes o el techo de la habitación donde se encuentra situado, se han diseñado e instalado una serie de medidas de seguridad que detendrán el robot para evitar ocasionar daño alguno.

Para ello se han instalado sensores que permiten limitar los movimientos del robot de forma que si se sale de la zona de trabajo se ejecuta un paro de emergencia. Además se han incorporado otras medidas de seguridad que garantizan la seguridad de los operarios y que aseguran que no hay personas en la zona de trabajo de la máquina.

Durante la primera fase del trabajo se realizó una lectura general del manual proporcionado por el fabricante, centrando la mayor atención en los apartados relacionados con la seguridad del robot, una identificación física del cableado realizado en el controlador por la empresa suministradora de las maquinas, General Motors, y más adelante la identificación de los anuladores de seguridad incorporados en el robot y las entradas y salidas asociadas a las conexiones.

Otra fase fue la investigación y recopilación de información sobre los sistemas limitadores instalados actualmente (q1) para su posterior adaptación al nuevo entorno, cableado y pruebas. Se analizaron y evaluaron diferentes alternativas para los sistemas limitadores del área de trabajo para los ejes q2 y q3, así como para la sustitución de algunos conectores del robot. De entre esas alternativas, se eligieron los sistemas a instalar teniendo en cuenta las posibilidades de financiación actuales.

En la siguiente fase se realizaron pruebas sobre el robot hasta lograr la instalación definitiva de todas las medidas de seguridad y el correspondiente diseño de los esquemas eléctricos de éstas. Finalmente se hizo una prueba para verificar el funcionamiento de los sistemas instalados.

La instalación final consta de un sistema limitador de la zona de trabajo para el eje 1, limitación por software para los ejes 2 y 3 y de un mecanismo de seguridad que detecta la apertura de la puerta por la que se accede a la zona de trabajo del robot.

Por último se estudiaron una serie de mejoras o avances en cuanto a aumentar la seguridad de los robots y que podrán servir como ideas para futuros proyectos.

## INDICE GENERAL

|   |        |
|---|--------|
| 1. Introducción .....                                 | pag 1  |
| a. ¿Qué es un robot industrial? .....                 | pag 1  |
| b. Importancia de la seguridad .....                  | pag 2  |
| 2. Objetivos .....                                    | pag 4  |
| a. Objetivo principal .....                           | pag 4  |
| b. Objetivos específicos .....                        | pag 4  |
| 3. Descripción del sistema .....                      | pag 5  |
| a. Descripción del robot .....                        | pag 5  |
| i. El manipulador .....                               | pag 5  |
| ii. El controlador .....                              | pag 6  |
| b. Especificaciones técnicas .....                    | pag 7  |
| c. Situación concreta de partida .....                | pag 9  |
| i. Ubicación .....                                    | pag 9  |
| ii. Manipulador .....                                 | pag 10 |
| iii. Anillo Balluff .....                             | pag 11 |
| iv. Controlador .....                                 | pag 13 |
| v. Conectores personalizados .....                    | pag 15 |
| vi. Anuladores de seguridad .....                     | pag 16 |
| 4. Metodología .....                                  | pag 17 |
| a. Lectura del manual .....                           | pag 17 |
| b. Identificación de las conexiones .....             | pag 18 |
| c. Conexión de las cadenas de seguridad .....         | pag 23 |
| d. Anillo Balluff .....                               | pag 26 |
| e. Test utilizados .....                              | pag 28 |
| f. Placa para añadir/quitar puentes .....             | pag 29 |
| g. Modos de funcionamiento .....                      | pag 32 |
| h. Uso de la unidad de programación .....             | pag 32 |
| i. Diseño de circuitos .....                          | pag 39 |
| j. Verificación y validación del sistema global ..... | pag 41 |

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 5. Conclusiones .....   | pag 42 |
| 6. Líneas futuras ..... | pag 44 |
| Bibliografia .....      | pag 49 |

## 1. Introducción

### a. ¿Qué es un robot industrial?

Aunque existe una idea común acerca de lo que es un robot industrial, no es fácil ponerse de acuerdo a la hora de establecer una definición formal. Además, la evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición.

La definición más comúnmente aceptada posiblemente sea la de la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), según la cual:

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) que define al robot industrial como:

Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad. Una definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

Manipulador: mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.

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

Por último, la Federación Internacional de Robótica (IFR) distingue entre robot industrial de manipulación y otros robots:

Por robot industrial de manipulación se entiende una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento.

En esta definición se debe entender que la reprogramabilidad y la multifunción se consiguen sin modificaciones físicas del robot.

Común en todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots, siendo esto último lo más frecuente.

#### b. Importancia de la seguridad

Existen dos aspectos en cuestión de seguridad en la robótica:

El primero trata de la justificación de los robots. Una de las razones fundamentales de utilizar los robots en aplicaciones industriales es quitar a los operarios humanos de entornos de trabajo potencialmente peligrosos. Los riesgos en el lugar de trabajo incluyen calor, ruido, humos y otras molestias, peligros físicos (heridas potenciales o incluso perdida de miembros), radiación, atmosferas tóxicas y otros riesgos para la salud. El eliminar o reducir estos riesgos del lugar de trabajo ha proporcionado una de las justificaciones más importantes para los robots en tareas industriales, tales como soldaduras, forjado, pintura al spray, fundición... La seguridad de los trabajadores se ha transformado en un factor significativo al promover la sustitución de mano de obra humana por robots en esta clase de tareas peligrosas.

El segundo aspecto del tema de seguridad se relaciona con los riesgos potenciales para los humanos y los elementos físicos del entorno de trabajo planteados por el propio robot. La utilización de robots presenta un nuevo conjunto de posibles peligros para el trabajador y para los cuales se deben tomar precauciones.

En lo referente a los peligros potenciales que se encuentran en la utilización de un robot, tienen lugar cuando durante la utilización del robot los humanos están en contacto o en estrecha proximidad con él. Existen tres ocasiones principalmente en las que los humanos están bastante 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 la célula.

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

Se deben tomar medidas de seguridad para prevenir riesgos que surgen durante la operación del robot. Estas medidas de seguridad se deben diseñar en la célula de trabajo, o como parte del diseño del lugar de trabajo o del sistema de control de la célula.

En nuestro caso, el objetivo no es el funcionamiento continuado del manipulador, sino el uso didáctico del mismo. Esto implica que una de las interacciones más frecuentes será la programación de robots llevada a cabo por estudiantes. Por tanto, se deben tener en cuenta condiciones de seguridad adicionales para asegurar que una programación errónea no provoca riesgos para las personas o la célula de trabajo.

## 2. Objetivos

### a. Objetivo principal

El objetivo principal es incorporar medidas de seguridad en un robot ABB IRB 6400 situado en el laboratorio de Tecnologías Industriales del edificio de la Universidad Politécnica de Teruel.

Para ello se instalarán sensores que permitirán limitar los movimientos del robot de forma que si se sale de la zona de trabajo se ejecutará un paro de emergencia.

Además se incorporarán otras medidas de seguridad que garanticen la seguridad de los operarios y elementos físicos y que aseguren que no hay personas en la zona de trabajo de la máquina.

### b. Objetivos específicos

1. Identificar el cableado e instalación realizado por General Motors.
2. Identificación de las conexiones que controlan los paros de seguridad.
3. Diseño de los circuitos eléctricos que incorporan las medidas de seguridad.
4. Instalación y cableado de sensores y conexiones de los circuitos diseñados.
5. Verificar el correcto funcionamiento de todas y cada una de las medidas de seguridad incorporadas.

### 3. Descripción del sistema

#### a. Descripción del robot

El robot consta de dos partes principales: un manipulador y un controlador.

##### i. El manipulador:

El IRB 6400 es un robot industrial de 6 ejes, que ha sido 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 poder comunicar con una amplia gama de equipos externos.

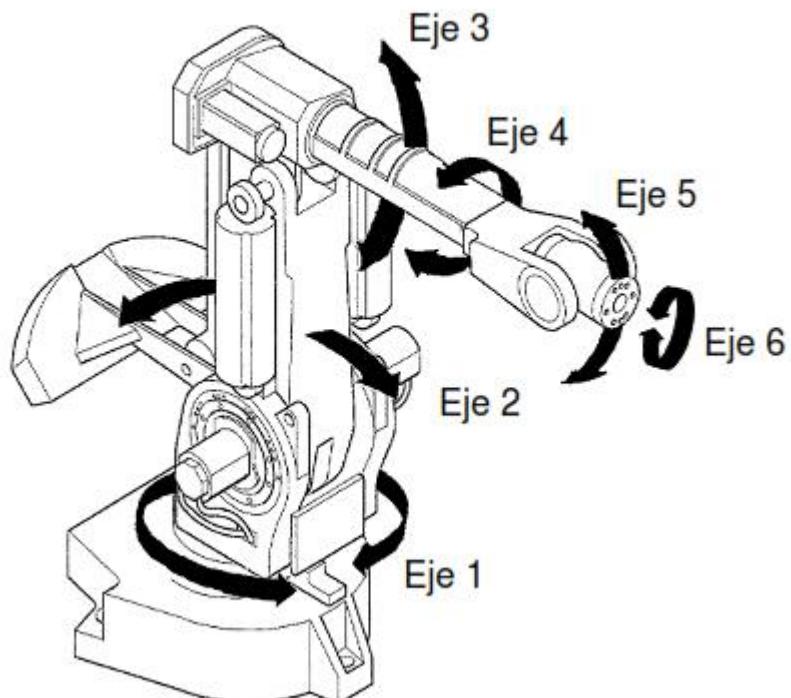


Figura 1 El manipulador del IRB 6400 dispone de 6 ejes

El IRB 6400 existe en varias versiones diferentes. En este caso será el modelo IRB 6400/2.4-150. Es un manipulador destinado a ser montado en el suelo. Dispone de una capacidad máxima de manipulación de 150 kg y de un alcance máximo de 2.4 m desde el centro de la muñeca.

El peso aproximado del manipulador es de 2050 kg.

ii. El controlador:

El controlador contiene los componentes electrónicos requeridos para el control del manipulador, de los ejes externos y del equipo periférico. Ha sido específicamente diseñado para el control del robot, y por consiguiente, ofrece un rendimiento y una funcionalidad óptimos.

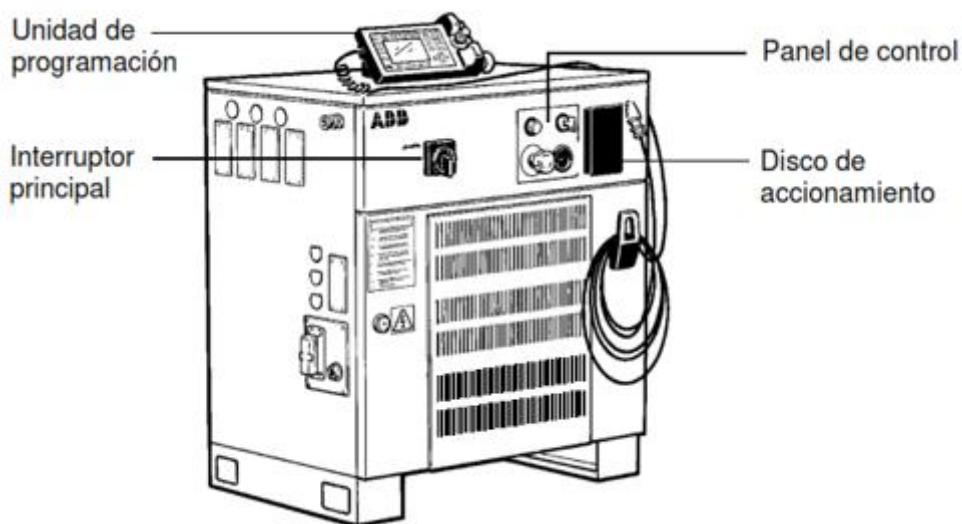


Figura 2 El controlador ha sido diseñado específicamente para controlar robots; ello permite la obtención de un rendimiento y una funcionalidad óptimas.

El robot está equipado con un sistema operativo llamado BaseWare OS. Este sistema operativo controla todos los aspectos del robot como el control del movimiento, el desarrollo y la ejecución de programas de aplicación, comunicación, etc.

