



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**REACTIVACIÓN DE LA CELDA DE
TRABAJO DEL ROBOT KUKA KR180 EN
LA EMPRESA NEUMÁTICA R**

Autor:

María de los Ángeles Alenza Perestrelo

Urb. Yuma II, calle N.º 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**REACTIVACIÓN DE LA CELDA DE TRABAJO DEL ROBOT KUKA KR180 EN LA
EMPRESA NEUMÁTICA R**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

María de los Ángeles Alenza Perestrelo

Tutor:

Ing. Wilmer Sanz

San Diego, febrero de 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Reactivación de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 en la empresa Neomática R.

Realizado por el (la) Br. María Alenza P.

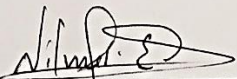
C.I. N° 30211580 cursante de la carrera de Ing. Electrónica

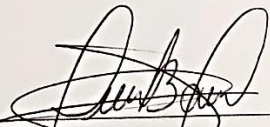
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

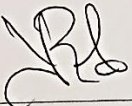
APROBADO

NO APROBADO

El Jurado


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Wilmer Szuz
C.I.: 7130496


Jurado
Nombre: Fredy Bermudez
C.I.: 11151678


Jurado
Nombre: Andrés Rodríguez
C.I.: 11347002

Fecha: 03/07/2023



ANEXO N



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL
TRABAJO DE GRADO

Quien suscribe, Wilmer Sanz, portadora de la cédula de identidad N° 7.130.469, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por la ciudadana María de los Ángeles Alenza Perestrelo, portadora de la cédula de identidad N° 30.211.580, titulado: **REACTIVACIÓN DE LA CELDA DE TRABAJO DEL ROBOT KUKA KR180 EN LA EMPRESA NEUMÁTICA R**, presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO ELECTRÓNICO, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los trece días del mes de junio del año dos mil dos mil veintitrés.

Wilmer E. Sanz F.
7.130.496



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

FI E 009 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadana:

ALENZA PERESTRELO, MARÍA DE LOS ANGELES

30.211.580

Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 05-2023 de fecha 10/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Reactivación de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 en la empresa NEUMÁTICA R

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero en Electrónica.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Wilmer Eduardo Sanz Fernández, titular de la cédula de identidad V- 7.130.496

Atentamente

Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme las fuerzas para enfrentar todas las adversidades que se presentaron en mi travesía, por ayudarme a lidiar con mis malos pensamientos cuando sentía que fracasaba o que no era suficiente, por poner en mi camino a las maravillosas personas de esta lista y, por supuesto, por permitirme completar esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi mamá, Liliana Perestrelo, por acompañarme siempre en los momentos buenos y malos, por ser mi chofer, mi confidente y mi apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, pero en especial a lo largo de mi carrera. Gracias por escuchar mis dilemas, tenerme paciencia cuando el estrés se apoderaba de mí y por nunca dejar que me desaminara ni me rindiera.

Gracias a mi hermana, Andreina Alenza, por escucharme siempre que lo necesitaba, por abrazarme cuando estaba triste y por animarme cuando no tenía más fuerzas. Gracias por desafiar a la voz en mi cabeza que me decía que abandonara, por acompañarme a la universidad cuando no tenía ganas de ir y por ser una de mis mayores admiradoras junto con mamá.

Gracias a Kevin Valecillos, por ser más que un amigo en este proceso tan difícil, por pelearse el puesto de admirador con mi mamá y mi hermana, por regalarme todas las palabras de aliento que necesité y por siempre buscar sacarme una sonrisa cuando estaba triste.

Agradezco a mi tutor de tesis y director de escuela, Wilmer Sanz, por presentarme a la robótica de la que me enamoré, por ofrecerme este maravilloso y desafiante proyecto de grado y por apoyarme en el desarrollo sin importar las altas y bajas.

Gracias al ingeniero Mario Rotonda, por abrirme las puertas de su empresa, por dejarme conocer y trabajar con su personal y su increíblemente testarudo robot y por presentarme a tantísimas personas que me ayudaron y formaron parte de este trabajo.

Agradezco también a mis compañeros de empresa en este trabajo: Manuel Pardo, Carlos Villafañe, Ricardo Fernández y Francys Velásquez. Gracias por estar a mi lado siempre que intentaba algo nuevo, por luchar conmigo para establecer comunicación con el robot, por no dejar que me aburriera nunca con sus bromas y chistes mientras trabajábamos, por ofrecerme comida cuando no había almorzado y compartir sus galletas conmigo cada vez. Gracias a Manuel por siempre preocuparse por mi salud y comodidad. Gracias a Carlos por probar cosas nuevas sin miedo junto a mí. Gracias a Ricardo por ser la mano a la que siempre podía pedirle ayuda. Gracias a Francys por nunca dejar de pedir su empanada y su malta.

También debo hacer un apartado para agradecer al sr. Mario Machado, el soporte técnico de KUKA Canadá que nos ayudó extensamente en el desarrollo de las últimas fases de este trabajo. Sin él de nuestro lado creo que no habría sido capaz de terminar mi proyecto a tiempo para la entrega, así que muchas gracias.

Por supuesto, quiero agradecer además a esos profesores que marcaron mi vida de una manera muy especial y me enseñaron, tanto en el ámbito académico como en el personal, muchas cosas que llevaré conmigo a mi siguiente etapa. Julio Alvarado, Francisco Duran, Alicia Yanez de Pizzella, Rubén Terán, Wilfredo Mendoza, Eduardo Rodríguez, Wilmer Sanz (nuevamente), Ana Avendaño, Rosa Ortega y de repente se me escapa algún otro, pero esos son los que vienen a mi mente cuando recuerdo mi paso por la universidad.

Y por último, me agradezco a mí. Este camino no fue nada fácil y, a pesar de que muchas personas estuvieron apoyándome, también yo tomé la decisión de seguir adelante, de no rendirme, de seguir luchando y me agradezco por ello. También me pido perdón, porque me permití descuidarme en el camino, pero doy muchas gracias a este cuerpo y a esta mente por aguantar conmigo hasta el final y por seguir conmigo en el nuevo futuro que abordaremos de aquí en adelante.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xviii
RESUMEN INFORMATIVO.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.1.2. Formulación del Problema.....	5
1.2. Objetivos de la Investigación.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Justificación de la Investigación.....	5
1.4. Alcance y Limitaciones.....	7
II MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes.....	8
2.2. Bases Teóricas.....	11
2.2.1. Robótica.....	11
2.2.2. Concepción filosófica de la robótica.....	12
2.2.3. Tipos de robots.....	12
2.2.3.1. Según su estructura.....	12
2.2.3.2. Según su generación.....	13
2.2.3.3. Según su funcionalidad	13

2.2.4. Robot Industrial.....	13
2.2.4.1. Estructura del Robot Industrial.....	14
2.2.4.2. Cadena cinemática.....	14
2.2.4.3. Tipos de articulaciones.....	16
2.2.4.4. Elemento terminal.....	17
2.2.5. Configuraciones morfológicas de un Robot Industrial.....	17
2.2.6. Área de trabajo del Robot Industrial.....	18
2.2.7. Lenguaje de programación en Robots Industriales.....	18
2.3. Bases Legales.....	19
2.4. Definición de Términos.....	21

III MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación.....	22
3.2. Diseño de la Investigación.....	22
3.3. Nivel de la Investigación.....	23
3.4. Población y Muestra.....	23
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	24
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	24
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos.....	24
3.6. Técnicas de Análisis de Resultados.....	25
3.7. Fases Metodológicas.....	26
3.8. Confiabilidad de la Investigación	27
3.9. Cuadro de Operacionalización de Variables	27

IV RESULTADOS

4.1. Fase I: Determinación de las condiciones actuales de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 mediante un diagnóstico de estado de sus partes.....	29
4.1.1. Observación directa.....	29
4.1.2. Entrevista.....	39
4.1.3. Análisis de Causa-Efecto.....	42

4.2. Fase II: Restauración de la comunicación entre el robot, su unidad de control y su Teach Pendant (Smart Pad) mediante el restablecimiento de conexiones.....	43
4.3. Fase III: Restablecimiento de las configuraciones de fábrica del robot industrial KUKA KR180 para su correcta programación y manejo.....	49
4.4. Fase IV: Comprobación del correcto funcionamiento del sistema de agarre por vacío OCTOPUS de Vuototecnica, que se usará como herramienta terminal.....	82
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS.....	95

LISTA DE CUADROS

DESCRIPCIÓN

CUADRO		pp.
1	Cuadro de operacionalización de variables de la investigación.....	28
2	Guion de entrevista.....	28

LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Robot KUKA KR180 PA de Neumática R.....	3
2	Parte de las conexiones perdidas en la unidad de control en el subsistema de energía del robot KUKA KR180 PA.....	4
3	Estructura de un Robot Industrial.....	14
4	Distribución de eslabones y articulaciones de un Robot Industrial.....	15
5	Cadena cinemática abierta o simple.....	15
6	Cadena cinemática cerrada o compleja.....	16
7	Cadena cinemática arborescente.....	16
8	Configuraciones morfológicas de un Robot Industrial.....	18
9	Desconexión del cable de señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.....	29
10	Bornera de conexiones del cable de señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.....	30
11	Conexión entre la bornera (verde) y el módulo EtherCAT (rojo) en el tablero de conexiones externas de la celda robotizada.....	31
12	Tablero didáctico de conexiones externas para las señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.....	31
13	Señales de entrada/salida en el tablero de conexiones para señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.....	32
14	Mapeo de señales de entrada/salida en el tablero de conexiones externas y su correspondencia con las señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.....	33
15	Desconexión del módulo de interfaces de seguridad X11 del robot KUKA KR180 correspondiente a las señales de seguridad externas.....	34
16	Esquema de contactos del módulo de interfaces de seguridad X11 del Robot KUKA KR180.....	34

17	Error detectado por software del robot KUKA KR180 sobre la falta de parada de emergencia externa.....	35
18	Falta de conexión en el puerto X1 del acoplador de bus EK1100 del módulo EtherCAT.....	36
19	Falta de conexión en el puerto X44 de la unidad de control KRC4 del Robot Industrial KUKA KR180.....	36
	Esquema circuital de la conexión de la CCU del Robot Industrial.	
20	Conexión entre el puerto X1 del acoplador de bus EK1100 del módulo EtherCAT y el puerto X44 de la unidad de control KRC4.....	37
21	Error detectado por software del robot KUKA KR180 sobre la falla en el puerto X44 de la CCU correspondiente a la conexión con el módulo EtherCAT.....	37
22	Fusibles presentes en las placas A1 y A3 de la unidad de control del robot KUKA KR180.....	38
23	Error de acumulador defectuoso, referente a las baterías de la CCU del robot KUKA KR180.....	38
24	Disposición antigua de la celda robotizada de la empresa Neumática R.....	39
25	Disposición actual de la celda robotizada de empresa Neumática R (vista frontal).....	40
26	Señales de seguridad de la celda robotizada. A) Cerradura de la puerta. B) Botón de parada de emergencia. C) Cuerda de parada de emergencia bicanal.....	41
27	Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) de la problemática en la empresa Neumática R.....	42
28	Reconexión del cable de señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.....	44
29	Conexión del puerto X1 del acoplador de bus EK1100 del módulo EtherCAT con el puerto X44 de la unidad de control KRC4.....	45
30	Indicadores de buena comunicación entre el acoplador EK1100 del módulo EtherCAT y la CCU del Robot Industrial.....	45
31	Baterías nuevas de la unidad de control del robot KUKA KR180.....	46