El controlador tiene un peso de 240 kg y un volumen de 950 x 800 x 540 mm y un nivel de ruido transmitido por el aire: Nivel de la presión del sonido fuera del área de trabajo < 70 dB (A) Leq (según la norma CEE 89/392 referente a maquinaria).

b. Especificaciones técnicas

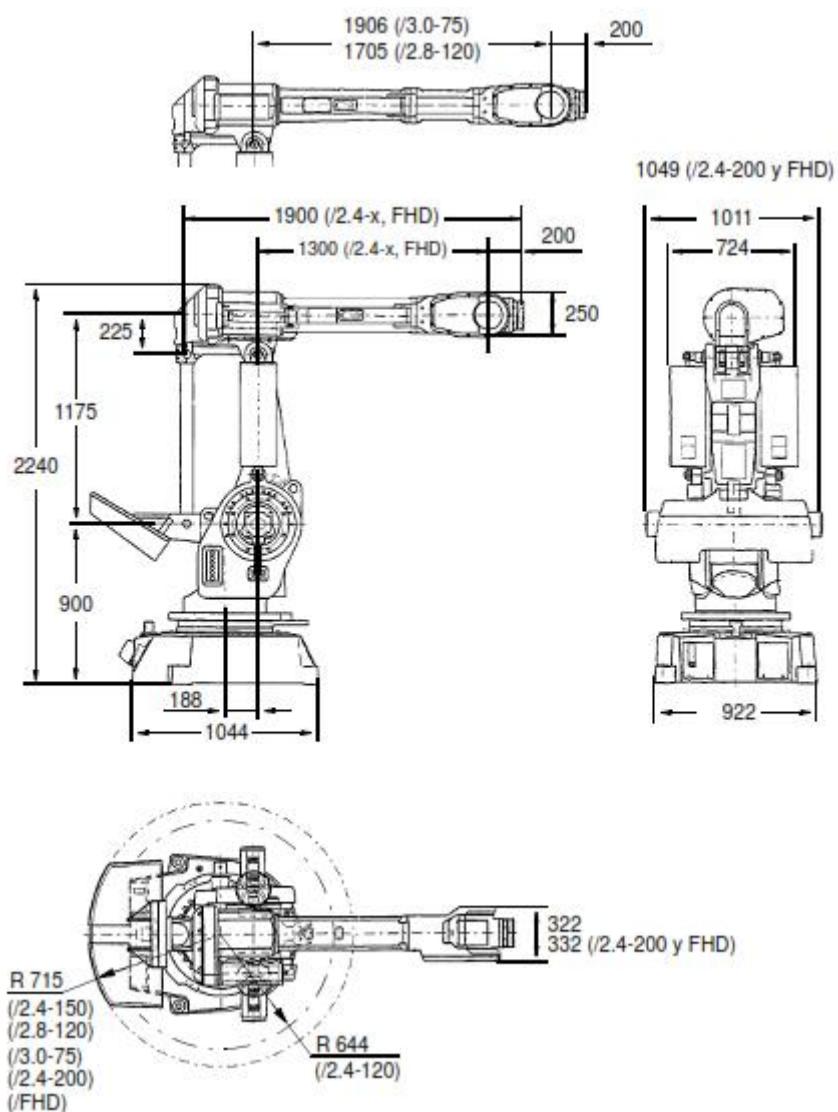
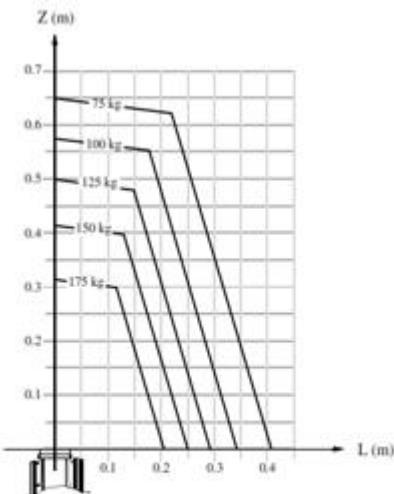


Figura 3 Vista del manipulador, lateral, posterior y desde arriba (medida en mm).

Diagrama de cargas:

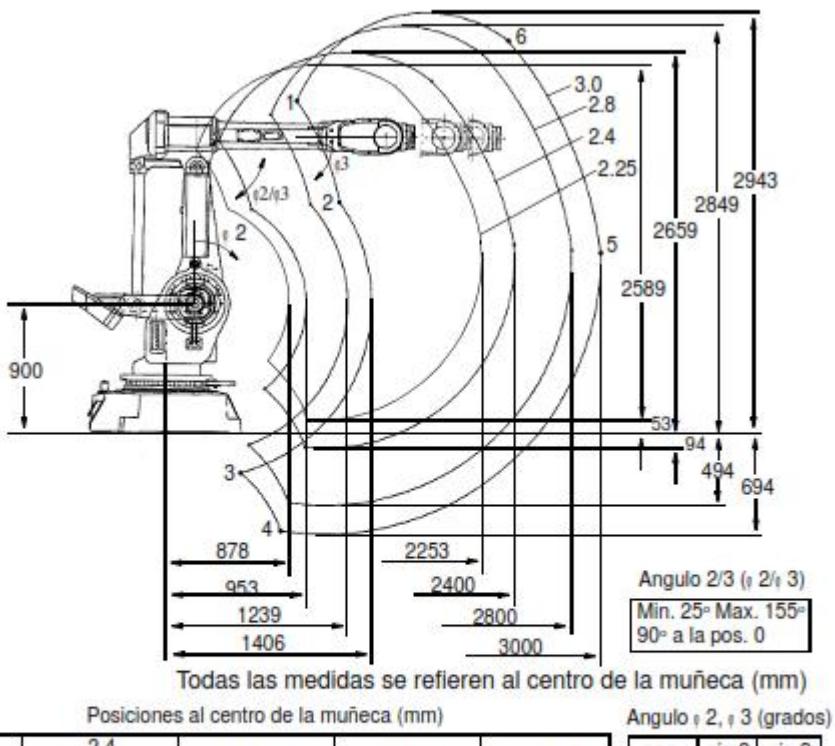


El diagrama de cargas es válido para  $J_0 < 100 \text{ kgm}^2$ .  
 $J_0$  = componente máxima ( $J_{x0}, J_{y0}, J_{z0}$ ) del momento de inercia del peso de manipulación en su centro de gravedad.

Figura 4 Peso máximo permitido para la carga montada en la brida de montaje en diferentes posiciones.

Movimiento del robot:

|       | Tipo de movimiento  | Alcance de movimiento |
|-------|---------------------|-----------------------|
| Eje 1 | Mov. de rotación    | +180° a -180°         |
| Eje 2 | Mov. del brazo      | +70° a -70°           |
| 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°         |



| pos. | Posiciones al centro de la muñeca (mm) |      |         |      | Angulo ¶ 2, ¶ 3 (grados) |      |            |      | pos. | eje 2<br>(¶ 2) | eje 3<br>(¶ 3) |
|------|--|------|---------|------|--------------------------|------|------------|------|------|----------------|----------------|
|      | 2.4<br>-120 -150 -200                  |      | 2.8-120 |      | 3.0-75                   |      | PE/2.25-75 |      |      |                |                |
| 0    | 1488                                   | 2075 | 1892    | 2075 | 2094                     | 2075 | 1338       | 2075 | 0    | 0              | 0              |
| 1    | 388                                    | 2034 | 695     | 2224 | 873                      | 2318 | 205        | 1963 | 1    | -70            | -28            |
| 2    | 571                                    | 1563 | 974     | 1598 | 1175                     | 1615 | 421        | 1549 | 2    | -70            | -5             |
| 3    | 680                                    | 314  | 575     | -77  | 523                      | -271 | 718        | 459  | 3    | 40             | 105            |
| 4    | 962                                    | -89  | 857     | -479 | 805                      | -674 | 1000       | 56   | 4    | 70             | 105            |
| 5    | 2395                                   | 1336 | 2798    | 1300 | 2999                     | 1283 | 2246       | 1349 | 5    | 70             | 5              |
| 6    | 1802                                   | 2467 | 2159    | 2657 | 2337                     | 2752 | 1669       | 2397 | 6    | 37             | -28            |

Figura 5 Posiciones extremas del brazo del robot.

### c. Situación concreta de partida

#### i. Ubicación:

Los robots con los que se va a trabajar están localizados en el Laboratorio de Tecnologías Industriales situado en el sótano del edificio de la Universidad Politécnica de Teruel.

Los dos robots están situados en jaulas independientes y simétricas la una de la otra. La dimensión de las jaulas y situación del robot dentro de ellas es la siguiente:

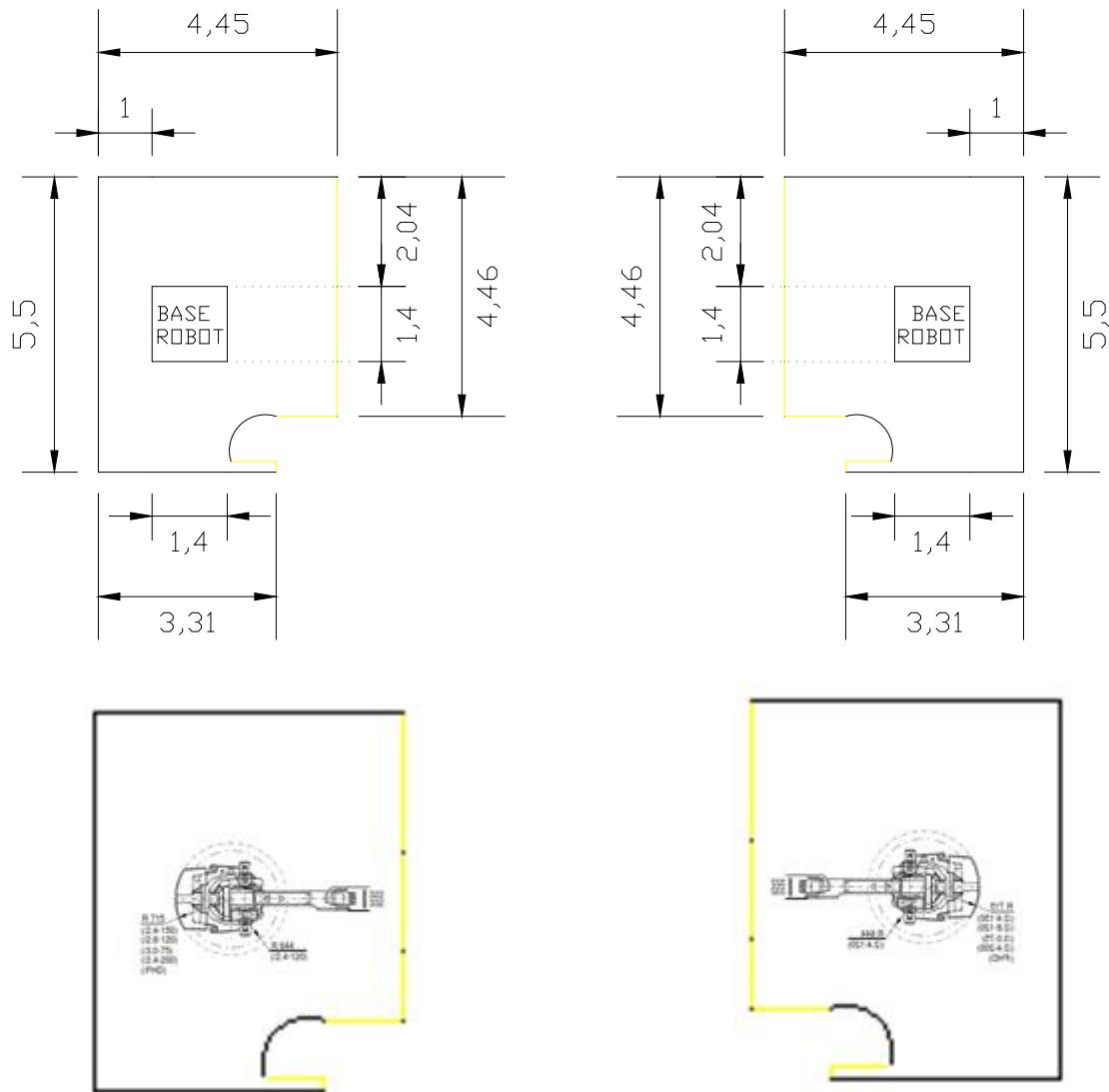


Figura 6 Ubicación de los robots

Las cotas de las figuras están expresadas en metros y la altura de la sala desde el suelo hasta el techo es de 2.78 m.

Como se puede observar en la figura 5 del apartado anterior las dimensiones de la jaula son menores que las posiciones extremas del brazo del robot desde el sitio en el que se encuentra anclado. El robot no dispone de la totalidad del espacio de trabajo requerido, por lo tanto si no limitamos el área de trabajo para el robot en ciertas posiciones este chocará contra las paredes, las vallas de protección o el techo.

## ii. Manipulador:

La situación en la que se encontró el manipulador fue ya montado y anclado aproximadamente en el centro de su correspondiente jaula de

seguridad. La instalación fue llevada a cabo por el personal de General Motors cumpliendo todas las normas de seguridad.

El manipulador disponía de alimentación y se encontraba conectado al controlador para su utilización con el cableado correspondiente.

En el manipulador también se encontró instalado un anillo limitador de la zona de trabajo de la marca Balluff, tal y como se observa en la siguiente imagen, del que se hablará a continuación. Este anillo únicamente estaba colocado en el manipulador sin estar operativo.



Ilustración 1 Manipulador laboratorio.

### iii. Anillo Balluff:

Es un limitador de la zona de trabajo del robot que está formado por un detector (finales de carrera de seguridad 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 Balluff:

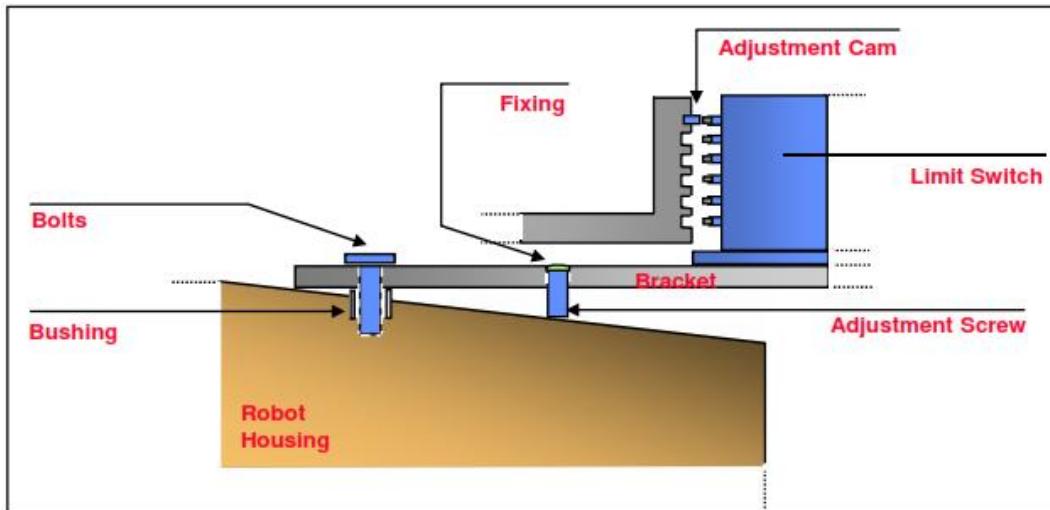
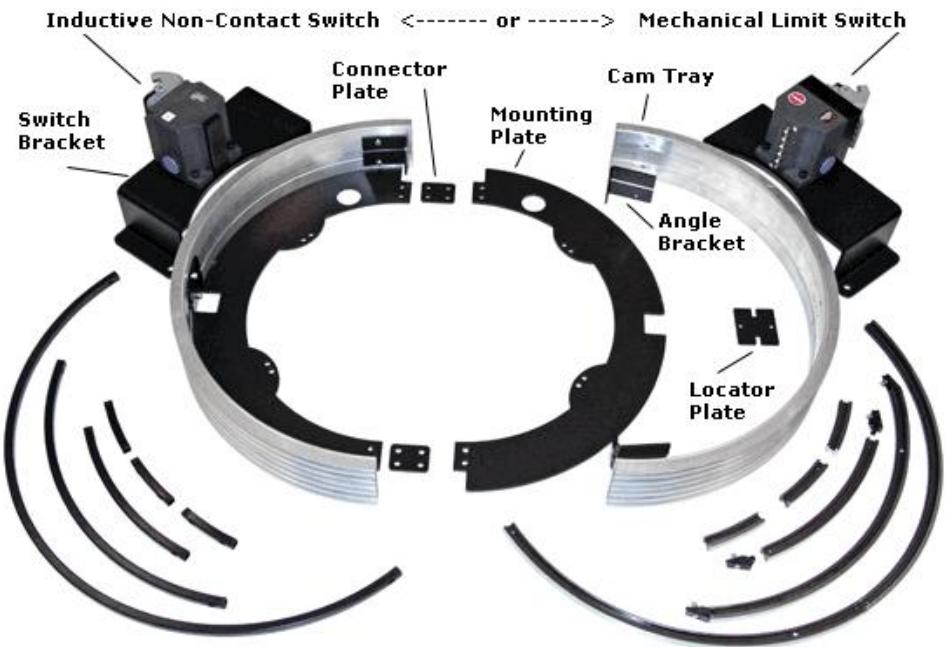


Figura 7 Sistema limitador de zona eje 1.

El funcionamiento del anillo Balluff es el siguiente: 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. En nuestro caso solo disponemos de dos levas para cada robot, lo que es suficiente ya que lo que se va a realizar es la limitación de movimiento del eje 1. 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 entrara en modo motores OFF.

Esta limitación de área de trabajo estará activa en todos los modos de trabajo siempre que el selector este colocado en programación.

Originalmente las levas estaban puestas en una posición determinada en el anillo. Estas se tuvieron que cambiar de posición y volver a fijar para que coincidiesen con los límites del área de trabajo en su nueva ubicación.

iv. Controlador:

El controlador se situaba fuera de la jaula con el cableado correspondiente realizado por el personal suministrador de los robots y conectado al manipulador.

El cableado del controlador supuso uno de los mayores retos en la realización del trabajo. Este cableado había sido realizado por el personal de General Motors y estaba sin documentar. Por tanto, fue necesario investigar cómo estaba realizado comparando el cableado hecho en el controlador con el manual del producto.



Ilustración 2 Controlador laboratorio.

En el controlador se encuentran todos los dispositivos que usamos para controlar el manipulador, la herramienta y/o dispositivos periféricos si fuese necesario. En este trabajo fin de grado el análisis se centró en el apartado de seguridad.

Tal y como se observa en la figura anterior se pueden ver en la parte frontal del controlador:

- El interruptor principal.



Para conectar la tensión del robot se activa el interruptor principal situado en la parte delantera del armario de control.

Este interruptor principal tiene un mecanismo de seguridad mediante el cual no se puede activar mientras está abierta la tapa superior del controlador o la puerta frontal del mismo.

Al cerrar estas puertas se presionan unas pestañas que permiten el accionamiento del interruptor.

Además se han añadido unos candados que impiden el accionamiento del interruptor por personal no autorizado.

- El panel de control.

Las funciones del panel de control están descritas en la figura 2.

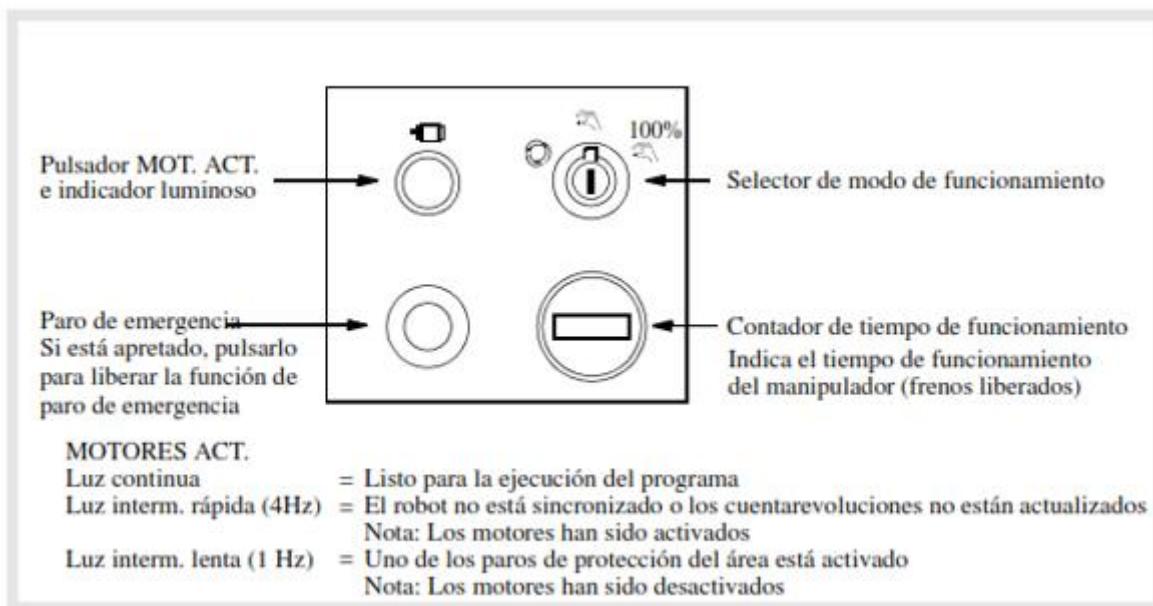


Figura 8 Panel de control situado en la parte delantera del armario de control.

Dispone de tres modos posibles de funcionamiento, automático, manual a velocidad reducida y manual a velocidad total de los que se hablará más adelante.

Al abrir la cubierta superior del controlador entre otras cosas se puede observar el panel de seguridad, que es la parte donde se centra este trabajo. En el panel de seguridad se encuentran cuatro conectores con una serie de pines de los que se hablará más adelante.

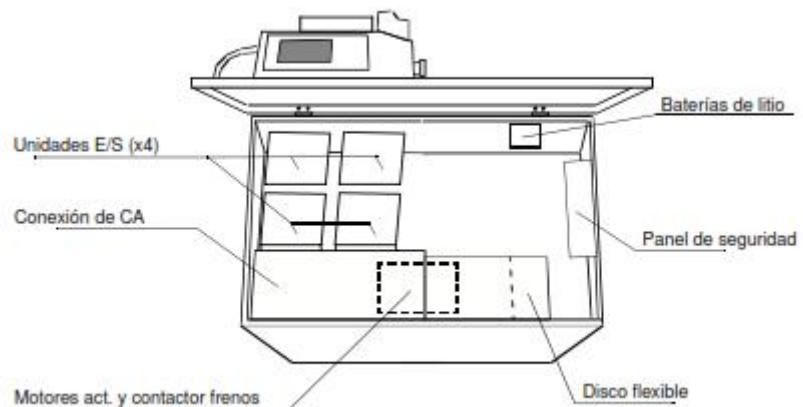


Figura 9 Situación de las unidades debajo de la cubierta superior.

El panel de seguridad reúne y coordina todas las señales que afectan la seguridad operacional y personal.

#### v. Conectores personalizados:

En cada uno de los controladores de los robots proporcionados por la empresa suministradora General Motors hay una serie de conectores que en el manual del robot no aparecen. Estos conectores han sido añadidos a los controladores por la empresa suministradora.

En concreto hay dos conectores, XC Customer connection y XD I/O Power, tal y como se muestran en la siguiente imagen, a los que van conectados todos los cables que salen del panel de seguridad del controlador.



Ilustración 3 Conectores personalizados y anulador de seguridad.

vi. Anuladores de seguridad:

El terminal conectado a XC anula el sistema de seguridad del robot puenteando las conexiones que controlan los paros de emergencia. Se observó que con el terminal conectado a XC el robot funcionaba y sin el terminal el robot se bloqueaba y no se podía trabajar con él.

General Motors proporcionó dos terminales anuladores de la cadena de seguridad para permitir el uso temporal de los robots hasta que se instalasen los sistemas de seguridad necesarios. El cableado de éstos tampoco estaba documentado y se estudió conjuntamente con el análisis de XC y XD.

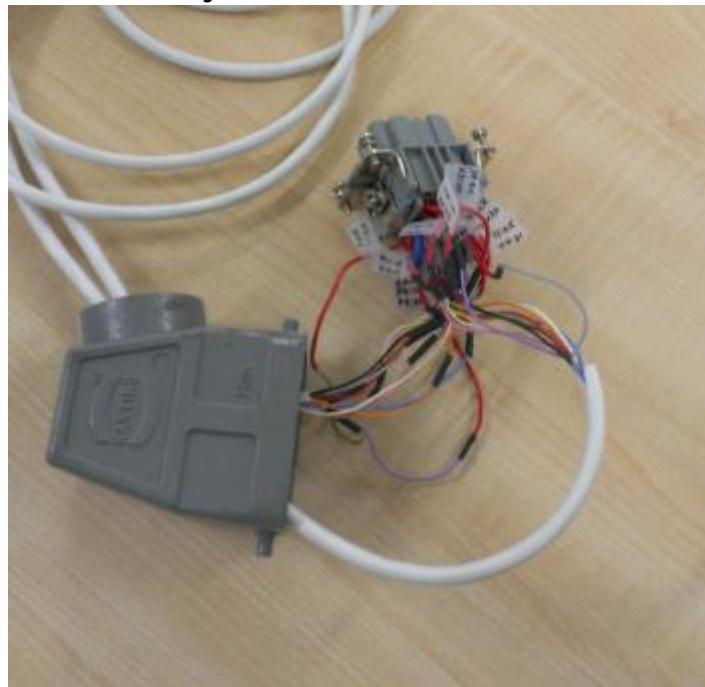


Ilustración 4 Anulador de seguridad abierto.

## 4. Metodología

### a. Lectura del manual

El primer paso a realizar para el desarrollo del trabajo fue la lectura del manual del producto. Sobre todo había que centrarse en la parte de la seguridad del robot para comprender las funciones de seguridad como: la cadena de control de la seguridad del funcionamiento, los paros de emergencia, como estaban hechas esas conexiones ya en el robot por los operarios de General Motors, distinguir los modos manual y automático...

- La cadena de control de seguridad del funcionamiento: está basada en un sistema de cadenas de seguridad eléctricas duales que interaccionan con el computador del robot y que habilitan el modo MOTORES ON.

Las cadenas de seguridad eléctricas están formadas por varios interruptores conectados de forma que todos ellos deben estar cerrados antes de que el robot pueda pasar al modo MOTORES ON. El modo MOTORES ON significa que la tensión ha sido aplicada a los motores.

Si algún contacto de la cadena de seguridad de funcionamiento se encuentra abierto, el robot siempre regresa al modo MOTORES OFF. El modo MOTORES OFF significa que la alimentación a los motores está desactivada y que los frenos están aplicados.

- Paros de emergencia: se utilizaran cuando exista un peligro real para el personal o para el equipo. Los pulsadores de emergencia incorporados están situados en el panel de control del sistema de control y en la unidad de programación.

Además de estos pulsadores uno de los objetivos es la instalación de otros dispositivos de paro de emergencia que serán conectados a la cadena de seguridad del sistema.

- Modo de funcionamiento mediante selector: en la parte frontal del controlador se encuentra el selector del modo de funcionamiento. El sistema dispone de un modo de funcionamiento automático y de dos manuales.

Con el modo automático el robot puede ser operado a través de un dispositivo de control remoto. Este modo no se va utilizar ya que el uso de estos robots es didáctico y se trabajara siempre a una velocidad reducida para garantizar la seguridad de las personas y del entorno.

En el modo manual hay un modo a velocidad reducida (velocidad limitada a 250mm/s) y otro a velocidad total. El modo manual a velocidad reducida va a ser el que se va a utilizar siempre en el laboratorio donde se encuentran los robots.

#### b. Identificación de las conexiones

Una vez consultado el manual para comprender el funcionamiento del robot el siguiente paso era identificar las conexiones hechas por la empresa suministradora en las máquinas y compararlas con el manual.

Como se vio anteriormente en la figura 9, al levantar la tapa superior del controlador, entre otras unidades podemos distinguir el panel de seguridad que será donde nos centraremos.

En la siguiente imagen se ven las conexiones de usuario X1-X4, situadas en el panel de seguridad:



Ilustración 5 Cableado panel de seguridad.

Todos esos cables van conectados a los terminales XC customer connection y XD I/O power situados en la parte inferior externa del controlador.

XD y XC son dos terminales, Han DD 24 Pos.F Insert Crimp y Han 24DD-M-c male insert, con 24 pins numerados cada uno. Para saber cuál de los cables conectados al panel de seguridad iba a cada pin de esos dos terminales se utilizó un polímetro con el que midiendo la continuidad se iba probando cada uno de los cables conectados con todos los pines de cada uno de los terminales.

En el manual del producto encontramos la siguiente imagen de los conectores para el usuario en el panel de seguridad: X1-X4.

La configuración de las conexiones de esta imagen es de cómo se entregaría al cliente en un principio. Al realizar la instalación se eliminan los puentes que se deseen y se realiza el cableado de los sistemas de seguridad instalados. Nótese que en la ilustración 5 General Motors ya había eliminado ciertos puentes y realizado el cableado.