32	Diagrama circuital de la conexión de las baterías internas de la unidad de control del robot KUKA KR180.....	47
33	Conexiones de señales de seguridad externas del robot KUKA KR180 vistas desde el módulo X11 de la CCU.....	48
34	Conexiones de señales de seguridad externas del robot KUKA KR180 vistas desde los dispositivos de parada de emergencia y seguridad del operador.....	49
35	KUKA Recovery USB Stick. Unidad de memoria USB para restablecimiento del sistema de la unidad de control KRC4 del robot KUKA.....	50
36	KUKA System Recovery Configurator. Programa de configuración del KUKA Recovery USB Stick.....	51
37	Secuencia de encendido de leds indicadores en el proceso de restablecimiento de imagen de la unidad de control KRC4.....	52
38	Secuencia de encendido de leds indicadores en la KRC4 de la celda robotizada.....	53
39	Leds de la CCU indicando la finalización del restablecimiento de imagen..	53
40	Lista de errores de software indicada luego del restablecimiento de imagen de la unidad de control KRC4.....	54
41	Pestaña de configuración de seguridad solicitando activación de los cambios realizados en la CCU.....	55
42	Mensajes de confirmación que aparecen al activar la configuración de seguridad de la CCU.....	56
43	Lista de errores de software indicada luego de la confirmación de configuración de seguridad de la unidad de control KRC4.....	57
44	Estructura de proyecto del proyecto activo “2011013376000012000207573-5 prueba modulo ana beckhoff”.....	59
45	Módulos extra en la configuración del EtherCAT del proyecto activo.....	59
46	Nueva estructura de proyecto nombrada “WorkingProject_13052023”.....	60
47	Pestañas de Entradas digitales y Buses de campo (módulo EL1809) para el mapeo de entradas digitales en WorkVisual.....	61

	Disposición de pestañas en WorkVisual para el mapeo de entradas/salidas. En azul: Lista de señales de las entradas/salidas digitales. En naranja: Lista de canales disponibles de los módulos de entradas/salidas del EtherCAT. En verde: Lista conjunta de conexiones realizadas entre ambas listas. En rojo: Botón “Conectar” para realizar las conexiones entre los elementos de ambas listas.....	61
48		
49	Proceso de mapeo de entradas digitales en WorkVisual para el proyecto activo “WorkingProject_13052023”.....	62
50	Proceso finalizado de mapeo de entradas digitales en WorkVisual para el proyecto activo “WorkingProject_13052023”.....	63
51	Pestañas de Salidas digitales y Buses de campo (módulo EL2809) para el mapeo de salidas digitales en WorkVisual.....	63
52	Proceso finalizado de mapeo de salidas digitales en WorkVisual para el proyecto activo “WorkingProject_13052023”.....	64
53	Mensaje de error de la plataforma WorkVisual al no tener comunicación con la celda robotizada mediante el cable de red.....	65
54	Selección de la configuración de WorkVisual a cargar en la unidad de control de la celda robotizada.....	66
55	Generación de códigos en WorkVisual. A) Proceso de generación B) Finalización del proceso.....	67
56	Transmisión del proyecto en WorkVisual. A) Proceso de transmisión B) Finalización del proceso.....	67
57	Proceso de activación pausado en WorkVisual, “esperando una entrada por parte del usuario”.....	68
58	Mensaje de confirmación de activación del proyecto en el Smart Pad de la CCU.....	68
59	Procesos de reconfiguración en progreso, progreso de activación del proyecto en el Smart Pad de la CCU.....	69
60	Activación finalizada, indicado en WorkVisual.....	70
61	Lista de errores de software actualizada luego de la carga del nuevo proyecto activo.....	70

62	Opción “Ajustes adicionales del controlador” en la pestaña “Editores” en el programa WorkVisual.....	71
63	Selección de la opción “Control de temperatura del transformador (V)KR C4” en el programa WorkVisual.....	72
64	Pestaña “Control de seguridad”, apartado “Opciones de hardware” en el programa WorkVisual.....	72
65	Cambio de ProfiSafe a SIB en la “Interfaz de cliente” en la “Configuración local de seguridad” en el programa WorkVisual.....	73
66	Lista de errores de software después de los cambios de ProfiSafe y control de temperatura del transformador.....	73
67	Estructura de proyecto antes (A) y después (B) de la modificación del SIB Extended en el proyecto activo en WorkVisual.....	74
68	Lista de errores de software después de la modificación del módulo SIB Extended en el proyecto activo de la unidad de control.....	75
69	Sección Visualización> Entradas/Salidas> Automático Externo para la modificación del valor de la señal básica \$MOVE_ENABLE.....	76
70	Lista preliminar de señales básicas del Robot Industrial con botón “Configurar” para el cambio de valor de dichas señales.....	77
71	Lista detallada de señales básicas del Robot Industrial. Señal \$MOVE_ENABLE con A) Valor erróneo y B) Valor correcto modificado...	78
72	Lista final de errores de software de la unidad de control KRC4.....	78
73	Advertencia: Falla en la fase principal del KPP mostrada en el Smart Pad de la unidad de control en la celda robotizada.....	79
74	Advertencia “La rampa de frenado del robot ha sido violada” mostrada en el Smart Pad de la unidad de control en la celda robotizada.....	80
75	Driver de alimentación KUKA Power Pack (KPP) de la CCU de la celda robotizada.....	81
76	Voltajes en las tres fases del transformador que alimenta a la CCU en la celda robotizada.....	81
77	Voltaje en los contactores de la CCU en la celda robotizada.....	82

78	Sistema de agarre por vacío para paletizado de Vuototecnica presente en la celda de trabajo de la empresa Neumática R.....	83
79	Distintas cajas usadas en las pruebas de la herramienta terminal de agarre por vacío en la celda de trabajo. a) Caja de un kilo y b) Caja de dos kilos...	83
80	Primera prueba realizada al sistema OCTOPUS con dos cajas de madera para un peso total de dos kilos.....	84
81	Segunda prueba realizada al sistema OCTOPUS con dos cajas, una de madera y otra de madera y papel, para un peso total de tres kilos.....	85
82	Herramienta terminal de tipo tridente de doble acción neumática especial para aplicaciones de paletizado de la celda de trabajo de la empresa Neumática R.....	86
83	Sensores de final de carrera del cilindro encargado del movimiento horizontal ubicados en la parte anterior y posterior del actuador de la herramienta.....	87
84	Sensores infrarrojos de proximidad encargados de detectar objetos en la parrilla del tridente de paletizado, ubicados a la izquierda y derecha de la herramienta.....	87
85	Sensores de final de carrera de los cilindros del accionamiento vertical para el tope de sujeción de la herramienta de paletizado.....	88
86	Choque entre la garra de la herramienta de paletizado y el cuerpo del Robot Industrial de la celda de trabajo causado por el accionamiento horizontal del tridente.....	89
87	Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Posicionamiento de la caja en el tridente.....	90
88	Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Detección de la caja por parte de los sensores de proximidad del tridente...	91
89	Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Aprisionamiento de la caja por parte del tope de sujeción (accionamiento vertical) del tridente.....	91

	Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado.	
90	Detección del aprisionamiento de la caja por parte de los sensores del tope de sujeción (finales de carrera del accionamiento vertical) del tridente.....	92
	Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado.	
91	Liberación de la caja por parte del tope de sujeción (accionamiento vertical) del tridente.....	92

LISTA DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

TABLA		pp.
1	Normas y regulaciones aplicadas al robot KUKA KR180.....	20



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

REACTIVACIÓN DE LA CELDA DE TRABAJO DEL ROBOT KUKA KR180 EN LA EMPRESA NEUMÁTICA R

Autor: María de los Ángeles Alenza
Perestrelo

Tutor: Ing. Wilmer Sanz

Fecha: Febrero, 2023

RESUMEN

En el presente trabajo de grado enfocado en la línea de investigación de ciencias cognitivas y aplicadas de la Universidad José Antonio Páez, se exponen las circunstancias que rodearon a la empresa Neumática R, la cual solía ofrecer servicios de entrenamiento y capacitación de profesionales en las áreas de robótica industrial y manejo de robots en aplicaciones de paletizado. Para esta tarea, la empresa cuenta con una celda de trabajo dotada con el Robot Industrial KUKA KR180 PA, pero dicha celda se encontraba deshabilitada. A lo largo de esta investigación de tipo proyecto factible, diseño documental y de campo; y nivel descriptivo, se estudian los aspectos que impiden la reactivación de la celda de trabajo y se buscan soluciones para lograr el objetivo de la rehabilitación de la misma. Estas soluciones empiezan con el diagnóstico de partes de la celda para identificar los elementos que afectan el funcionamiento del robot. Posterior a esto, se restauran las conexiones faltantes entre sus partes, se restablecen las condiciones de fábrica y se reconfigura el software de programación del robot y se desarrollan varias pruebas con la herramienta terminal del robot para verificar su correcto funcionamiento. Todos estos procedimientos se realizan con el fin de adquirir nuevos conocimientos que sean de ayuda a futuros profesionales y lograr, con la reactivación de la celda de trabajo, que dichos profesionales puedan volver a recibir el entrenamiento en manejo de Robots Industriales y procesos de paletizado que ofrecía la empresa Neumática R años atrás.

Descriptor: Automatización, Robot Industrial, paletización, celda robotizada, robótica.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

REACTIVATION OF THE KUKA KR180 ROBOT'S WORK CELL AT THE COMPANY NEUMÁTICA R

Author: María de los Ángeles Alenza
Perestrelo

Advisor: Ing. Wilmer Sanz

Date: February, 2023

ABSTRACT

In the present degree work focused on the line of research of cognitive and applied sciences of the José Antonio Páez University, there are exposed the circumstances revolving the Neumática R company, which used to offer training services for professionals in the areas of industrial robotics and robot operation in palletizing applications. For this task, the company has a work cell equipped with the KUKA KR180 PA Industrial Robot, but said work cell was disabled. Throughout this research of feasible project type, field and documentary design and descriptive level, there are investigated the aspects that prevent the reactivation of the work cell and solutions are sought to achieve the objective of its rehabilitation. These solutions begin with the diagnosis of parts in the cell to identify the elements that affect the operation of the robot. After this, the missing connections between its parts are restored, the robot's programming software is restored to factory conditions and reconfigured, and several tests are carried out with the robot's terminal tool to verify its proper functioning. All these procedures are performed in order to acquire new knowledge that will help future professionals and to achieve, with the work cell's reactivation, that these professionals can once again receive the training in Industrial Robot operations and palletizing processes offered by the company Neumática R years ago.