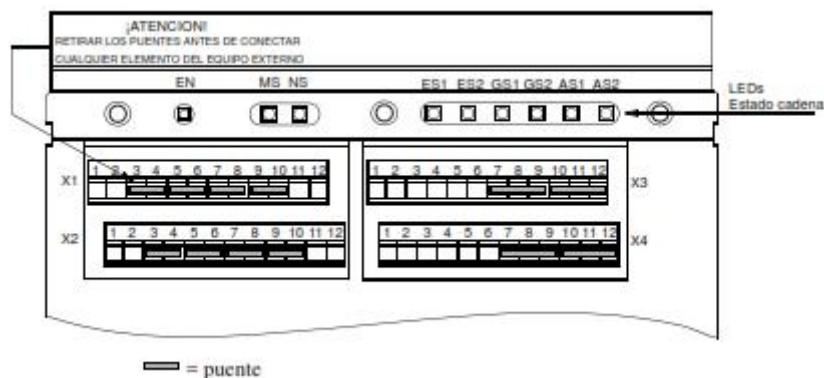


Figura 10 Panel de seguridad, situación fabrica.

El cableado que se encuentra del panel de seguridad a los pines de estos dos conectores es el siguiente:

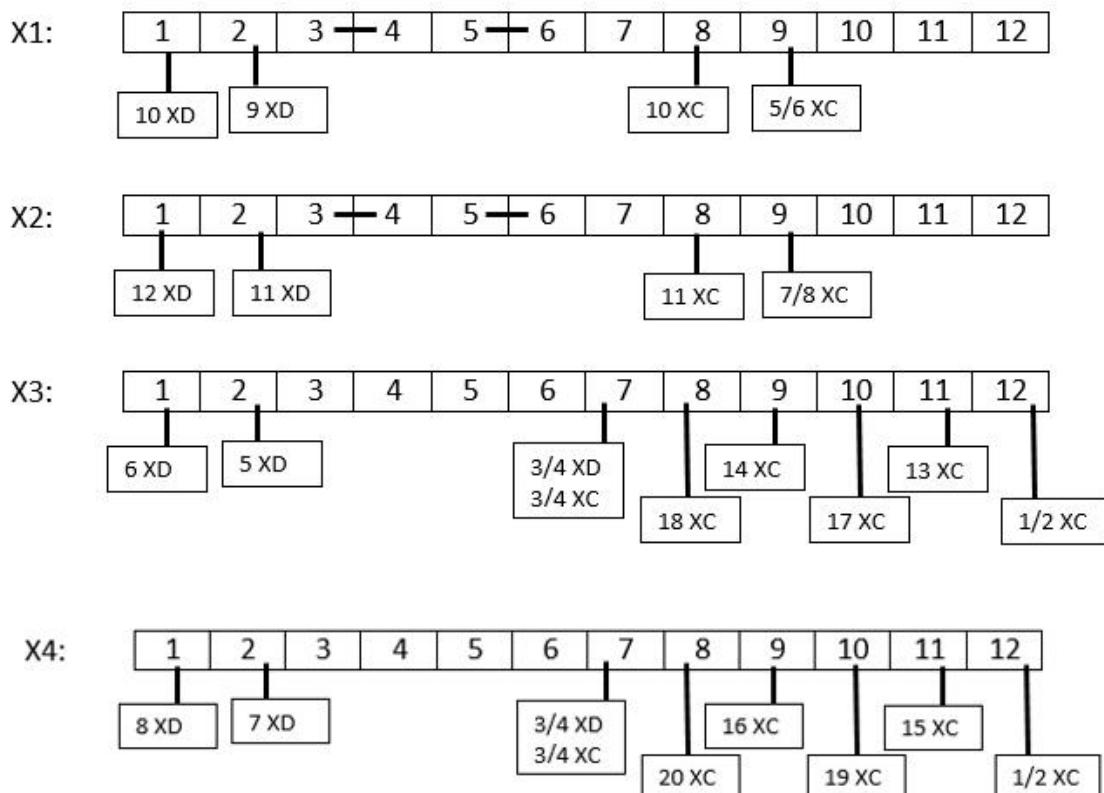


Figura 11 Cableado del panel de seguridad

A continuación se explica a que corresponde cada pin de las conexiones usuario, X1-X4, situadas en el panel de seguridad:

| X1           |     |   |
|--------------|-----|---|
| Nombre señal | Pin | Comentario                                  |
| ES1 salida:B | 1   | Salida paro de emergencia cadena 1          |
| ES1 salida:A | 2   | Salida paro de emergencia cadena 1          |
| Ext. LIM1:B  | 3   | Interruptor límite externo cadena 1         |
| Ext. LIM1:A  | 4   | Interruptor límite externo cadena 1         |
| 0V           | 5   | 0V contacto externo 1                       |
| CONT1        | 6   | Contacto externo 1                          |
| Int. 0V ES1  | 7   | Aliment. int. 0V cadena paro emergencia 1   |
| Ext. 0V ES1  | 8   | Aliment. ext. 0V cadena paro emergencia 1   |
| Ext. ES1 IN  | 9   | Entrada paro de emergencia externo cadena 1 |
| Ext. ES1 OUT | 10  | Salida paro de emergencia externo cadena 1  |
| Ext. BRAKE B | 11  | Contacto para freno externo                 |
| Ext. BRAKE A | 12  | Contacto para freno externo                 |

| X2           |     |   |
|--------------|-----|---|
| Nombre señal | Pin | Comentario                                  |
| ES2 out:B    | 1   | Salida paro de emergencia cadena 2          |
| ES2 out:A    | 2   | Salida paro de emergencia cadena 2          |
| Ext. LIM2:B  | 3   | Interruptor límite externo cadena 2         |
| Ext. LIM2:A  | 4   | Interruptor límite externo cadena 2         |
| 24V panel    | 5   | Contacto externo de 24V 2                   |
| CONT2        | 6   | Contacto externo 2                          |
| Int. 24V ES2 | 7   | Aliment. int. 24V cadena paro emergencia 2  |
| Ext. 24V ES2 | 8   | Aliment. ext. 24V cadena paro emergencia 2  |
| Ext. ES2 IN  | 9   | Entrada paro de emergencia externo cadena 2 |
| Ext. ES2 OUT | 10  | Salida paro de emergencia externo cadena 2  |
|              | 11  | No utilizado                                |
|              | 12  | No utilizado                                |

| X3            |     |                                   |
|---------------|-----|-----------------------------------|
| Nombre señal  | Pin | Comentario                        |
| Ext. MON 1:B  | 1   | Contactor Motor 1                 |
| Ext. MON 1:A  | 2   | Contactor Motor 1                 |
| Ext. com 1    | 3   | Común 1                           |
| Ext. auto 1   | 4   | Auto 1                            |
| Ext. man 1    | 5   | Manual 1                          |
| Ext. man FS 1 | 6   | Manual velocidad total 1          |
| 0V            | 7   | 0V para paro auto y general       |
| GS1-          | 8   | Paro general signo menos cadena 1 |
| AS1-          | 9   | Paro auto signo menos cadena 1    |
| GS1+          | 10  | Paro general signo más cadena 1   |
| AS1+          | 11  | Paro auto signo más cadena 1      |
| Panel 24V     | 12  | 24V para paro auto y general      |

| X4            |     |                                   |
|---------------|-----|-----------------------------------|
| Nombre señal  | Pin | Comentario                        |
| Ext. MON 2:B  | 1   | Contactor Motor 2                 |
| Ext. MON 2:A  | 2   | Contactor Motor 2                 |
| Ext. com 2    | 3   | Común 2                           |
| Ext. auto 2   | 4   | Auto 2                            |
| Ext. man 2    | 5   | Manual 2                          |
| Ext. man FS 2 | 6   | Manual velocidad total 2          |
| 0V            | 7   | 0V para paro auto y general       |
| GS2-          | 8   | Paro general signo menos cadena 2 |
| AS2-          | 9   | Paro auto signo menos cadena 2    |
| GS2+          | 10  | Paro general signo más cadena 2   |
| AS2+          | 11  | Paro auto signo más cadena 2      |
| Panel 24V     | 12  | 24V para paro auto y general      |

Figura 12 Pines de las conexiones usuario

Una vez identificadas las conexiones, utilizamos el anulador de seguridad para comprobar y verificar la identificación de las señales, sin el cual se entraba en modo motores OFF y el robot no se podía mover.

Al abrir este anulador de seguridad, se puede ver que dentro se han hecho una serie de puenteos entre los distintos pines que al conectarlo al terminal XC harán que queden puenteados entre si varias conexiones del panel de seguridad, X1-X4.

Las conexiones que existían en el anulador de seguridad según la numeración de los pines que tiene son las siguientes:

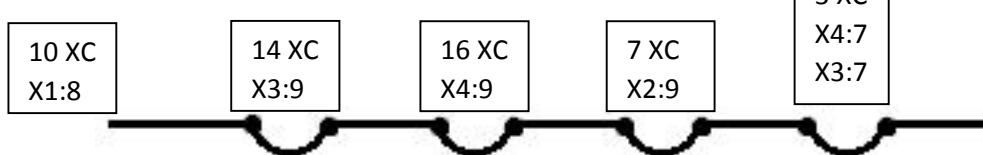
|  |         |
|--|---------|
| Los puentes realizados entre pines en el conector XC son los siguientes: |         |
| 10-14-16-7-3   | 2-17-19 |
| 1-5-13-15-11   | 6-9     |
| 4-20-18  | 8-12    |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 21 | 22 | 23 | 24 |
| 17 | 18 | 19 | 20 |
| 13 | 14 | 15 | 16 |
| 9  | 10 | 11 | 12 |
| 5  | 6  | 7  | 8  |
| 1  | 2  | 3  | 4  |

Figura 13 Pines anulador de seguridad

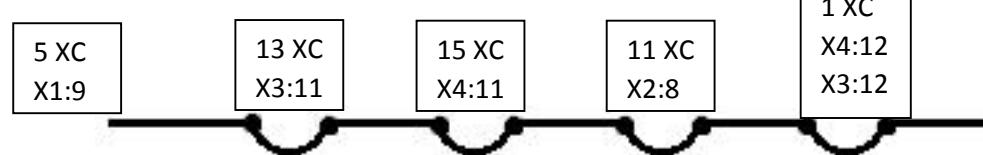
En definitiva, con los cables del panel de seguridad que van directamente a XC y el anulador de seguridad con los puentes realizados, al colocarlo en XC lo que se hace es puentejar entre si los cables que salen del panel de seguridad. Finalmente, mirando la conductividad de los cables con un polímetro se obtiene que entre todos los cables conectados hay hechos cuatro puentes distintos entre los pines de X1, X2, X3 y X4.

Primer puente:



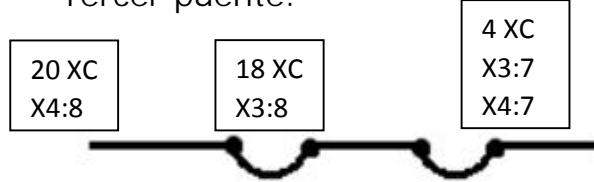
- X1:8 → Alimentación exterior 0V cadena paro emergencia 1.
- X3:9 → Paro auto signo menos cadena 1.
- X4:9 → Paro auto signo menos cadena 2.
- X2:9 → Entrada paro de emergencia externo cadena 2.
- X3:7 → 0V para paro auto y general.
- X4:7 → 0V para paro auto y general.

Segundo puente:



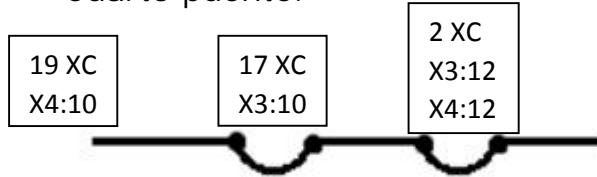
- X1:9 → Entrada paro de emergencia externo cadena 1.
- X3:11 → Paro auto signo más cadena 1.
- X4:11 → Paro auto signo más cadena 2.
- X2:8 → Alimentación exterior 24V cadena paro emergencia 2.
- X3:12 → 24V para paro auto y general.
- X4:12 → 24V para paro auto y general.

Tercer puente:



- X3: 7 → 0V para paro auto y general.
- X4: 7 → 0V para paro auto y general.
- X3: 8 → Paro general signo menos cadena 1.
- X4: 8 → Paro general signo menos cadena 2.

Cuarto puente:



- X3: 12 → 24V para paro auto y general.
- X4: 12 → 24V para paro auto y general.
- X3: 10 → Paro general signo más cadena 1.
- X4: 10 → Paro general signo más cadena 2.

Todos los cables del panel de seguridad conectados a XD se quedan al aire, no se han conectado a nada, son ocho en total (X1:1, X1:2, X2:1, X2:2, X3:1, X3:2, X4:1, X4:2). Y otros dos cables conectados a XC que vienen de X1:9 y X2:9 que les pasa exactamente lo mismo.

Los puentes 1 y 2, y 3 y 4 emparejados respectivamente son exactamente iguales y opuestos entre sí, esto es así por la doble cadena de seguridad ya mencionada.