Key words: Automation, Industrial Robots, palletizing, robotic cell, robotics.

INTRODUCCIÓN

En una línea de producción existen distintos procesos en desarrollo, los cuales a lo largo de los años han buscado mecanizarse con variadas tecnologías. Las líneas de paletizado son fuertes candidatos para la automatización, ya que son trabajos repetitivos y forzados para la mano de obra humana. Es por esto que la robótica industrial es la tecnología más adecuada para automatizar dichos procesos, debido a que los robots presentan buena capacidad de carga y fácil adaptación a la labor. Para lograr llevar a cabo estas mecanizaciones es necesario contar con profesionales en áreas tanto de automatización como de robótica industrial.

La mayoría de profesionales no cuentan con estos conocimientos en su campo de estudio con lo que los cursos de capacitación en estas áreas se vuelven cada vez más solicitados. A nivel nacional, la empresa Neumática R cuenta con una celda de trabajo para un Robot Industrial de manera que ofrecían servicios de entrenamiento de profesionales en manejo de Robots Industriales en el área de paletizado. Conforme a ello, el presente proyecto engloba temas de investigación actuales como lo son la capacitación profesional en áreas como la automatización industrial al igual que el uso de robots en el sector, específicamente en el proceso de paletizado en cadenas de producción.

En el Capítulo I se describe la problemática, los objetivos que se pretende alcanzar en la investigación, así como la justificación de la investigación, las limitaciones existentes y el alcance que tendrá la misma. En el Capítulo II se presentan en primer lugar los antecedentes de distintos investigadores que desarrollaron proyectos similares al actual y funcionan como bases para esta investigación. Seguido a esto, se enuncian y explican todos los fundamentos teóricos que ayudan a comprender la investigación, continuados por los aspectos legales que aplican a la problemática en general.

En el Capítulo III se desarrolla todo el soporte metodológico del proyecto, describiendo su tipo, diseño y nivel, la población y muestra a quienes va dirigido, las técnicas e instrumentos que se usan para la recolección de datos y para el análisis de los resultados con su debido estudio de confiabilidad, además de las variables que influyen en la investigación. Por último, en el Capítulo IV se especifican los resultados obtenidos, así como todos los procesos que se llevaron a cabo en cada una de las fases del proyecto para el final cumplimiento de los objetivos que se plantean.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La robótica y automatización industrial ayudan diariamente a optimizar los procesos de manufactura en distintos campos de producción. El uso de este tipo de máquinas elimina el factor de error en los procesos productivos, consiguiendo que estos sean más precisos, a la vez que la mano de obra humana es retirada de tareas repetitivas o peligrosas. Con la consolidación de la Industria 4.0 se han diversificado las aplicaciones de la robótica industrial incluso entre las empresas más pequeñas. En el sector industrial, en particular, la automatización con el uso de robots ha adquirido gran importancia siendo difícil o incluso imposible volver al proceso productivo antes del uso de los robots.

Un ejemplo de esto puede verse en las empresas de desarrollo de microprocesadores o tarjetas madre para computadores, donde la precisión de los robots es la que permite los tamaños reducidos de los dispositivos y también permite las soldaduras milimétricas que sin la exactitud de las máquinas no serían posible. Específicamente el área de paletizado es demandada en gran medida en el ámbito industrial, no solo a nivel internacional, sino también nacionalmente. Poco a poco empresas de gran y mediano calibre invierten en Robots Industriales para lograr automatizar esta área del proceso productivo, que por el contrario resultaría pesada y repetitiva para la mano de obra humana.

Con la aplicación de la robótica en el área de paletizado se logra una optimización considerable de este sector en la empresa. No obstante, el desplazamiento de la mano de obra hacia la automatización y el uso de Robots Industriales no logra reemplazar el trabajo de los humanos, a diferencia de lo que es comúnmente estimado. Por el contrario, exige un cambio en los perfiles profesionales de las industrias que hacen uso de la robótica. Actualmente los roles profesionales relacionados con la automatización y la robótica industrial son cada vez más demandados en el mercado laboral. Esto hace que se refuerce el requerimiento de instituciones o particulares que sean capaces de brindar una mayor cualificación a los actuales y futuros profesionales de la industria, mejorando así sus perfiles laborales en esta área.

Es aquí donde empresas como Neumática R entran en acción, ofreciendo entrenamiento a profesionales de todas las áreas de ingeniería. Con su robot KUKA modelo KR180 R3200 PA (ver figura 1), una celda de trabajo para el mismo bien equipada para aplicaciones de paletizado y contando con expertos en el área de automatización con robótica industrial, la empresa Neumática R ofreció cursos de entrenamiento en el país desde el 2016 hasta principios del año 2019.



Figura 1: Robot KUKA KR180 R3200 PA de Neumática R.
Fuente: Neumática R C.A. (2022).

Entre los años 2020 y 2021, debido a la pandemia del COVID-19, se vieron obligados a trasladar el Robot Industrial con toda su celda de trabajo a una nueva área donde ha permanecido inactivo hasta la actualidad. En el traslado se perdieron conexiones importantes (ver figura 2) para el funcionamiento del robot, entre ellas la conexión de la interfaz de seguridad de la celda, y, además de esto, por el tiempo transcurrido de inactividad es más que probable que el robot haya perdido sus configuraciones de fábrica y se haya comprometido el software de programación.



Figura 2: Parte de las conexiones perdidas en la unidad de control y en el subsistema de energía del robot KUKA KR180 R3200 PA.

Fuente: Alenza, M. (2022).

Entre los problemas encontrados, se podría decir que el de mayor importancia es el de la pérdida de la conexión de la interfaz de seguridad, debido a que la celda constaba de diversos protocolos de seguridad para manejar paradas de emergencia externas y un sistema de seguridad en la puerta de la celda que solo pueden ser administrados y puestos en operación con el restablecimiento de esta conexión principal. De no lograrse su restablecimiento, el robot podría operar con normalidad, pero se correría el riesgo de causar accidentes de cualquier tipo o poner en peligro al personal o a los profesionales que se vean involucrados con estas operaciones. Es por esto que dicha conexión resulta crucial para la reactivación de la celda.

Con este contexto ya establecido, y con vista en la nueva realidad instaurada, la empresa Neumática R desea que el Robot Industrial junto con su celda de trabajo retome sus operaciones. De esta manera, se plantea el presente proyecto para la reactivación de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 en la empresa Neumática R, enfocando su uso a las aplicaciones de paletizado y en busca de permitir que la empresa vuelva a hacer uso de estos recursos de los que dispone para el entrenamiento de profesionales en el área de robótica industrial.

1.1.2 Formulación del Problema

¿Qué acciones serán necesarias llevar a cabo para que la empresa Neumática R ofrezca nuevamente entrenamiento a profesionales del área de ingeniería con la celda de trabajo del robot KUKA KR180 R3200 PA?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

Reactivar la celda de trabajo del robot KUKA KR180 en la empresa Neumática R

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones actuales de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 mediante un diagnóstico de estado de sus partes.
- Restaurar la comunicación entre el robot, su unidad de control y su Teach Pendant (Smart Pad) mediante el restablecimiento de conexiones.
- Restablecer las configuraciones de fábrica del Robot Industrial KUKA KR180 para su correcta programación y manejo.
- Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de agarre por vacío OCTOPUS de Vuototecnica, que se usará como herramienta terminal.

1.3 Justificación de la Investigación

En primer lugar, tener a disposición una herramienta de gran magnitud y aplicabilidad como lo es un Robot Industrial y no poder hacer uso del mismo supone una gran pérdida para cualquier empresa. Es por esto que la principal motivación de esta investigación es la necesidad de la empresa Neumática R de reanudar las operaciones de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 del que disponen. Esto presentará un beneficio económico para la empresa ya que más adelante podrán hacer uso de estos recursos para reemprender en los cursos de capacitación profesional que solían ofrecer. Por esta razón, el proyecto queda justificado desde el ámbito financiero.

Referente al campo tecnológico, esta investigación representa un aporte importante ya que está envuelta en un campo profesional con mucha expectativa a nivel nacional e internacional como lo es la robótica industrial. Esta área de estudio viene desarrollándose los últimos años sobre todo a nivel nacional donde distintas empresas se han incursionado en la aplicación de robots en sus procesos productivos. En especial, el área de paletizado es la que más demanda tiene en lo que respecta a automatización sobre todo con Robots Industriales ya que, por una parte, el paletizado

es una tarea repetitiva y ardua para los humanos y, por otra parte, la robótica industrial es una tecnología que ofrece una gran fuerza de carga, ideal para suplir esta necesidad de la automatización de los procesos de paletizado en la industria.

También, desde el punto de vista social, este trabajo de investigación ofrece múltiples beneficios a distintos individuos. Empezando por los profesionales que en estos momentos no logran conseguir trabajos en sus respectivos campos de estudio, es necesario para ellos obtener conocimientos extra que les permitan ampliar su oferta laboral. Al reanudar los cursos de capacitación en la empresa Neumática R estos expertos podrán incursionarse en el área de robótica industrial con aplicación en los procesos de paletizado que, como se explicó anteriormente, es ampliamente solicitado nacional e internacionalmente, extendiendo así su propuesta profesional.

Siguiendo en el ámbito social y buscando además un enfoque académico, al reanudar las operaciones del Robot Industrial en la empresa Neumática R, esta última puede comenzar a establecer conexiones con distintas universidades de manera que la empresa preste sus instalaciones y servicios a estudiantes de educación superior para una mayor capacitación, de forma que los futuros profesionales ganen un nivel más alto de preparación en su área de estudio. En concreto, las universidades con las que se podrían hacer estos acuerdos son la Universidad José Antonio Páez, la Universidad Arturo Michelena y la Universidad de Carabobo, ya que en primera instancia se encuentran dentro del área cercana a la empresa Neumática R y, conformando un punto más importante, estas universidades ofrecen carreras afines al entorno de la robótica industrial tal como la ingeniería electrónica, ingeniería mecatrónica, ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica.

Por último, también de manera académica, este proyecto representará un antecedente de valor para próximos estudios que se deseen realizar tanto en la empresa Neumática R, en otras empresas con Robots Industriales o para investigadores independientes que se incursionen en este campo. Referente a la empresa Neumática R, este trabajo será un aporte importante para futuros proyectos relacionados con la celda de trabajo del Robot Industrial KUKA, ya sea que se deseen desarrollar mejoras a la celda, o por si llegase a presentarse una situación similar a la actual. Por su parte, en relación a otras empresas e investigadores, el presente trabajo será de ayuda para aquellas investigaciones que aborden temáticas o situaciones similares.

1.4 Alcance y Limitaciones

Como parte del alcance de la investigación se tiene lo siguiente:

- El diagnóstico inicial que será realizado a la celda de trabajo del robot KUKA KR180 involucra la revisión de conexiones faltantes, partes visiblemente dañadas y en general todas las comunicaciones que deben existir para la óptima operación del Robot Industrial.
- Con el diagnóstico como respaldo, se restaurarán aquellas conexiones necesarias para lograr una comunicación exitosa entre el Robot Industrial, su unidad de control y su Teach Pendant.
- Se restablecerán las configuraciones de fábrica del Robot Industrial, perdidas por la inactividad del mismo, teniendo como apoyo los manuales desarrollados por el fabricante del robot, KUKA. Estos manuales se tienen a disposición en la empresa Neumática R.
- Finalmente se desarrollarán pruebas con la herramienta terminal de agarre por vacío OCTOPUS de la marca Vuototecnica, disponible en la celda de trabajo de la empresa Neumática R, de manera que se asegure el buen funcionamiento de la misma dentro de los parámetros relativos en aplicaciones de paletizado.

Por su parte, también se delimitan los siguientes lineamientos quedando fuera del alcance de la investigación:

- No se contempla dentro del presente proyecto el restablecimiento de la operabilidad del robot KUKA KR180, sino de los sistemas que forman parte de la celda de trabajo y que garantizarán su correcto funcionamiento en el futuro.
- El reemplazo de partes electrónicas o mecánicas propias del Robot Industrial o de su unidad de control, cuyo reemplazo se revele necesario para su funcionamiento, no forma parte del presente trabajo.

Además, se tiene como única limitación de la investigación que se presenta una limitación de espacio en el lugar donde se encuentra la celda de trabajo del robot KUKA KR180 por lo que la distribución relativa de mobiliario y dispositivos dentro de la misma se adaptará al espacio disponible. Si bien esto no impide el cumplimiento de los objetivos, es una consideración a tener en cuenta en el desarrollo de este proyecto y se incluye, por tanto, en esta sección.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Según Arias (2012) el marco teórico o marco referencial “es el producto de la revisión documental–bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar” (p. 106).

2.1. Antecedentes

Por su parte, Arias (2012) afirma que “Los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones” (p. 106). Estos antecedentes vienen representados por investigaciones que sean similares ya sea en el área de estudio, objetivos de la investigación o en las variables que se manejan. Además, estos antecedentes son usados como guía por el investigador para realizar su propio trabajo de investigación. Con esto como sustento, se presentan a continuación los antecedentes de la investigación presentando casos similares al que es objeto de estudio de este proyecto y englobando temas comunes como la robótica industrial y el paletizado.

Como antecedentes internacionales se tiene en primer lugar el trabajo de García (2020) que lleva por título “**Diseño y desarrollo de una celda de paletizado con un robot cartesiano controlado con KEBA**”. Presentado en la Universidad Politécnica de Valencia en España para optar por el título profesional en ingeniería electrónica industrial y automática. Investigación dirigida a la automatización del proceso de paletizado de cajas de bollería industrial congelada implementando una celda con un único palé, proporcionado de manera manual por un operario, y un robot cartesiano de 3 ejes X, Y Z. El control fue realizado a través de electrónica Keba, la cual se encarga tanto de los movimientos del robot, como de la gestión del resto de elementos que forman la celda. Además, se desarrolla una interfaz humano-máquina (HMI) para facilitar la interacción entre el operario y el sistema de automatización.

Desde el punto de vista metodológico, éste fue un proyecto de tipo campo, modalidad proyecto factible, presentando una tendencia satisfactoria, al cumplir con las demandas del cliente, que incluían un espacio delimitado para la celda, uso de dos tamaños diferentes de palés y tiempos del cumplimiento de la tarea específicos. Este trabajo representa un antecedente importante para la investigación actual ya que sirve de referente en una de las metodologías usadas en aplicaciones

de Robots Industriales para paletizado, siendo en este caso un proceso semiautomático, ya que aún se necesita de un operario humano para posicionar los palés manualmente en la celda. Así mismo, queda expuesta la relación entre ambos trabajos en la utilización de Robots Industriales, celdas de trabajo y en la aplicación de paletizado que envuelve a los proyectos.

Por su parte, Castillo (2020) presentó la investigación **“Diseño de un proceso de paletizado mediante procesamiento de imágenes manipulado por el robot industrial KUKA, en la empresa Abiexsa, Puente Piedra, año 2019”**. Fue presentado para la obtención del título profesional de ingeniero mecatrónico en la Universidad Tecnológica del Perú en Lima. Este proyecto realiza la convergencia de procesamiento de imágenes, robótica industrial y comunicación industrial para el paletizado de cajas en una planta industrial, utiliza el procesamiento de imágenes para la adquisición de imágenes, la comunicación máquina-robot, que designa hacia que palé se trasladará la caja, se realiza el diseño del efector final para las dimensiones de las cajas, con una pinza neumática por su eficiencia en la industria. Además de los análisis y diseños de cada parte del sistema de paletizado, se realiza la selección de los componentes que mejor se ajusten a los diseños y se desarrolla la seguridad de instalación de los componentes.

Su investigación de tipo proyecto factible, le permitió obtener un diseño funcional cuyo procesamiento de imágenes presenta un desempeño óptimo, aunque dependiente de la iluminación del ambiente. La relación entre el trabajo de Castillo y el actual es la similitud de circunstancias. Por un lado, el uso de Robots Industriales del mismo fabricante, ambos siendo manipuladores de KUKA del modelo KR, siendo el de la investigación de Castillo un KR40 y el propio un KR180, destacando de esto que el robot que es objetivo de esta investigación presenta mayor capacidad de carga. Además de esto se tiene el ambiente en que se desarrolla, en una empresa específica y rodeado de una celda robotizada especializada para el área de paletizado. De manera similar, en este proyecto se buscan las aplicaciones de paletizado con herramientas neumáticas dentro de una celda de trabajo dispuesta para este fin enfocada al ambiente industrial.

De manera nacional, Cardozo, Chávez y Suárez (2019) presentaron un trabajo que lleva por título **“Robot Despaletizador para Línea de Producción”**, el cual fue propuesto para optar por el título de ingenieros en electrónica mención: automatización y control en la Universidad Rafael Bellosó Chacín en Zulia, Venezuela. Este proyecto fue destinado al diseño e implementación de un robot despaletizador prototipo con materiales de fácil adquisición en el

mercado. Este diseño se enfoca en el proceso de despaletizado, es decir, descargar la mercancía de un palé para su posterior procesamiento en líneas de producción.

La investigación presentada por estos autores fue de tipo proyecto factible, diseño de campo y nivel descriptivo; obteniendo resultados satisfactorios en cada una de sus fases y logrando el funcionamiento adecuado del prototipo, que se visualiza cuando este despaletiza las cajas elaboradas a escala. Dicha investigación es de gran aporte al presente proyecto no solo por el área de investigación en común, sino también gracias a la estructuración de sus procesos, debido a que estos están descritos a detalle y por gran cantidad de fases de manera que son de fácil comprensión para cualquier lector. Cada una de estas fases da conocimientos sobre el funcionamiento básico de un robot despaletizador, algo fácilmente asociable con el comportamiento de un robot paletizador y, por lo tanto, sirviendo de ejemplo para el desarrollo de las fases finales de la presente investigación.

Nuevamente de manera internacional, Royo (2018) realizó el proyecto “**Esquemático eléctrico y programación de robot Yaskawa MOTOMAN MPL80II**”. Éste fue expuesto para la obtención del grado en ingeniería electrónica industrial y automática en la Universidad Carlos III de Madrid, España. En este proyecto se ha desarrollado la automatización del área de paletizado de una empresa productora de hielo donde se hacía esta tarea de manera manual. El autor se encargó del acondicionamiento del área de paletizado ya disponible en la empresa, para la seguida instalación del robot industrial Yaskawa acompañado de cintas transportadoras y mesas de rodillos. Realizó además la programación de toda la lógica del funcionamiento del robot.

Con una investigación de tipo proyecto factible, diseño de campo, se mostró como resultados una satisfactoria automatización del proceso de paletizado de bolsas de hielo en la empresa interesada, contando por uno de los lados de la sala dedicada con una mesa con los palés vacíos suministrados por un sistema automatizado, frente a los palés se construyó un sistema de cintas transportadoras y mesas de rodillos por donde se recibirían las bolsas de hielo que se hubieran producido con anterioridad para pasar a paletizarlas para su posterior colocación en el camión de transporte o en los almacenes. Todo esto permitiendo obtener el beneficio deseado y satisfaciendo todas las peticiones iniciales que recibieron por parte del cliente.

La investigación de Royo tiene relación con el presente proyecto en la realización de una disposición de una celda robotizada con un manipulador industrial en el área de paletizado, aspecto compartido en ambas investigaciones. También se cuenta en específico con una mesa de rodillos

en la celda de trabajo de la investigación actual, haciendo que el proyecto de Royo sea un ejemplo idóneo de cómo éstas son utilizadas en el área de paletizado.

Por último, de manera local, Castillo y Rodríguez (2017) desarrollaron una investigación titulada **“Incorporación de Señales Digitales Provenientes de Sensores de Presencia, Proximidad y Distancia en una Celda Robotizada con Fines de Entrenamiento y Capacitación”**. Presentado para optar por el título profesional de ingeniero electricista para la Universidad de Carabobo, Venezuela. Estudio enfocado en la realización de una mejora en las instalaciones de la empresa Neumática R para brindar mayor amplitud a la formación de los profesionales fomentando el aprendizaje y capacitación de personal en las áreas de automatización y robótica industrial.

Los autores presentaron un trabajo de investigación de campo, proyecto factible y documental, logrando exitosamente las mejoras de sensores de presencia, proximidad y distancia propuestas en las instalaciones de la empresa Neumática R. La investigación de Castillo y Rodríguez tiene relación con el presente proyecto no solo en el área de estudio englobando la robótica y automatización industrial, sino que, además, al ser un trabajo desarrollado en la misma empresa y en la misma celda robotizada, representa en sí un antecedente directo de esta investigación.

2.2. Bases Teóricas

De acuerdo a Arias (2012) las bases teóricas “implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado” (p. 107). En otras palabras, las bases teóricas muestran todos los conceptos que dan sentido y soporte a la investigación. Estas definiciones sustentan el estudio a la vez que explican todo lo que es necesario saber para entenderlo. Considerando lo anterior, se presentan los principales conceptos que rodean el presente trabajo de investigación indagando en cada una de las áreas que aborda la investigación.

2.2.1. Robótica

La robótica es un área tecnológica que combina distintas ciencias para diseñar, construir, programar, aplicar y operar robots, entendiéndose estos como estructuras mecánicas poli articuladas capaces de desarrollar diferentes tareas que pueden resultar arduas, repetitivas o peligrosas para el ser humano. Entre las disciplinas que engloba la robótica se encuentran el álgebra, la mecánica, la electrónica, la informática, la ingeniería de control y la física, además de

áreas como las máquinas de estados, inteligencia artificial, los autómatas programables y la animatrónica.