### c. Conexión de las cadenas de seguridad

De nuevo siguiendo el manual aparece un esquema eléctrico que nos indica cómo deben estar hechas las conexiones de las cadenas de seguridad, la figura es la siguiente:

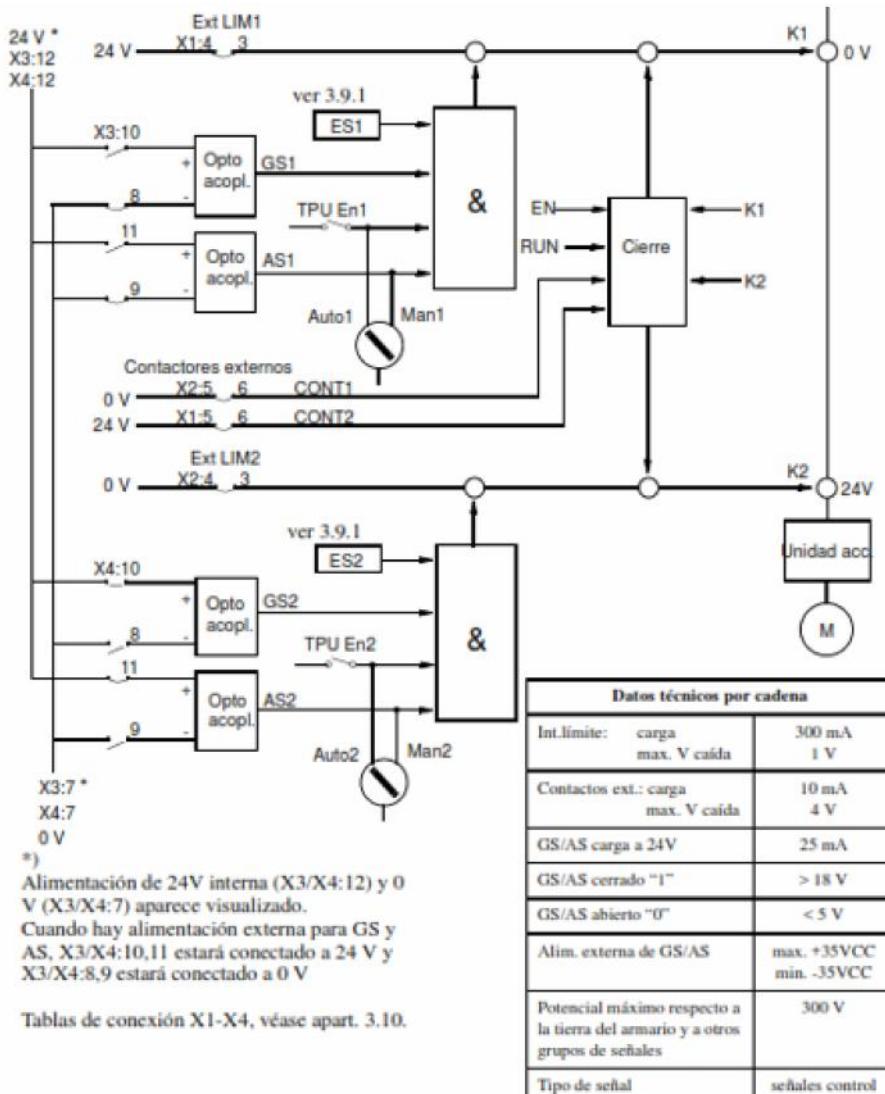


Figura 14 Esquema de la cadena de seguridad de doble canal.

Sin embargo comprobando estas conexiones en el robot sobre el que se está realizando el trabajo se ve que no coinciden.

Primero se comprueban las conexiones sin el anulador de seguridad colocado en el terminal XC y testeando en las conexiones X1-X4 se ve que algunas conexiones sí que están igual que en la figura 10 pero otras no. Todas las conexiones de la parte de la izquierda del esquema se encuentran abiertas.

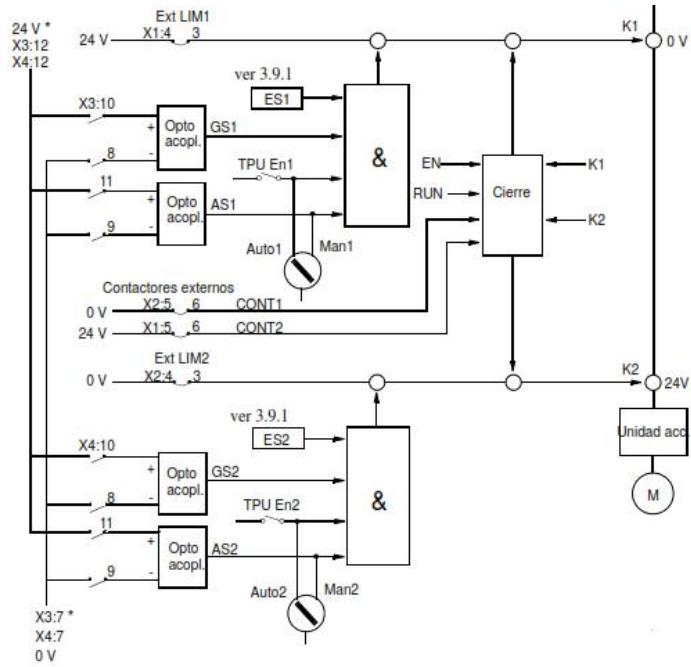


Figura 15 Cadena de seguridad de doble canal sin el anulador de seguridad.

Después se hace exactamente lo mismo pero con el anulador de seguridad puesto en el terminal XC, y pasa lo mismo, algunas conexiones coinciden con la figura 14 pero otras no. Todas las conexiones de la parte izquierda del esquema están cerradas.

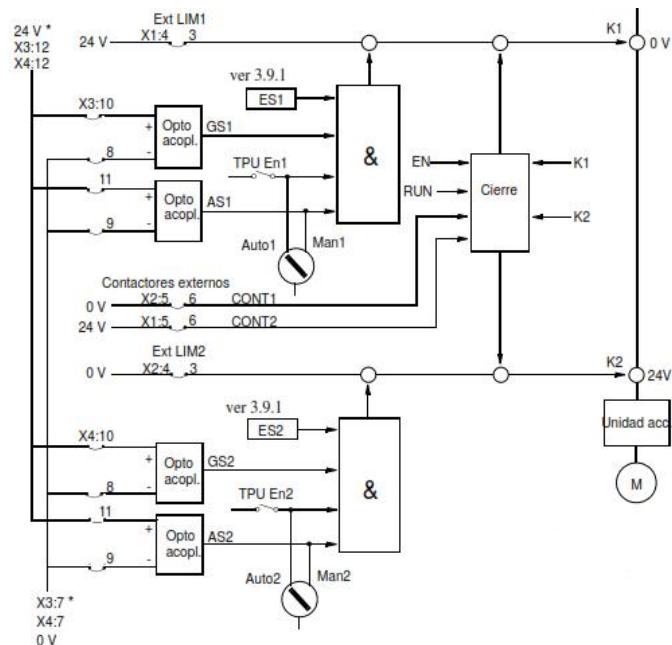


Figura 16 Cadena de seguridad de doble canal con el anulador de seguridad.

Si nos fijamos, estas conexiones que en un caso están todas abiertas y en el otro todas cerradas coinciden con los puentes que se realizaban entre los

cables conectados al panel de seguridad cuando conectábamos en anulador de seguridad. Recordamos que había cuatro puentes distintos entre todas las conexiones y observando la figura 14 con los puentes que se hacían al conectar el anulador de seguridad vemos que las conexiones se emparejan de dos en dos en los bloques de paro general y paro automático y que el estado de los interruptores es opuesto uno del otro.

Esto es porque el sistema de seguridad del robot está basado en un circuito de seguridad de dos canales que está continuamente monitorizado. Si se detecta un error, la alimentación a los motores se desactiva y los frenos quedan activados. Para regresar al modo motores ON, se deberán cerrar las dos cadenas. Mientras estas dos cadenas difieran, el sistema permanecerá en el modo motores OFF.

En nuestro caso será aquí en esas conexiones de los paros generales donde habrá que colocar los sistemas que se deseen poner para reducir el área de trabajo del robot e instalar las medidas de seguridad correspondientes.

El dispositivo de seguridad para garantizar que nadie acceda a la zona de trabajo del robot se ha colocado en X3/X4:7 – X3:8 y X3/X4:7 – X4:8.

#### d. Anillo Balluff

Un problema que se encontró a la hora de limitar el área con este sistema es que el conector en el que se encuentran los finales de carrera no disponía de su terminal opuesto (macho/hembra). Por lo tanto había que pedirlo para poder llevar los cables al controlador.

En el terminal solo aparece que es de la marca harting, ni modelo, ni referencia de ningún tipo, por lo tanto hubo que investigar entre los productos de harting. El conector que se necesitaba era un Han DD 24 Pos.F Insert Crimp y la correspondiente carcasa, Han B Hood Side Entry HC 2 Pegs PG 29. Sin embargo para poder cablear estos conectores hace falta una herramienta (grimpadora) cuyo coste es de alrededor de 400 €.

Por lo tanto hubo que buscar otros conectores que cubrieran las mismas necesidades y no fuese necesario una herramienta específica para poder realizar el cableado. Finalmente se optó por los siguientes materiales incluyendo conectores y carcasa:

- Han A Hood Side Entry HC 2 Pegs M25



[Features](#)

[Version](#)

**Part number:** 19 20 016 0546

**Description:** Han A Hood Side Entry HC 2 Pegs M25

**Type sheet:** [PDF](#)

[Material properties](#)

[Norms and specifications](#)

[Dimensions and weight](#)

- Han A Base Panel 1 Lever Lockable thermo



[Features](#)

[Version](#)

**Part number:** 09 20 016 0321

**Description:** Han A Base Panel 1 Lever Lockable thermo

**Type sheet:** [PDF](#)

[Material properties](#)

[Norms and specifications](#)

[Dimensions and weight](#)

- Han A 16 Pos. F Insert Screw



[Features](#)

[Material properties](#)

[Norms and specifications](#)

**Part number:** 09 20 016 2812

**Description:** Han A 16 Pos. F Insert Screw

**Type sheet:** [PDF](#)

[Connection data](#)

[Dimensions and weight](#)

[Supplements](#)

- Han A 16 Pos. M Insert Screw



[Features](#)

[Material properties](#)

[Norms and specifications](#)

**Part number:** 09 20 016 2612

**Description:** Han A 16 Pos. M Insert Screw

**Type sheet:** [PDF](#)

[Connection data](#)

[Dimensions and weight](#)

[Supplements](#)

- Cable clamp M25, 9-16, brass, IP 68



[Features](#)

[Version](#)

**Part number:** 19 00 000 5090

**Description:** Cable clamp M25, 9-16, brass, IP 68

**Type sheet:** [PDF](#)

[Material properties](#)

[Norms and specifications](#)

[Dimensions and weight](#)

[Supplements](#)

Una vez instalados los nuevos conectores se procedió al cableado de los mismos. Al desmontar la tapa de detrás de los finales de carrera del anillo se observa que cada final de carrera tiene 4 tornillos para realizar el cableado. Los

dos tornillos del centro corresponden a un contacto normalmente abierto, y los dos tornillos de los extremos para un contacto normalmente cerrado. En este caso el cableado se realiza en los contactos normalmente abiertos para los dos finales de carrera de la parte de abajo, tal y como se muestra en el esquema del apartado i, diseño de circuitos.

El movimiento del eje 1 se limitó entre 18° y 79°.

#### e. Test utilizados

- Simulación paro general: Para comprobar por primera vez el funcionamiento del paro general del robot y como actuaba sobre el manipulador se puso un interruptor en la placa para añadir/quitar puentes entre X3/X4:12 y X3:10. Mientras se movía el robot se abrió el interruptor y el robot se paró sin brusquedad prácticamente debido a su velocidad reducida.
- Comprobación límites software: Con la unidad de programación se realizó el guiado del robot a las posiciones máximas en las que se deseaba trabajar para la seguridad del entorno de trabajo. En esas posiciones se tomaron los datos de las coordenadas articulares y se utilizaron para realizar la limitación por software.
- Comprobación paro general eje 1: Una vez instaladas las nuevas piezas en el anillo Balluff y realizado el cableado correspondiente se comprobó con el robot en modo programación que al sobrepasar los límites puestos mediante las levas del anillo Balluff se producía un paro general. Para rearmar el paro hay que colocar el selector en modo manual y guiar el robot con la unidad de programación dentro de la zona de trabajo.
- Comprobación paro de la puerta acceso a la jaula: Se instaló un dispositivo final de carrera a modo de interruptor que quede cerrado cuando la puerta este cerrada y se abra al abrir la puerta. De este modo cuando se abre el interruptor se produce un paro general que no se vuelve a rearmar hasta que la puerta no está cerrada.

f. Placa para añadir/quitar puentes



Ilustración 6 Conexión del XC a las regletas añadir/quitar puentes.

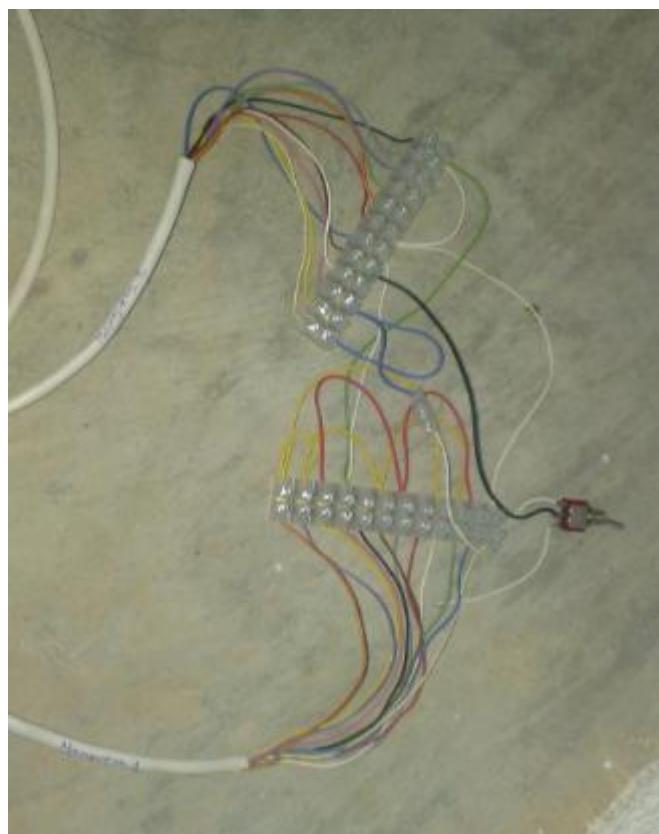


Ilustración 7 Regletas para añadir/quitar puentes.

Del terminal XC se han sacado dos mangueras de cables que se han llevado a dos regletas donde hacer todas las conexiones necesarias para implementar las medidas de seguridad de los robots. Cada manguera va nombrada como manguera 1 o manguera 2 y las conexiones de los cables que van a las regletas son las siguientes:

- Manguera 1:

| Color de cable | Pin XC/Pin panel de seguridad | Descripción señal                                  |
|----------------|-------------------------------|--|
| Naranja        | 15 XC<br>X4:11                | Paro auto signo más cadena 2                       |
| Morado         | 1 XC<br>X4/X3:12              | 24V para paro auto y general                       |
| Amarillo       | 18 XC<br>X3:8                 | Paro general signo menos cadena 1                  |
| Rosa           | 7 XC<br>X2:9                  | Entrada paro emergencia externo cadena 2           |
| Negro          | 17 XC<br>X3:10                | Paro general signo más cadena 1                    |
| Marrón         | 13 XC<br>X3:11                | Paro auto signo más cadena 1                       |
| Gris           | 20 XC<br>X4:8                 | Paro general signo menos cadena 2                  |
| Rojo           | 15 XC<br>X4:11                | Paro auto signo más cadena 2                       |
| Blanco         | 11 XC<br>X2:8                 | Alimentación exterior 24V cadena paro emergencia 2 |
| Verde          | 5 XC<br>X1:9                  | Entrada paro emergencia externo cadena 1           |
| Azul           | 4 XC<br>X3:7                  | OV para paro auto y general                        |
| Beige          | 10 XC<br>X1:8                 | Alimentación exterior OV cadena paro emergencia 1  |

- Manguera 2:

| Color de cable | Pin XC/Pin panel de seguridad | Descripción señal                                 |
|----------------|-------------------------------|---|
| Naranja        | 10 XC<br>X1:8                 | Alimentación exterior OV cadena paro emergencia 1 |
| Morado         | 13 XC<br>X3:11                | Paro auto signo más cadena 1                      |

|          |                  |   |
|----------|------------------|---|
| Amarillo | 7 XC<br>X2:9     | Entrada paro de emergencia externo cadena 2 |
| Rosa     | 17 XC<br>X3:10   | Paro general signo más cadena 1             |
| Negro    | 16 XC<br>X4:9    | Paro auto signo menos cadena 2              |
| Marrón   | 2 XC<br>X4/X3:12 | 24V para paro auto y general                |
| Gris     | 20 XC<br>X4:8    | Paro general signo menos cadena 2           |
| Rojo     | 14 XC<br>X3:9    | Paro auto signo menos cadena 1              |
| Blanco   | 14 XC<br>X3:9    | Paro auto signo menos cadena 1              |
| Verde    | 5 XC<br>X1:9     | Entrada paro emergencia externo cadena 1    |
| Azul     | 3 XC<br>X4/X3:7  | 0V para paro auto y general                 |
| Beige    | 19 XC<br>X4:10   | Paro general signo más cadena 2             |

Para emular el funcionamiento del anulador de seguridad se puentearan las conexiones en las regletas con los mismos puentes que había realizados en los anuladores de seguridad, tal y como se vio en el apartado 4.b, identificación de las conexiones, sin embargo ese no será el objetivo final.

El objetivo de estas regletas será sustituir ciertos puentes por mecanismos para que se cumplan las medidas de seguridad a la hora de trabajar con los robots.

Las casillas en mismo color representan que están puenteadas entre sí:

Manguera 1:

| Puentes |           |              |          |          |           |           |          |           |          |          |          |          |
|---------|-----------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Pin     | X4:<br>11 | X4/X3:<br>12 | X3:<br>8 | X2:<br>9 | X3:<br>10 | X3:<br>11 | X4:<br>8 | X4:<br>11 | X2:<br>8 | X1:<br>9 | X3:<br>7 | X1:<br>8 |

Manguera 2:

|         |          |          |           |          |          |          |              |              |          |           |          |           |
|---------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|--------------|--------------|----------|-----------|----------|-----------|
| Puentes |          |          |           |          |          |          |              |              |          |           |          |           |
| Pin     | X4:<br>9 | X4:<br>8 | X3:<br>11 | X1:<br>9 | X1:<br>8 | X3:<br>9 | X4/X:<br>3:7 | X4/X3:<br>12 | X3:<br>9 | X3:<br>10 | X2:<br>9 | X4:<br>10 |

Estos puentes se mantienen así para anular la seguridad del robot, se verán modificados al realizar la instalación final tal y como se verá en el apartado diseño de circuitos donde aparece el cableado definitivo.

#### g. Modos de funcionamiento

Para la utilidad que se les va a dar a los robots en la EUPT el robot nunca se pondrá ni en modo automático, ni en modo manual a velocidad total. En su lugar, se trabajará siempre en modo manual a velocidad reducida, que es el modo de trabajo más seguro y es el indicado para cuando se realizan tareas de programación o mantenimiento.

Mediante un selector creado para este trabajo los modos de funcionamiento serán:

- Modo programación: Es igual que el modo manual a velocidad reducida pero en el que están implementados los límites articulares para limitar la zona de trabajo. Este modo será el utilizado para probar programas, siempre ejecutados paso a paso.
- Modo manual a velocidad reducida: Este modo seguirá existiendo con total normalidad ya que si en el modo programación el robot se sale de la zona de trabajo y se produce un paro general habrá que volver a situarlo en la zona de trabajo manualmente a través de la unidad de programación.

#### h. Uso de la unidad de programación

A continuación se describe la unidad de programación:

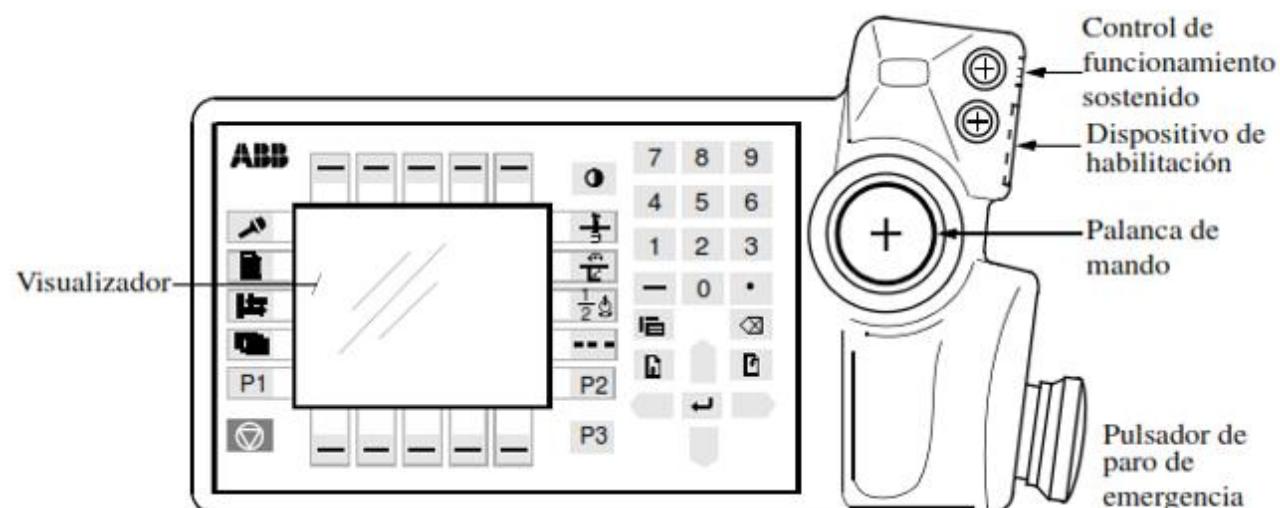


Figura 17 Unidad de programación para operar el robot.



**Movimiento:** Sirve para mover el robot.



**Programa:** Sirve para programar y para realizar las pruebas de los programas.



**Entradas/Salidas:** Sirve para operar de forma manual las señales de entrada y salida conectadas al robot.



**Varios:** Otras ventanas, es decir, las ventanas de los Parámetros del Sistema, Servicio, ventanas de funcionamiento del proceso y Administrador de Archivos.



**Paro:** Detiene la ejecución del programa.



**Contraste:** Ajuste del contraste del visualizador.



**Teclas del menú:** Pulsar estas teclas para visualizar los menús que contienen diferentes comandos.



**Teclas de función:** Pulsar estas teclas para seleccionar los diferentes comandos directamente.



**Unidad de Movimiento:** Pulsar la tecla para mover el robot u otras unidades mecánicas.



**Tipo de movimiento:** Apretar la tecla para seleccionar como se desea mover el robot, reorientación o lineal.



**Tipo de movimiento:** Movimiento eje a eje. 1 = ejes 1-3, 2 = ejes 4-6



**Incremento:** Movimiento por incrementos activado/desactivado.



**Lista:** Pulsar la tecla para mover el cursor de una parte de la ventana a otra (separadas normalmente entre sí por una línea doble).



**Página anterior/siguiente:** Pulsar la tecla para visualizar la página anterior o la siguiente.



**Borrar:** Sirve para borrar los datos seleccionados en el visualizador



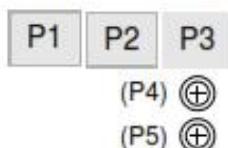
**Retorno:** Pulsar la tecla para la validación de los datos.



**Flechas de desplazamiento vertical del cursor:** Pulsar las flechas para mover el cursor hacia arriba y hacia abajo.



**Flechas de desplazamiento horizontal del cursor:** Pulsar las flechas para mover el cursor hacia la derecha o hacia la izquierda.



**Teclas definidas para el usuario:** Para definir la utilidad de las teclas, véase el capítulo 12, *Parámetros del Sistema*.

- Encender robot por primera vez:

Al encender el robot por primera vez, en el visualizador salen varios mensajes y errores que una vez identificados y entendidos son completamente normales, la mayoría son mensajes que informan del estado del robot, como por ejemplo: motores OFF, seleccionado modo manual, parada de seguridad...

Dos errores que salen siempre y no deberían salir son un error que nos indica que las baterías del robot están descargadas y otro que indica cont. Rev. No actualizado.

En nuestro caso es normal que las baterías del robot estén descargadas ya que estos robots están diseñados para permanecer mucho tiempo encendidos y al tenerlos apagados en el laboratorio casi sin utilizar las baterías se descargan.

El segundo error tiene que ver con la descarga de las baterías, este error nos indica que los contadores de revoluciones de los motores de cada eje no están actualizados, de forma que no es posible saber cuáles son las posiciones articulares del robot, ya que al estar las baterías descargadas estos datos se borran cada vez que se apaga y enciende el robot.

Una de las primeras cosas que se hizo la primera vez que se encendió el robot fue comprobar las señales, entradas/salidas de la seguridad del robot. Para ello se presiona la tecla de entradas/salidas y aparecen una serie de opciones en la parte superior del visualizador, entonces se va a ver → seguridad y ahí aparecen dichas señales. Se comprobó el estado de las señales con y sin el anulador de seguridad con el robot encendido pero en estado de reposo y con el selector en modo manual y se obtuvo lo siguiente:

| Sin anulador de seguridad |            | Con anulador de seguridad |            |
|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| AS1→0                     | LIM1→1     | AS1→1                     | LIM1→1     |
| AS2→0                     | LIM2→1     | AS2→1                     | LIM2→1     |
| AUTO1→0                   | MAN2→1     | AUTO1→0                   | MAN2→1     |
| AUTO2→0                   | MANFS2→0   | AUTO2→0                   | MANFS2→0   |
| BRAKE→0                   | MANORFS1→1 | BRAKE→0                   | MANORFS1→1 |
| CH1→0                     | MONPB→0    | CH1→0                     | MONPB→0    |
| CH2→0                     | MOTLMP→0   | CH2→0                     | MOTLMP→0   |
| CHAIN1→0                  | PAN24V→1   | CHAIN1→0                  | PAN24V→1   |
| EN1→0                     | PTC→0      | EN1→0                     | PTC→0      |
| EN2→0                     | PTCEXT→0   | EN2→0                     | PTCEXT→0   |
| ENABLE→1                  | SOFTASI→1  | ENABLE→1                  | SOFTASI→1  |
| ES1→0                     | SOFTASO→0  | ES1→1                     | SOFTASO→1  |
| ES2→0                     | SOFTESI→0  | ES2→1                     | SOFTESI→0  |
| EXTCONT→1                 | SOFTESO→0  | EXTCONT→1                 | SOFTESO→0  |
| FANOK→1                   | SOFTGSI→0  | FANOK→1                   | SOFTGSI→0  |
| GS1→0                     | SOFTGSO→0  | GS1→1                     | SOFTGSO→0  |
| GS2→0                     | TRFOTMP→0  | GS2→1                     | TRFOTMP→0  |
| K1→0                      |            | K1→0                      |            |
| K2→0                      |            | K2→0                      |            |

- Calibración ejes del robot:

En nuestro caso cada vez que se enciende el robot aparece un mensaje comunicando que los contadores de revoluciones no están actualizados.

Esto ocurre porque la batería (del manipulador) esta 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 (véase la figura 18).

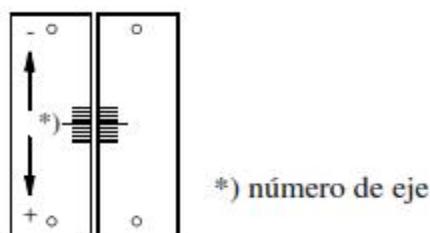


Figura 18 Marcas de calibración en el manipulador.

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 (véase la figura 18).

Una vez que se hayan posicionado todos los ejes según se ha indicado anteriormente, se podrá proceder al almacenamiento de los valores de los controladores de revoluciones, utilizando la unidad de programación según las siguientes indicaciones:

1. Apretar la tecla de ventana Varios.
2. Seleccionar la opción Servicio en la ventana de dialogo aparecida en el visualizador.
3. Apretar la tecla Retorno.
4. Luego, seleccionar la función Ver: Calibración. Aparecerá la ventana de la figura 19.

| Archivo              | Editar                    | Ver   | Calib |
|----------------------|---------------------------|-------|-------|
| Servicio Calibración |                           |       |       |
| Unidad               | Estado                    | 1 (1) |       |
| IRB                  | Cont. rev. no actualizado |       |       |

Figura 19 Ventana que indica si las unidades del sistema robot han sido calibradas o no.