2.2.2. Concepción filosófica de la robótica

Isaac Asimov, un escritor estadounidense apasionado por la robótica, expresó en sus relatos tres leyes de la robótica por las cuales debía regirse todo robot. Estas son de manera jerárquica:

- Primera Ley. Ningún robot hará daño a un ser humano o permitirá por inacción que un ser humano sufra daños.
- Segunda Ley. Todo robot deberá obedecer las órdenes que le sean impartidas por un ser humano, excepto en los casos en que dichas órdenes contradigan la Primera Ley.
- Tercera Ley. Todo robot deberá velar por la preservación de su existencia, excepto en los casos en que ello contradiga lo establecido en la Primera y/o la Segunda Ley.

Posteriormente, en su novela *Robots e Imperio* (1985), Asimov añadió la “Ley cero” con prioridad absoluta sobre las otras tres, que expresa que “Un robot no hará daño a la humanidad o permitirá por inacción que la humanidad sufra daños”.

Mas allá de ser obra de la ficción, estas leyes expresadas en la literatura de Asimov son usadas hoy en día por los profesionales en el área como referentes del comportamiento que deben llevar los robots que pueden actuar autónomamente y poseen cierto grado de inteligencia.

2.2.3. Tipos de robots

2.2.3.1. Según su estructura

- Robots Poliarticulados: Tienen una posición estática y su estructura está ideada para mover solo sus elementos terminales, en espacios de trabajo limitados y con un reducido nivel de libertad y autonomía.
- Robots Móviles: Estos son máquinas automáticas de gran facultad de desplazamiento, capaces de desarrollar actividades y trasladarse con autonomía en diferentes lugares.
- Robots antropomórficos: Caracterizados por imitar la forma y comportamiento humano.
- Robots zoomórficos: Caracterizados por imitar la forma y comportamiento de animales no humanos.
- Robots Híbridos: Combinación de las categorías anteriores.

2.2.3.2. Según su generación

- Robots de Primera Generación: Aquellos donde el factor mecánico es la prioridad, son de manipulación, de fácil control y con secuencias fijas o variables. Presentan limitaciones en la cantidad de movimientos que pueden realizar. Tuvieron su auge en los años 50.
- Robots de Segunda Generación: Son denominados robots de aprendizaje. Estos robots repiten una sucesión de movimientos previamente determinada y ejecutada por un operador humano. Son capaces de realizar secuencias más complejas y la cantidad de movimientos es mucho mayor. Su auge tuvo lugar en los años 80.
- Robots de Tercera Generación: Son los llamados robots con control sensorizado. Estos responden a los comandos de un programa enviado al manipulador y ejecutan las órdenes y movimientos descritos en el programa. Como su nombre lo sugiere, están dotados de sensores que les dan cierta percepción de su entorno. Se ubican cronológicamente entre los años 80 y 90.
- Robots de Cuarta Generación: También denominados robots inteligentes, estos cuentan con sensores mucho más avanzados y especializados de manera que estos robots captan información de su entorno y son capaces de aprender de ella. Se vienen desarrollando desde los primeros años del siglo XXI.
- Robots de Quinta Generación: Estos están siendo desarrollados en la actualidad y buscan incorporar niveles más avanzados de inteligencia artificial, con modelos de conducta contemporáneos. Incorporan biotecnología y nanotecnología buscando una semejanza con el ser humano.

2.2.3.3. Según su funcionalidad

- Robot industrial: Constituidos de brazos mecánicos o poliarticulados con distintos ejes de movimiento, los cuales pueden ser móviles o fijos.
- Robot de servicios: Son los robots que interactúan con los humanos y pueden ser del tipo humanoide, zoomórficos o móviles. Están destinados a sectores como la salud, el ocio, la defensa militar, entre otros.
- Nanorobots: Son robots de dimensiones reducidas que fueron creados para realizar funciones científicas.

2.2.4. Robot Industrial

Según la Organización Internacional de Estándares (ISO) en su norma ISO 8373:2012 sobre los robots y componentes robóticos, un robot industrial se define como “un sistema

controlado automáticamente, programado en tres o más ejes, que puede ser estacionario o móvil, para su uso en aplicaciones de automatización industrial”. Un Robot Industrial (RI) entonces se refiere a un manipulador automático multifuncional y reprogramable, que posee ejes capaces de manejar materiales, objetos, herramientas y mecanismos especializados a través de operaciones programadas para la ejecución de una variedad de tareas. Los Robots Industriales son especiales para aplicaciones en cadenas de producción, su número de articulaciones varía desde tres hasta siete ejes de movimiento, y varían su composición según el modelo del fabricante y la función que vayan a cumplir. Además, los RI pueden incluir sensores de distintos tipos si la aplicación así lo requiere.

2.2.4.1. Estructura del Robot Industrial

La estructura mecánica del Robot Industrial puede ser tan variada como los fabricantes que los producen. Pero generalmente se pueden distinguir tres partes principales en un manipulador (ver figura 3):

- La base que soporta todo el peso del Robot Industrial.
- El cuerpo, también llamado cintura o tronco.
- El brazo, que se puede descomponer en hombro, brazo, codo, antebrazo, muñeca y mano. En esta última es donde se encuentra la herramienta terminal.

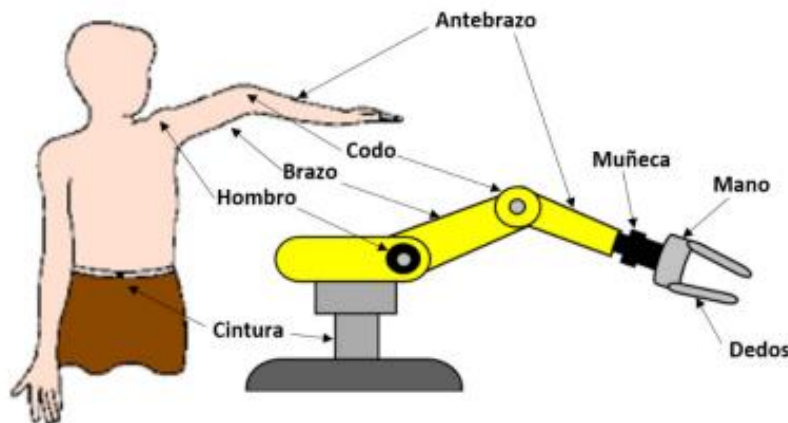


Figura 3: Estructura de un Robot Industrial.

Fuente: Dirección de Educación Técnica, Provincia de Buenos Aires (2020).

2.2.4.2. Cadena Cinemática

De manera general, la estructura de un RI está constituida por dos elementos esenciales, los eslabones y articulaciones. Los eslabones o enlaces son las partes rígidas que constituyen al Robot Industrial, mientras que estos se unen entre sí mediante las articulaciones o pares. La unión de varios eslabones y articulaciones se conoce como cadena cinemática (ver figura 4).

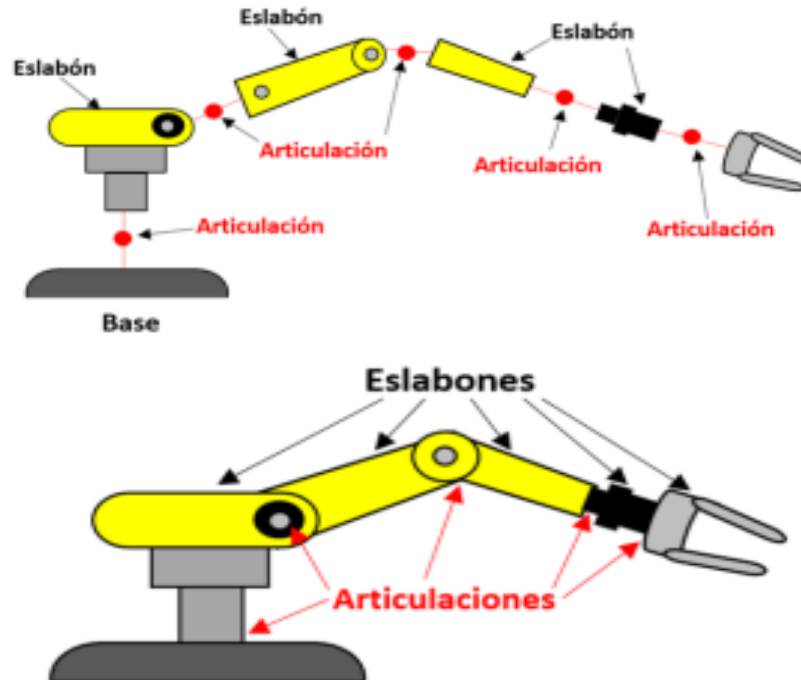


Figura 4: Distribución de eslabones y articulaciones de un Robot Industrial.

Fuente: Dirección de Educación Técnica, Provincia de Buenos Aires (2020).

Según la disposición eslabón-articulación, una cadena cinemática puede ser:

- Abierta o simple: Cuando cada eslabón se conecta mediante articulaciones exclusivamente al anterior y al siguiente excepto por el primero y el último, así como se observa en la figura 5.

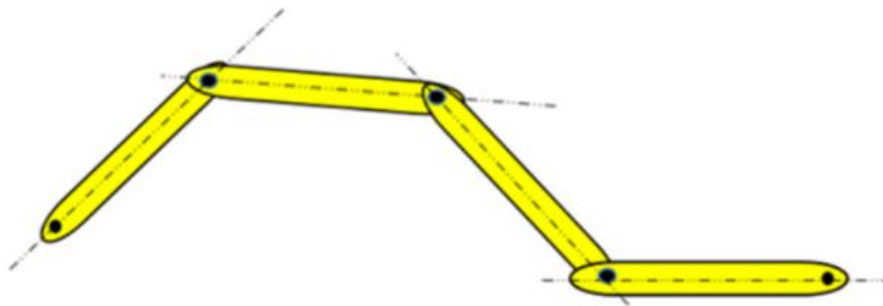


Figura 5: Cadena cinemática abierta o simple.

Fuente: Dirección de Educación Técnica, Provincia de Buenos Aires (2020).

- Cerrada o compleja: Tiene un nodo para el nacimiento de una o más ramificaciones y otro nodo donde se cierran las mismas (ver figura 6).

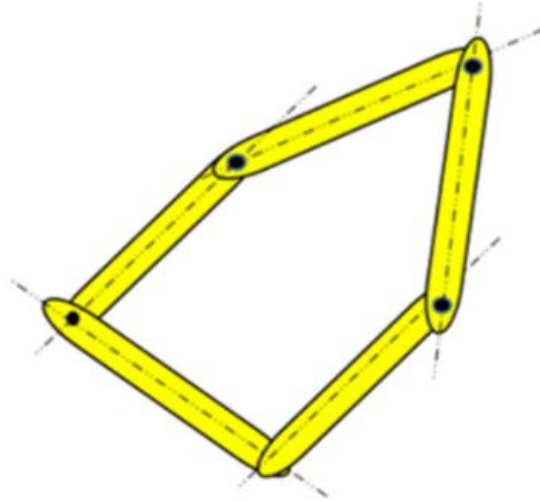


Figura 6: Cadena cinemática cerrada o compleja.

Fuente: Dirección de Educación Técnica, Provincia de Buenos Aires (2020).

- Arborescente: Incluyen una articulación que sirve como nodo para el nacimiento de una o más ramificaciones abiertas, como se muestra en la figura 7.

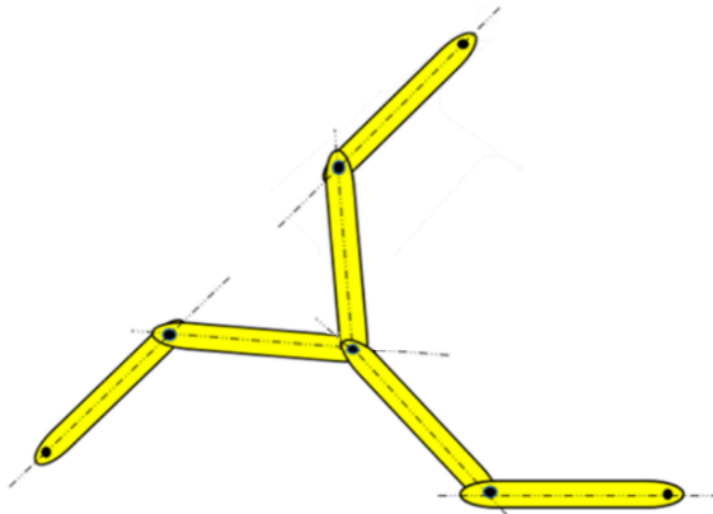


Figura 7: Cadena cinemática arborescente.

Fuente: Dirección de Educación Técnica, Provincia de Buenos Aires (2020).

2.2.4.3. Tipos de articulaciones

Por su parte, las articulaciones pueden ser de dos tipos:

- Lineales: También llamadas prismáticas o deslizantes, son aquellas que deslizan un eslabón sobre un eje adyacente al eslabón anterior.
- Rotacional: También llamada giratoria, en éstas el eslabón gira sobre un eje adyacente al eslabón anterior.

2.2.4.4. Elemento terminal

Para hablar ahora del extremo final de la cadena cinemática, lo que se llamó con anterioridad la “mano” del Robot Industrial, a este se pueden conectar distintas herramientas dependiendo de la implementación que se quiera dar al RI. Seguido a esto se presentan algunas categorías que, a grandes rasgos, describen los distintos tipos de elementos terminales que existen.

- Elementos para aprehensión: Aquí se incluyen todos los elementos para sujeción de objetos, por ejemplo, pinzas, garras, tridentes, ventosas, magnetos, ganchos, de succión o vacío, etc.
- Herramientas: Estas son aquellas que por sí mismas realizan algún tipo de tarea independiente. Las más comunes son electrodos o sopletes, atornilladores, fresas o lijas, pistolas neumáticas, cañones laser o de agua a presión, etc.

2.2.5. Configuraciones morfológicas de un Robot Industrial

Las distintas configuraciones de articulaciones en un Robot Industrial dan como resultado distintas configuraciones morfológicas de los mismos. Se suelen usar las primeras tres articulaciones del robot para caracterizarlo y clasificarlos en grupos bien diferenciados. No todas las configuraciones posibles son realmente útiles en el área industrial, así como también existen configuraciones con más rango de aplicación que otras. Las morfologías de Robots Industriales más comunes en la industria son las siguientes.

- Cartesiano: Este tipo de manipulador se caracteriza por tener tres articulaciones prismáticas consecutivas, que permiten en movimiento en los ejes X, Y y Z (ver figura 8a).
- Cilíndrico: Compuesto por una articulación rotacional seguida de dos prismáticas, esto le permite un primer giro sobre su base y movimientos secundarios en los ejes Z e Y, como se puede apreciar en la figura 8b.
- Esférico o Polar: Compuesto por dos articulaciones rotacionales perpendiculares seguidas de una articulación prismática. La primera articulación proporciona un giro en la base, la segunda ajusta la altura del brazo y la tercera permite movimientos en el eje Y (ver figura 8c).
- SCARA: Compuesto de dos articulaciones rotatorias paralelas que permiten buen posicionamiento en el plano X-Y seguidas de una articulación prismática para movimientos en el eje Z, como se observa en la figura 8d.
- Angular o Antropomórfico: Constituido por tres articulaciones giratorias, este simula los movimientos que realiza el brazo humano, representando las articulaciones a la cadera, hombro y codo (ver figura 8e).

- Paralelo o Delta: Constituidos por brazos en paralelo con articulaciones prismáticas o rotatorias concurrentes y destacan por su velocidad, tal como se distingue en la figura 8f.

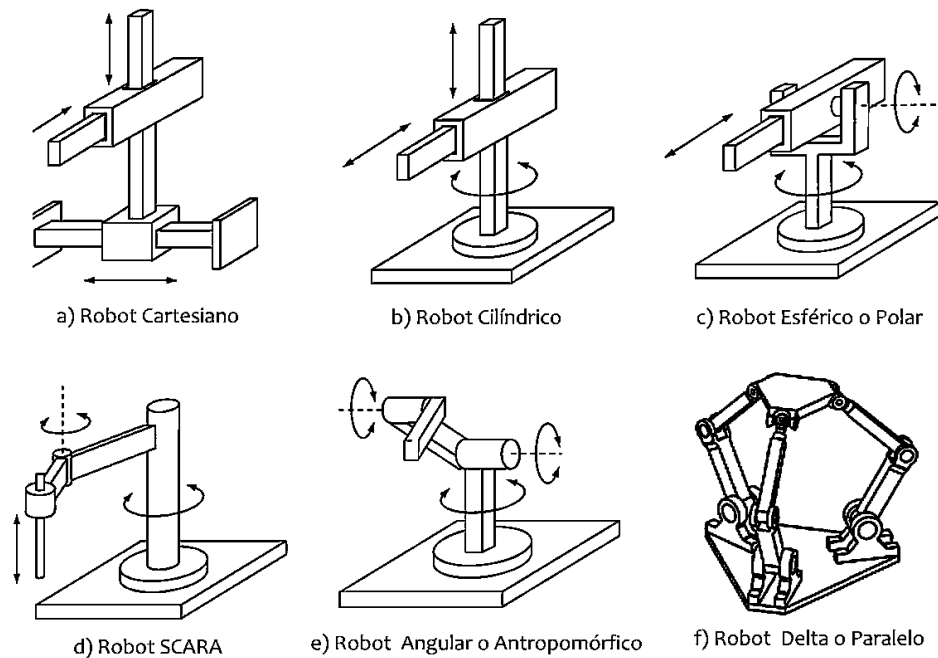


Figura 8: Configuraciones morfológicas de un Robot Industrial.

Fuente: Dirección de Educación Técnica, Provincia de Buenos Aires (2020).

2.2.6. Área de trabajo del Robot Industrial

El área de trabajo de un Robot Industrial se refiere al espacio en el cual él puede tener influencia, dicho de otro modo, es el campo al cual tiene acceso el robot. Esta área de trabajo delimita los lugares a los que el RI puede llegar y los lugares a los que no, y depende de la configuración morfológica del robot.

2.2.7. Lenguaje de programación en Robots Industriales

Un lenguaje de programación se refiere a un lenguaje que permite la comunicación entre el programador y la máquina que se está programando. Mediante los lenguajes de programación se les puede indicar a las máquinas las tareas que deben realizar y el lenguaje se encarga de traducir las instrucciones a un lenguaje que la máquina pueda entender y ejecutar. En el caso de los Robots Industriales se utiliza un tipo de lenguaje de programación llamado lenguaje interpretado, este tiene la particularidad de que convierte su lenguaje al de la máquina a medida que se ejecuta el código de instrucciones.

En el mundo de la robótica no hay ningún lenguaje de programación estándar definido, son los mismos fabricantes de Robots Industriales los que desarrollan sus propios lenguajes de

programación que pueden o no compartir similitudes entre ellos. De manera general, se pueden destacar los lenguajes de tipo lista de instrucciones y de símbolos como los más utilizados en Robots Industriales. La lista de instrucciones se refiere a código de tipo texto, se escriben en orden una serie de comandos que luego realizará el RI. La manera en que dichos comandos se expresan viene definida por el fabricante en sus manuales de programación. Por su parte, el lenguaje de símbolos funciona de manera similar a la lista de instrucciones con la diferencia que los comandos no son escritos a texto, sino que son seleccionados de un conjunto de símbolos que proporciona el software de programación del Robot Industrial.

2.3. Bases Legales

Según Villafranca D. (2002) “Las bases legales no son más que las leyes que sustentan de forma legal el desarrollo del proyecto. Son leyes, reglamentos y normas necesarias en algunas investigaciones cuyo tema así lo amerite”. En el caso de la robótica industrial, no se tienen muchas normas para su regulación a nivel nacional, sin embargo, muchas empresas recurren en estos casos a las normas internacionales. En concreto se pueden resaltar las normas IEC y las normas ISO. La empresa KUKA Roboter, fabricante del Robot Industrial KUKA KR180 que es objeto de estudio, proporciona en el manual de dicho robot todas las normas y regulaciones que aplican para este manipulador en específico. A continuación, se transcriben y traducen todas éstas en forma de tabla con una breve descripción y la edición de la norma. Es importante destacar que estas normas son europeas e internacionales.

Tabla 1. Normas y regulaciones aplicadas al robot KUKA KR180.

Nombre	Descripción	Edición
2006/42/EC	Directiva de Maquinaria: Directiva 2006/42/EC del Parlamento Europeo y del Consejo del 17 de mayo de 2006 sobre maquinaria, y modificando la Directiva 95/16/EC.	2006
2004/108/EC	Directiva EMC: Directiva 2004/108/EC del Parlamento Europeo y del Consejo del 15 de diciembre de 2004 sobre la aproximación de las leyes de los Estados Miembros relacionadas con la compatibilidad electromagnética y derogando la Directiva 89/336/EEC.	2004
97/23/EC	Directiva de Equipos a Presión: Directiva 97/23/EC del Parlamento Europeo y del Consejo del 29 de mayo de 1997 sobre la aproximación de las leyes de los Estados Miembros sobre equipos a presión (solo aplicable para robots con sistema de contrapeso hidroneumático).	1997
EN ISO 13850	Seguridad de maquinaria: Parada de emergencia – Principios para diseño	2008
EN ISO 13849-1	Seguridad de maquinaria: Partes relacionadas con la seguridad de sistemas de control – Parte 1: Principios generales para diseño	2008
EN ISO 13849-2	Seguridad de maquinaria: Partes relacionadas con la seguridad de sistemas de control – Parte 2: Validación	2008
EN ISO 12100	Seguridad de maquinaria: Principios generales para diseño, evaluación y reducción de riesgos	2010
EN ISO 10218-1	Robots Industriales: Seguridad	2011
EN 614-1	Seguridad de maquinaria: Principios de diseño ergonómico – Parte 1: Términos y principios generales	2006
EN 61000-6-2	Compatibilidad electromagnética (EMC): Parte 6-2: Normas genéricas; Inmunidad para entornos industriales	2005
EN 61000-6-4	Compatibilidad electromagnética (EMC): Parte 6-4: Normas genéricas; Norma de emisión para entornos industriales	2007
EN 60204-1	Seguridad de maquinaria: Equipo eléctrico de máquinas – Parte 1: Requisitos generales	2006

Fuente: Manual KR QUANTEC KUKA Roboter (2020).