5. Seleccionar la unidad deseada en la ventana, como se indica en la figura 19.

Seleccionar Calib: Actualizar Cont. Rev. Aparecerá la ventana de la figura 20.

| Actualizar Cont. Rev.                    |                           |             |
|--|---------------------------|-------------|
| IRB                                      |                           |             |
| Para calibrar, incluir ejes y pulsar OK. |                           |             |
| Ejes                                     | Estado                    | 1 (6)       |
| X 1                                      | Cont. Rev. no actualizado |             |
| X 2                                      | Cont. Rev. no actualizado |             |
| 3  | Calibrado                 |             |
| 4  | Calibrado                 |             |
| X 5                                      | Cont. Rev. no actualizado |             |
| X 6                                      | Cont. Rev. no actualizado |             |
| Incl                                     | Todos                     | Cancelar OK |

Figura 20 Ventana de diálogo utilizada para seleccionar los ejes cuyos contadores de revoluciones deben ser actualizados.

6. Apretar la tecla de función Todos para seleccionar todos los ejes (el eje seleccionado está marcado con una x).

7. Confirmar apretando la tecla OK. Aparecerá una ventana como la de la figura 21.

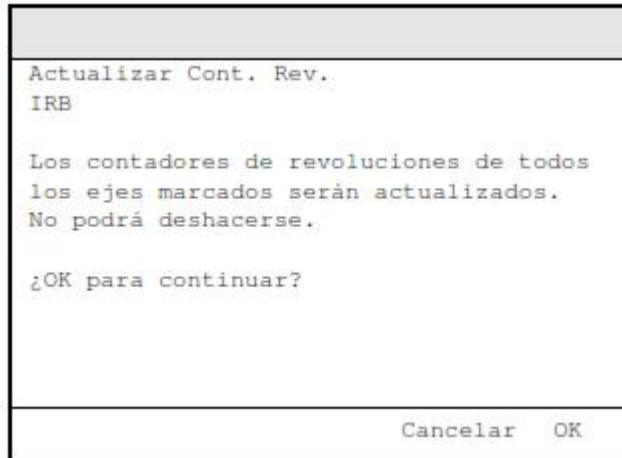


Figura 21 Ventana de dialogo utilizada para iniciar la actualización del contador de revoluciones.

8. Iniciar la actualización apretando la tecla OK.

Para comprobar la posición de calibración abrir la ventana de movimiento y seleccionar el funcionamiento eje a eje. Mediante la palanca de mando, mover el robot de forma que la lectura de las posiciones sea igual a cero. Comprobar que las marcas de calibración estén al mismo nivel, según se indica en la figura 18. En el caso de que no lo estén, se deberá volver a actualizar los contadores de revoluciones.

Para obtener la información de las posiciones articulares de cada uno de los ejes el robot dispone de resolvers en cada uno de los motores de cada eje.

- Limitación software ejes del robot:

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

Para ello los pasos a seguir utilizando la unidad de programación son los siguientes:

1. Apretar la tecla de ventana Varios.

Aparecerán en el visualizador varias opciones entre las cuales está la de Parámetros sistema.

2. Seleccionamos Parámetros sistema.
3. En la ventana que aparece después vamos a la pestaña Tipos 1 y seleccionamos Brazo.

4. Aparecen los seis ejes del robot. Se va seleccionando cada uno de los ejes y limitando mediante software la zona en la que queremos que se mueva cada uno de ellos.

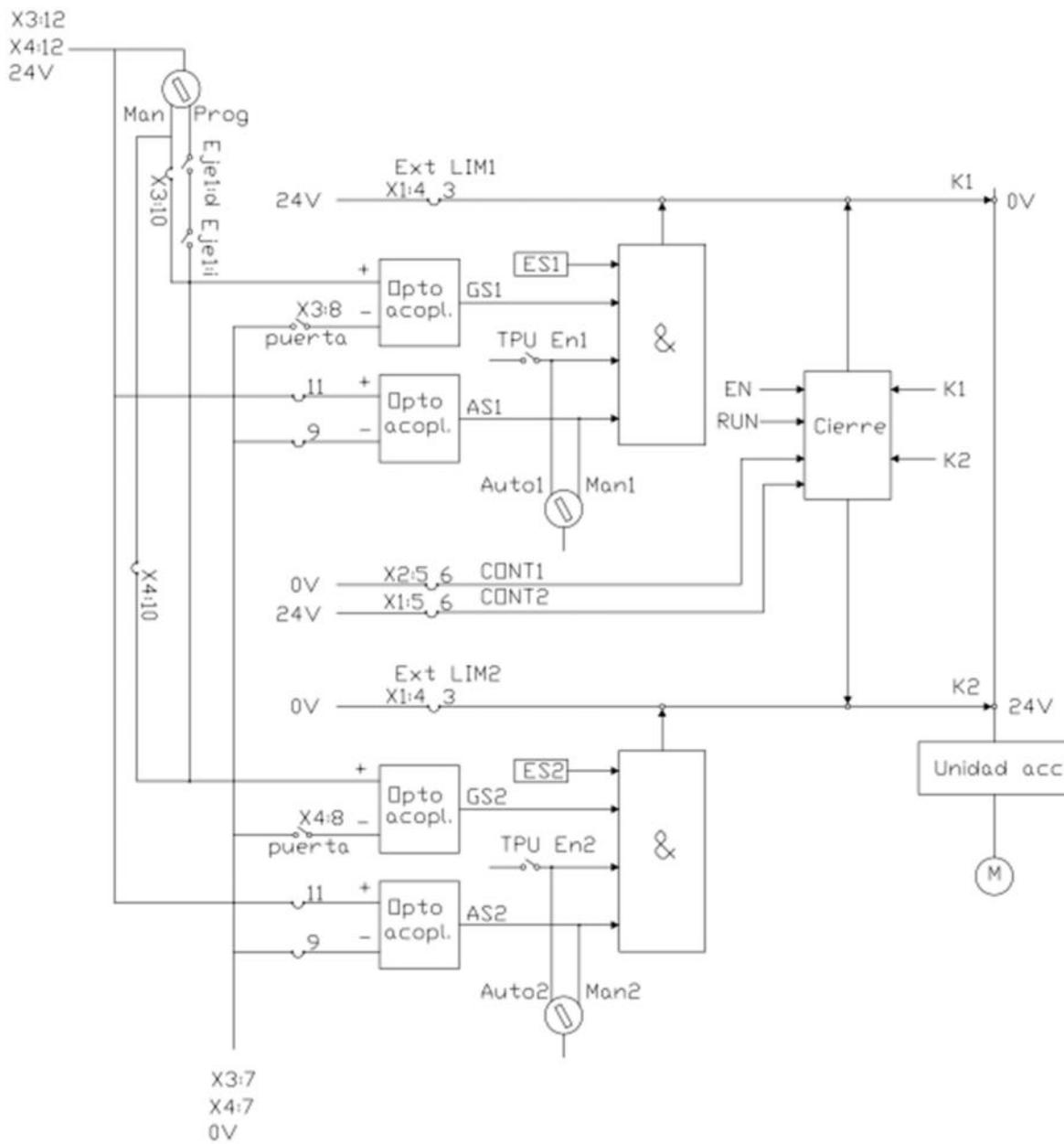
En este caso las limitaciones que se han hecho para los ejes 2 y 3 convenientes en el espacio requerido de trabajo son:

- 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

Los límites de los ejes están definidos en radianes.

#### i. Diseño de circuitos

El esquema eléctrico final de la conexión de las cadenas de seguridad del robot es el siguiente:



- AS** = Paro de protección modo Automático  
**TPU En** = Dispositivo de habilitación, unidad de programación  
**GS** = Paro de protección modo General  
**ES** = Paro de Emergencia

Figura 22 Esquema eléctrico final de la conexión de las cadenas de seguridad

Se ha colocado un selector en la salida de 24V para trabajar en modo manual o en modo programación.

En modo programación nos encontramos dos interruptores (eje1:d y eje1:i) que se corresponden con los finales de carrera del anillo Balluff para limitar la zona de trabajo del eje 1, estos van al paro general signo más de las cadenas 1 y 2. En caso de que uno de los dos finales de carrera no este pulsado, se produce un paro general y el robot se para. Para volver a trabajar con él se

debe colocar el selector en modo manual y a través de la unidad de programación llevar el robot de nuevo dentro de los límites del área de trabajo.

Además, para cualquier modo de funcionamiento, se ha puesto un interruptor (puerta), para garantizar que nadie entra en la zona de trabajo mientras el robot está en funcionamiento. Este va al paro general signo menos de las cadenas 1 y 2. Si alguien abre la puerta de acceso a la jaula del robot se producirá un paro general y el robot no se podrá mover hasta que se vuelva a cerrar la puerta.

#### j. Verificación y validación del sistema global

Lo primero que hay que hacer cada vez que se encienda el robot es calibrar los ejes del manipulador actualizando las revoluciones de los contadores. Si no se hace esto el robot no tendrá referencia de sus coordinadas articulares ya que estas se borran cada vez que se apaga el robot. Si no se calibra el robot, este tendrá movimiento total de todos sus ejes.

Una vez calibrado, verificamos el funcionamiento tanto en modo manual como en modo programación.

Modo manual:

- Eje 1: Movimiento total del eje 1. Rearme del paro general al salirse de la zona de trabajo en modo programación.
- Eje 2: Movimiento limitado mediante software entre 0.9599 y 0.5236 radianes.
- Eje 3: Movimiento limitado mediante software entre 0.6981 y 0.3491 radianes.
- Paro general al abrir la puerta de acceso a la jaula. Se rearma una vez cerramos la puerta de nuevo.

Modo programación:

- Eje 1: Movimiento limitado por hardware entre 0.3194 y 1.3770 radianes. Cuando se alcanza cualquiera de los límites se produce un paro general.
- Eje 2: Movimiento limitado mediante software entre 0.9599 y 0.5236 radianes.
- Eje 3: Movimiento limitado mediante software entre 0.6981 y 0.3491 radianes.
- Paro general al abrir la puerta de acceso a la jaula. Se rearma una vez cerramos la puerta de nuevo.

## 5. Conclusiones

El desarrollo de este Trabajo Fin de Grado ha permitido cumplir los objetivos planteados inicialmente. Se han incorporado medidas de seguridad en los robots ABB IRB 6400 situado en el laboratorio de Tecnologías Industriales de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel. Para ello, se ha identificado el cableado y la instalación realizada por General Motors; se han identificado las conexiones que controlan los paros de seguridad; se han diseñado los circuitos eléctricos que incorporan las medidas de seguridad; se han instalado y cableado los sensores y conexiones de los circuitos diseñados y finalmente se ha verificado su correcto funcionamiento. Además, se han señalado y planteado acciones futuras a desarrollar para la mejora de la instalación.

Cabe destacar, el interés del proyecto al trabajar con un robot industrial idéntico al utilizado en una situación real en un puesto de trabajo, en concreto un modelo de robot usado en la empresa General Motors.

- La fase inicial de identificar el cableado e instalación hechas por General Motors fue complicada dada la complejidad y el elevado número de cables y conexiones existentes. Hubo que buscar en la documentación sobre el manual del producto y la guía de usuario para centrarse en la parte relacionada con la seguridad del robot. Fue necesaria una exhaustiva fase inicial para comprender todos los cables y señales correspondientes, lo que supuso una importante inversión de tiempo.
- El análisis de los anuladores de seguridad fue complejo, dado que los puentes que tenían implementados no estaban incluidos en la documentación. Una vez comprendidos se optó por la utilización de unas regletas de conexión para poder modificar fácilmente los puentes existentes e incorporar las medidas de seguridad necesarias.
- La limitación del movimiento de los ejes fue la parte que más tiempo ha requerido de este trabajo, ya que uno de los objetivos iniciales era limitar los ejes 1, 2 y 3 mediante sistemas físicos. El eje 1 se consiguió con el anillo Balluff que venía instalado en el robot, aunque no configurado para este proyecto. Los ejes dos y tres presentaron un mayor desafío. Se investigaron varias soluciones alternativas. Algunas tuvieron que ser descartadas debido a que los proveedores habituales ya no dan servicio a estos modelos de robot antiguos. Por otra parte, se encontraron alternativas que conllevarían un importante coste económico si fuesen a ser llevadas a cabo. Por estos motivos, finalmente las limitaciones para las articulaciones q2 y q3 se han establecido vía software. Las conclusiones del estudio de las limitaciones físicas se han dejado debidamente documentadas para que, si fuese necesario, puedan ser utilizadas en un futuro.

- Otro imprevisto que surgió fueron los conectores que estaban instalados el robot. Para realizar el cableado final era necesario el uso de una herramienta de la que no se disponía por limitaciones presupuestarias. Por lo tanto hubo que buscar otros conectores que se adaptaran de la mejor forma posible a las dimensiones de los otros y sustituirlos.
- Finalmente el trabajo realizado con la unidad de programación resultó más trivial de lo esperado. La primera vez que se usó aparecían varios errores que tras su análisis se comprobó que eran normales dada la situación del robot. La calibración de los ejes, movimiento del robot y limitación de los ejes mediante software fueron relativamente fáciles con la ayuda del manual, excepto el intento de realizar un programa que resultó fallido debido a un fallo en la lectura de la rutina main.

## 6. Líneas futuras

Limitación articular de los ejes 2 y 3.

Actualmente los ejes 2 y 3 están limitados mediante software pero lo que se pretendía era también limitarlos mediante algún sistema físico como se encuentra limitado el eje 1.