2.4. Definición de Términos

Automatización industrial: Utilización de sistemas mecánicos, electrónicos o una combinación de ambos para producir un comportamiento dinámico y controlado que permiten mantener la operación de la producción en determinado servicio, implicando la reducción del trabajo humano y la simplificación de los procesos de trabajo.

Capacidad de carga: Se refiere al peso máximo que puede soportar la herramienta terminal del Robot Industrial.

Celda de trabajo: Es un espacio usado para delimitar el área de trabajo de un manipulador industrial. Es usado como seguridad para los trabajadores humanos cuando los robots no tienen manera de pensar su entorno y por lo tanto no pueden detectar la presencia de otras personas en el área de trabajo.

Industria 4.0: Sinónimo de manufactura inteligente, es la transformación del campo empresarial en una organización digital e inteligente, que ofrece toma de decisiones en tiempo real, productividad mejorada, flexibilidad, agilidad, y en general mejores resultados de negocio.

Paletizado: Consiste en apilar mercancía sobre una estructura llamada palé y envolverla con plástico film especial para tal fin, de manera que se facilite su manipulación, almacenaje y transporte.

Palé: Plataforma de tablas de madera con dimensiones estandarizadas, usada para almacenar y transportar mercancías.

Pick and Place: Se utiliza para referir a las operaciones que implican recoger y colocar un objeto o pieza en los procesos de producción o dentro de las tareas realizadas en un taller. Algunos de los usos del pick and place son ordenar, seleccionar, paletizar y empaquetar un producto o pieza.

Sensores: Son dispositivos que detectan cambios en el entorno y responden con una salida. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible o en una señal digital, mostrado en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Palella y Martins (2012) definen el marco metodológico como “una guía procedimental, producto de la reflexión, que provee pautas lógicas generales pertinentes para desarrollar y coordinar operaciones destinadas a la consecución de objetivos intelectuales o materiales del modo más eficaz posible” (p. 79). De esta manera, este capítulo expone todos los aspectos del método, el cómo se llevarán a cabo los distintos procedimientos que componen la investigación, tomando en consideración las definiciones previas referentes al tipo, diseño y nivel de la investigación, así como a quienes va dirigida la misma.

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación según Palella y Martins (2012) “se refiere a la clase de estudio que se va a realizar. Orienta sobre la finalidad del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios” (p. 88). En este sentido, este proyecto entra en la categoría de proyecto factible, ya que, según lo definen Palella y Martins (2012), “consiste en elaborar una propuesta viable destinada a atender necesidades específicas, determinadas a partir de una base diagnóstica” (p. 97). En el presente trabajo, se busca atender la necesidad principal de la empresa Neumática R que es la reactivación de la celda robotizada que disponen a partir del diagnóstico de estado actual del Robot Industrial y su espacio de trabajo, siendo por lo tanto un proyecto factible.

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es definido por Palella y Martins (2012) como “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio” (p. 86). Por su parte, Palella y Martins (2012) también exponen que la investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variables” (p. 88) y a su vez describen la investigación documental como “fundamentada en la revisión sistemática, rigurosa y profunda de material documental de cualquier clase” (p. 87). En esta investigación los datos son obtenidos de dos fuentes: directamente de una realidad establecida que es, en este caso, la empresa Neumática R; y de manuales, foros y otras fuentes de documentación. Además, dichos datos son extraídos sin manipulación alguna de los

factores involucrados. Es por esto que el presente trabajo de investigación se considera documental y de campo.

3.3. Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación, tal como lo plantea Arias (2012), se refiere “al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno” (p. 23). También Arias describe que el nivel descriptivo “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p. 24). Esta definición coincide con lo que se realiza en este proyecto, pues se busca la caracterización de la problemática presente en la empresa Neumática R, estableciendo las pautas que se observan en el Robot Industrial y en su celda de trabajo. Agregando a lo anterior, en las investigaciones de nivel descriptivo, los resultados obtenidos presentan una profundidad de conocimientos de rango intermedio, lo cual concuerda con los trabajos de investigación que se desarrollan en un nivel de estudio de pregrado.

3.4. Población y Muestra

Palella y Martins (2012) describen la población de una investigación como “el conjunto de unidades de las que se desea obtener información y sobre las que se van a generar conclusiones” (p. 105). Para el caso de la presente investigación la población viene representada por la celda de trabajo del robot KUKA KR180 ubicada en la empresa Neumática R C. A., ya que es aquí donde se obtendrá toda la información referente al Robot Industrial y su espacio de trabajo en la situación actual.

Por su parte la muestra, según Palella y Martins (2012), es “una parte representativa de una población, cuyas características reproduce de la manera más exacta posible” (p. 106). En el caso de la investigación actual, por la naturaleza de la población, se tomará una muestra de tipo censal definida por Ramírez (2012) como “aquella muestra donde todas las unidades de investigación son consideradas como muestra” (p. 75). La muestra de este proyecto estará representada por el producto mismo que es objeto de estudio, es decir, la celda de trabajo del Robot Industrial KUKA KR180, ya que es ésta la que representa a la problemática en sí y de la cual se obtendrá información acerca de la misma.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Como lo describen Palella y Martins (2012), las técnicas de recolección de datos “son las distintas formas o maneras de obtener la información” (p. 115). Para la obtención de información en esta investigación se usarán tres técnicas principales:

1. Revisión documental, es cuando la información es obtenida mediante las observaciones realizadas previamente por otra persona, esto es, mediante el uso de libros, informes, revistas, videos o fotografías que tengan relación con la investigación que se realiza, estos recursos habiendo sido obtenidos o elaborados por personas que antes se ocuparon de lo mismo.
2. Observación directa, esta tiene que ver con la realizada por el propio investigador, una observación personal del fenómeno a investigar. En este caso se hace uso de esta técnica ya que debe tenerse un contacto directo con la problemática, es decir, la celda de trabajo del Robot Industrial.
3. Entrevista estructurada, la entrevista permite obtener información a través del diálogo directo entre dos personas, entre el investigador y la persona de la que se quiere obtener información. En esta investigación se aplicarán entrevistas estructuradas al técnico encargado del Robot Industrial y al dueño de la empresa Neumática R.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Sabino (1992) define los instrumentos de recolección de datos como “cualquier recurso del que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información” (p. 149). Estos son entonces los elementos que se usarán para recolectar la información de la investigación. Los instrumentos usados en el presente trabajo son:

1. Guion de entrevista. Como se mencionó en la sección anterior se realizará una entrevista estructurada. La distinción de “estructurada” tiene que ver con que se realizará un guion para la aplicación de la entrevista de manera que se lleve un control sobre las preguntas a formular, obteniendo así la información específica acerca de los temas necesarios. Por esta última razón, también se puede decir que será una entrevista focalizada.
2. Manuales técnicos, un manual técnico es un libro o folleto que recopila aspectos básicos sobre el funcionamiento y estructura de algún aparato o dispositivo. En esta investigación se hará uso de los distintos manuales del robot KUKA KR180 que dispone la empresa Neumática R.

3. Además, se hará uso de un computador para acceder a otros recursos como sitios web, libros y videos para obtener información referente al robot, a su unidad de control y alguna otra información que sea pertinente.

3.6. Técnicas de Análisis de Resultados

Una vez obtenidos los datos, se van a organizar y presentarse con un diagrama de causa y efecto. Este diagrama, también llamado diagrama Ishikawa por su creador, es una representación gráfica de diversos factores presentes en un sistema o proceso que pueden aportar a determinada situación. El diagrama de causa y efecto se utiliza para conocer las posibles causas de un problema específico. Con ayuda de este diagrama y con los distintos aspectos presentes en la celda robotizada de la empresa Neumática R se organizarán estos datos de manera que se pueda tener una visión más clara sobre las causas que originaron la desactivación de la celda robotizada del Robot Industrial.

Una vez utilizados y analizados los datos recolectados de manera pertinente se procede a obtener y analizar los resultados. En el caso de la presente investigación, se realizará un análisis lógico de los resultados. Según Palella y Martins (2012, p. 183) esta técnica consiste en tres aspectos:

- **Inducción:** Este permite extraer conclusiones generales de los hechos o situaciones particulares. Opera de lo particular a lo general.
- **Deducción:** Es inverso a la inducción, este permite extraer conclusiones particulares de los hechos o situaciones generales. Opera de lo general a lo particular.
- **Generalización:** Consiste en una idea o juicio general válido para una población determinada que posee características comunes.

Los dos primeros aspectos serán aplicados a cada una de las fases que se plantean para la investigación, de manera que se determine si las acciones llevadas a cabo en cada una de las fases fueron las correctas y si se logró cumplir con el objetivo asociado a dicha fase. El tercer aspecto será a modo de conclusión, una recopilación de los aspectos más generales obtenidos del proyecto y como estos podrían ser aplicados en situaciones similares en la propia empresa o en otros lugares con situaciones similares. También en el análisis de resultados, no será posible hacer un análisis de frecuencias de ninguna índole, ya que los resultados en este caso son únicos para la situación.

3.7. Fases Metodológicas

Fase I: Determinación de las condiciones actuales de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 mediante un diagnóstico de estado de sus partes.

En esta fase se realizará el diagnóstico de cada una de las partes de la celda del robot KUKA KR180, enfocándose en las conexiones entre el robot, su unidad de control y su Teach Pendant (Smart Pad), y en la herramienta terminal del robot especializada para aplicaciones de paletizado. Mediante la observación directa se hará una búsqueda de conexiones faltantes y de algún indicio físico de que alguna de las partes presente algún defecto o daño. Además, se realizarán entrevistas estructuradas al técnico encargado del robot en la empresa Neumática R y al dueño de la misma empresa. Con estas entrevistas, se pretenden obtener más detalles acerca de la situación de operabilidad del Robot Industrial, la unidad de control y todas las partes que lo componen, así como también conocer las condiciones de operabilidad que solía tener la celda robotizada antes de su forzosa desactivación.

Fase II: Restauración de la comunicación entre el robot, su unidad de control y su Teach Pendant (Smart Pad) mediante el restablecimiento de conexiones.