Investigando acerca de que limitación mecánica sería posible para estos dos ejes se encontró que había unos sistemas limitadores de la zona de trabajo similares al que hay instalado en el eje 1 y de la misma marca.



### Axis 1

The main rotational axis (Axis 1) system can monitor up to three fully independent diverse complimentary redundant zones. Each zone can be infinitely located 360° around the axis of rotation. The angular zone can be configured in 15° increments from 15° to 345°, or the cams can be user-modified to create smaller increments.



### Axis 2

The boom forward/back (Axis 2) switch monitors a single zone using two channels with two 180° cams. Some available systems can monitor up to three zones with six channels. This axis is used to ensure boom is retracted, allowing the robot more freedom to move safely past operator-occupied areas.



### Axis 3

Similar to an Axis 2 system, the flip over (Axis 3) switch monitors a single zone using two channels with two 180° cams. An Axis 3 system provides protection against the robot flipping over 180°, without the need to restrict the robot's motion with permanent hard stops that might interfere with required program movements.

Figura 23 Sistemas limitadores de la zona de trabajo para los ejes 1, 2 y 3.

Al contactar con la empresa Balluff pidiendo información y presupuesto sobre estos sistemas la respuesta fue que era un producto que había dejado de fabricarse hacia varios años.

Descartando esta opción se pensó en colocar unas light curtains rodeando la zona de trabajo del robot.

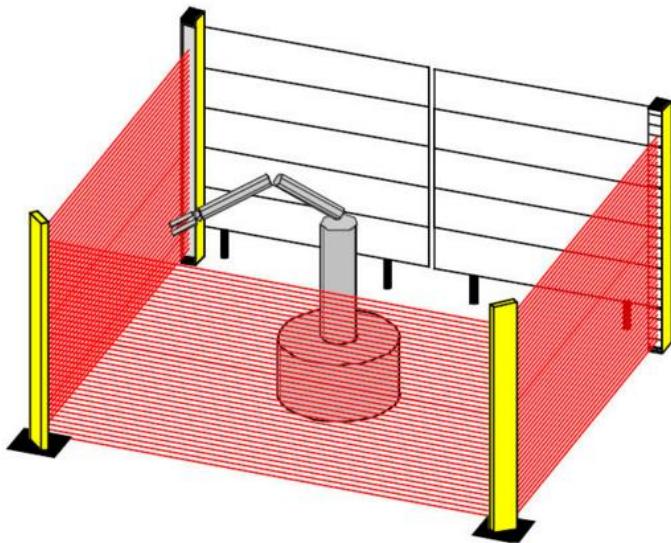


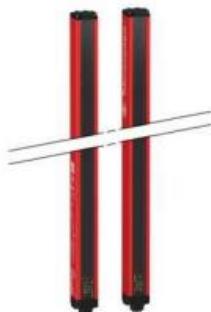
Figura 24 Ejemplo de zona de trabajo limitada por light curtains.

De esta forma antes de que el robot golpease cualquier elemento físico que lo rodea cortaría alguno de los haces de luz y se provocaría un paro general.

Se investigó acerca de lo que podía costar para el espacio de trabajo que se requiere y debido a su elevado precio se descartó la opción. Viendo este tipo de producto en varios distribuidores el precio no varía demasiado y finalmente escogiendo la marca Schneider el presupuesto para dos cortinas y dos espejos para ampliar el área que cubriesen desde el techo hasta el suelo y alrededor de todo el robot era de unos 5000 euros aproximadamente.

Los modelos de las dos cortinas vistas fueron:

- XUSL4E30H181N (2200 dólares).



| Main                             |  |
|----------------------------------|--|
| Range of product                 | Preventa Safety detection  |
| Product or component type        | Safety light curtain type 4  |
| Device short name                | XUSL4E   |
| Output type                      | 2 safety outputs OSSD solid-state PNP (integrated arc suppression) |
| Product specific application     | For hand protection  |
| [R] Resolution                   | 30 mm  |
| [Sn] nominal sensing distance    | 0...4 m by cabling<br>0...12 m by cabling                          |
| [Hp] Height protected            | 1810 mm  |
| Number of beams                  | 91   |
| Type of start / restart          | Automatic<br>Manual  |
| External Device Monitoring (EDM) | Selected by wiring   |

- XUSL4E30H091N (1400 dólares).

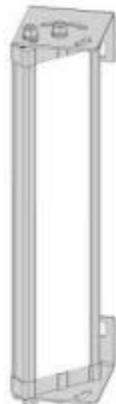


#### Main

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Range of product                 | Preventa Safety detection  |
| Product or component type        | Safety light curtain type 4  |
| Device short name                | XUSL4E   |
| Output type                      | 2 safety outputs OSSD solid-state PNP (integrated arc suppression) |
| Product specific application     | For hand protection  |
| [R] Resolution                   | 30 mm  |
| [Sn] nominal sensing distance    | 0...4 m by cabling<br>0...12 m by cabling                          |
| [Hp] Height protected            | 910 mm   |
| Number of beams                  | 46   |
| Type of start / restart          | Automatic<br>Manual  |
| External Device Monitoring (EDM) | Selected by wiring   |

Los modelos de los espejos vistos fueron:

- XUSZMD181 (1200 dólares).



#### Main

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Range of product                      | Preventa Safety detection                                  |
| Accessory / separate part category    | Adaptation accessories                                     |
| Accessory / separate part type        | 90° mirror adaptor   |
| Product compatibility                 | XUSL.E...181   |
| Accessory / separate part destination | Safety light curtain type 2<br>Safety light curtain type 4 |
| Material                              | Glass  |
| Mirror height                         | 1900 mm  |
| Height protected                      | 1810 mm  |

- XUSZMD091 (700 dólares).



#### Main

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Range of product                      | Preventa Safety detection                                  |
| Accessory / separate part category    | Adaptation accessories                                     |
| Accessory / separate part type        | 90° mirror adaptor   |
| Product compatibility                 | XUSL.E...91 with 3 beams                                   |
| Accessory / separate part destination | Safety light curtain type 2<br>Safety light curtain type 4 |
| Material                              | Glass  |
| Mirror height                         | 1060 mm  |
| Height protected                      | 910 mm   |

Otras opciones que se dieron fue la colocación de varias fotocélulas de forma que actuasen como una light curtain, sensores inductivos o fotocélulas en la parte del brazo que se mueve para limitar el eje 2 o sensores de proximidad en la parte de la herramienta y en la parte del contrapeso de detrás del robot.

La conexión de todos estos sensores se haría en serie con el paro general ya hecho para el eje 1.

Verificación de los sistemas de seguridad del robot mediante programa.

Para una primera toma de contacto con la programación del robot se utilizará en el ordenador el programa RobotStudio, con este programa se puede crear una estación de trabajo similar a la que existe en la realidad y se dispone de distintos manipuladores para simular lo que sería un entorno de trabajo real.

El primer paso es la programación del robot con este programa. En el RobotStudio 6.0 que fue el utilizado en este TFG estaba el manipulador de nuestro robot pero no el controlador, por lo tanto no se pudo hacer ningún programa con el robot en cuestión y se utilizó otro modelo.

Se creó un programa con RobotStudio que lo que hacía era simplemente llevar el robot a una serie de posiciones programadas para ver el movimiento de sus ejes y posteriormente pasar el programa al robot real.

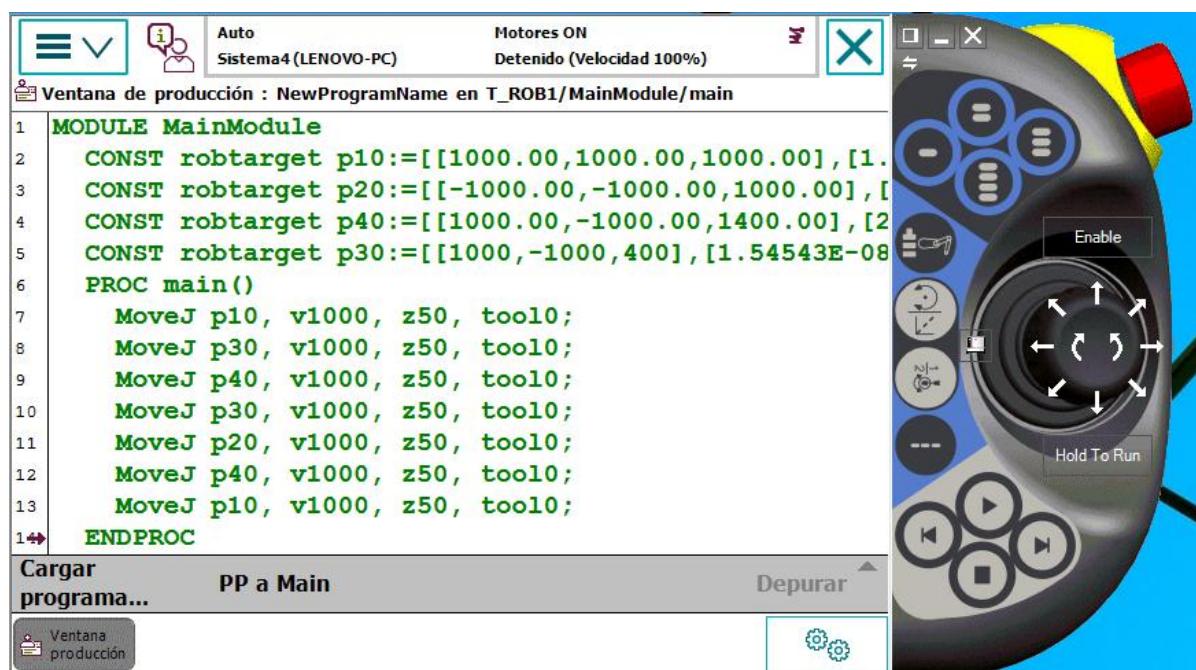


Figura 25 Unidad de programación RobotStudio

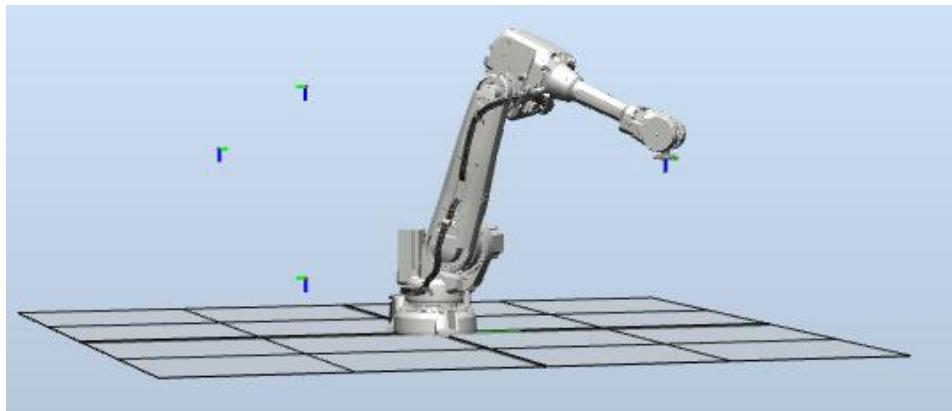


Figura 26 Manipulador y posiciones RobotStudio

Al intentar pasar el programa al robot real se producía un error con la rutina main y no se podía ejecutar el programa, de forma que se decidió dejarlo como un trabajo futuro.

Un programa consiste en un conjunto de instrucciones y de datos, programados con el lenguaje de programación RAPID, que controlan el robot y el equipo periférico de una forma específica.

Un programa suele constar de tres partes diferentes:

- Una rutina principal (main).
- Varias subrutinas.
- Los datos del programa.

Un programa podrá ser ejecutado independientemente de si está completo o no. Sin embargo, si la ejecución del programa alcanza una instrucción incompleta, éste se parará.

En nuestro caso los programas se ejecutarán siempre en modo programación, la velocidad será igual que en modo manual a velocidad reducida y los programas se ejecutarán paso a paso siempre con supervisión y pendientes de la situación del robot para pulsar el botón de paro de emergencia si fuese necesario.

Manejo de la herramienta.

Habrá que realizar el montaje de la herramienta en el robot, instalación y configuración. Se trata de dos pinzas neumáticas paralelas de gran apertura. Se investigará acerca de las señales que sirven para manejarla y se realizará la programación del robot teniendo en cuenta la herramienta. Para todo esto utilizaremos el manual del producto del robot y la guía de usuario.

## Bibliografía

Documentos:

1) Manual de producto del IRB 6400

2) Guía del usuario

- N° artículo: 3HAC 7797-1
- Publicación: Para BaseWare OS 4.0
- ABB Robotics AB
- S-721 68 Västerås, Sweden

Páginas web:

1) Definiciones robot industrial

[http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.4.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm)

2) Información sensores, anillo Balluff...

<http://www.balluff.com/balluff/MES/es/home.jsp>

3) Nuevos conectores y carcasa

<http://www.harting.es/conectores/>

4) Light curtains, espejos y sensores fotoeléctricos

[http://www.sick.com/group/EN/home/products/product\\_portfolio/industrial\\_sensors/Pages/photoelectric\\_switches\\_laser.aspx](http://www.sick.com/group/EN/home/products/product_portfolio/industrial_sensors/Pages/photoelectric_switches_laser.aspx)

<http://ab.rockwellautomation.com/Sensors-Switches/Operator-Safety/Light-Curtain>

[http://www2.schneider-electric.com/sites/malaysia/en/products-services/automation-control/products-offer/range-presentation.page?c\\_filepath=/templatedata/Offer\\_Presentation/3\\_Range\\_Datasheet/data/en/shared/automation\\_and\\_control/prevent\\_a\\_xu.xml](http://www2.schneider-electric.com/sites/malaysia/en/products-services/automation-control/products-offer/range-presentation.page?c_filepath=/templatedata/Offer_Presentation/3_Range_Datasheet/data/en/shared/automation_and_control/prevent_a_xu.xml)

5) Tutoriales RobotStudio

<https://www.youtube.com/watch?v=uISH8ksfIX4>