Una vez realizado el diagnóstico de partes de la fase 1, en esta fase se restaurarán todas las conexiones faltantes que se hayan encontrado en la fase anterior, así como también se repararán otras conexiones que se hayan identificado en estado de deterioro o aquellas que se vea necesario fortalecer. Una vez completada esta tarea, se procederá a hacer prueba de las conexiones, comprobando que todas se hayan restaurado correctamente y, de no ser así, volver a hacer un refuerzo de cada una hasta que se compruebe la buena operación de las mismas.

Fase III: Restablecimiento de las configuraciones de fábrica del robot industrial KUKA KR180 para su correcta programación y manejo.

Con todas las conexiones necesarias en condiciones óptimas, es necesario también hacer un diagnóstico del software de programación del Robot Industrial. Por el tiempo que ha permanecido inactivo es más que probable que las configuraciones de fábrica se hayan perdido. Es por esto que, de ser necesario, en esta fase se restablecerán todas aquellas configuraciones necesarias para el correcto manejo y programación del robot. Se hará uso de la revisión documental, teniendo como principal material de apoyo a los manuales de programación y software del robot KUKA KR180, para reconfigurar todos los ajustes necesarios para el correcto funcionamiento del manipulador. En específico, en esta fase se revisarán todos los detalles que

respectan al software de programación, que dará indicios de configuraciones erróneas y problemas generales que estén impidiendo la emisión de comandos hacia el Robot Industrial.

Fase IV: Comprobación del correcto funcionamiento del sistema de agarre por vacío OCTOPUS de Vuototecnica, que se usará como herramienta terminal.

Finalmente, con todas las conexiones y comunicaciones puestas en marcha y con el software de programación bien configurado, restará comprobar el buen funcionamiento de la herramienta terminal de agarre disponible en la celda robotizada del Robot Industrial. Esta herramienta se basa en un sistema de succión tipo generador de vacío llamado OCTOPUS, desarrollado por la empresa Vuototecnica. Así mismo, la herramienta forma parte esencial de los implementos de la celda robotizada, y es imperativo que esté operativa junto con los demás elementos de la celda para dar conclusión a la rehabilitación de los sistemas de la misma. En esta fase se comprobará que los niveles de presión de vacío en la herramienta sean los adecuados, además de realizar pruebas de agarre con la herramienta y cajas de distintos tamaños y pesos.

3.8. Validez de la Investigación

Según lo que señalan Goetz y LeCompte (1988) la confiabilidad “representa el nivel de concordancia interpretativa entre diferentes observaciones, evaluadores o jueces del mismo fenómeno”. En este sentido, una investigación se vuelve confiable cuando la información contenida en ella es verídica, verificable y pertinente. Siguiendo con esta idea, la investigación actual se consolida como confiable en primer lugar porque todo el contenido englobado en esta ha sido obtenido de fuentes confiables, ya sean libros, expertos en el tema y páginas web de confianza, teniendo todos éstos información fácilmente verificable.

En segundo lugar, y con respecto a los instrumentos de recolección de datos, los mismos han sido revisados y verificados por un conjunto de expertos de la Universidad José Antonio Páez, lo cual asegura su eficacia y pertinencia para la investigación. Además, toda la investigación ha sido observada y corregida tanto en el área metodológica como en la académica, asegurando que no solo se proporciona información de importancia para el trabajo, sino que se expone de la mejor manera posible.

3.9. Cuadro de Operacionalización de Variables

Arias (2012) define la operacionalización de variables como un tecnicismo que: “se emplea para designar al proceso mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles, es decir, dimensiones e indicadores” (p. 62).

Pertinente a esta operacionalización, se resalta que solo se realizó usando de recurso el primer objetivo específico de la investigación. Esto se debe a que, por una parte, es el único objetivo independiente de los demás y, por otra parte, es el objetivo donde se obtendrá la mayor cantidad de información, siendo ésta usada después para el desarrollo de los siguientes objetivos específicos y más tarde ayudando al cumplimiento del objetivo general de la investigación.

Con esto como preámbulo se presenta a continuación el cuadro de operacionalización de variables de la investigación.

OBJETIVO GENERAL: Reactivar la celda de trabajo del robot KUKA KR180 en la empresa Neumática R.

Cuadro 1. Cuadro de operacionalización de variables de la investigación.

Objetivo específico 1	Variable	Dimensión	Indicadores	Ítems	Fuente de información
Determinar las condiciones actuales de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 mediante un diagnóstico de estado de sus partes.	Diagnóstico de estado	Conexiones faltantes	Cables sueltos Dispositivos desconectados	1	Entrevista
		Disposición inicial del espacio	Orden de dispositivos	2	
			Tamaño de la celda	3	
			Nivel de presión de aire	4	
	Dispositivos necesarios	Señales de seguridad	Reinstalación de paradas de emergencia	5	
		Accesorios del robot	Herramientas terminales	6	

Fuente: Alenza, M. (2023).

Cuadro 2. Guion de entrevista.

N°	Guion de entrevista
1	¿Qué desconexiones de dispositivos e interfaces fueron realizadas al momento de mover el robot?
2	¿Cuál era la disposición relativa anterior de los elementos y mobiliarios dentro de la celda robotizada?
3	¿Cuáles eran las dimensiones del espacio de trabajo que se disponía anteriormente?
4	¿Qué nivel de presión ha de observarse en el compresor de aire para la correcta operación del robot?
5	¿Cuántas y cuáles señales de seguridad se desea implementar en el nuevo espacio de la celda robotizada?
6	¿Cuántas y cuáles herramientas han de quedar operativas con el robot?

Fuente: Alenza, M. (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Fase I: Determinación de las condiciones actuales de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 mediante un diagnóstico de estado de sus partes.

4.1.1. Observación directa

Por su parte, en esta primera fase se busca apuntar todos los problemas físicos que puedan estar afectando a la correcta operación del robot KUKA KR180. Por observación directa se realizó una búsqueda in situ de conexiones faltantes e indicios de dispositivos dañados. El primer encuentro fue la desconexión del cable para señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA (ver figura 9), que con una revisión más minuciosa se encontró que anteriormente estaba conectado a una bornera externa, juzgando por los cables de colores coincidentes con el cable proveniente del robot (ver figura 10).



Figura 9: Desconexión del cable de señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2022).

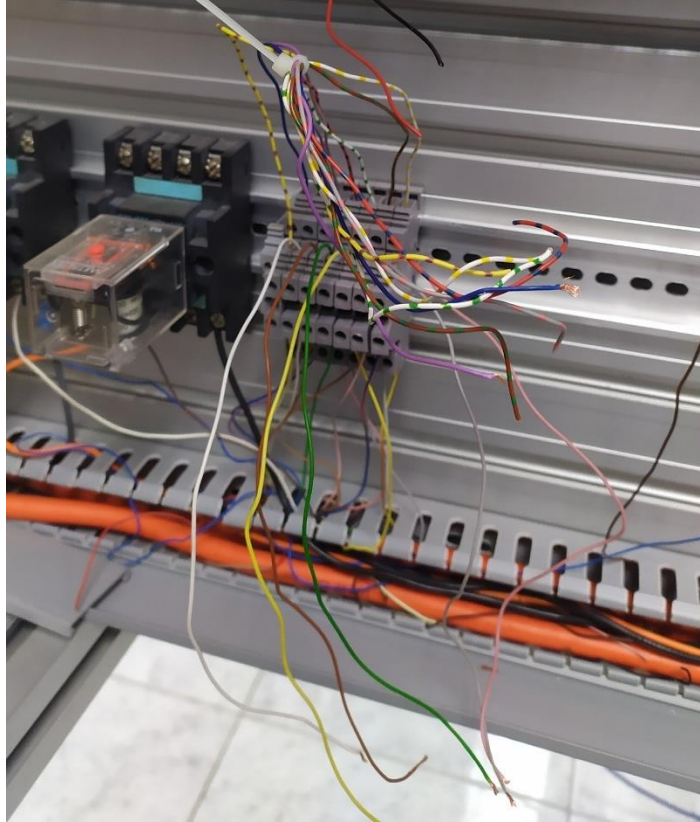


Figura 10: Bornera de conexión del cable de señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2022).

Esta bornera a su vez va conectada a un módulo EtherCAT de la marca Beckhoff (ver figura 11), siendo esta una conexión común para el robot KUKA KR180 cuando se requiere agregar entradas externas, como es en este caso el control externo de las herramientas terminales. Todo el arreglo de conexiones externas se puede apreciar en la figura 12.

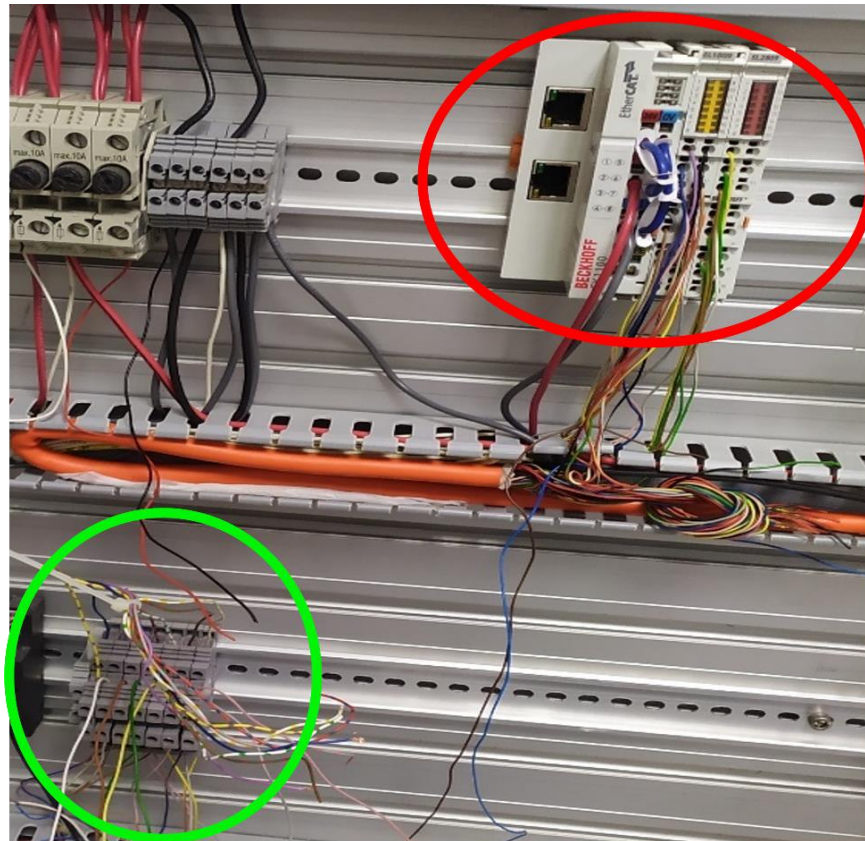


Figura 11: Conexión entre la bornera (verde) y el módulo EtherCAT (rojo) en el tablero de conexiones externas de la celda robotizada.

Fuente: Alenza, M. (2022).

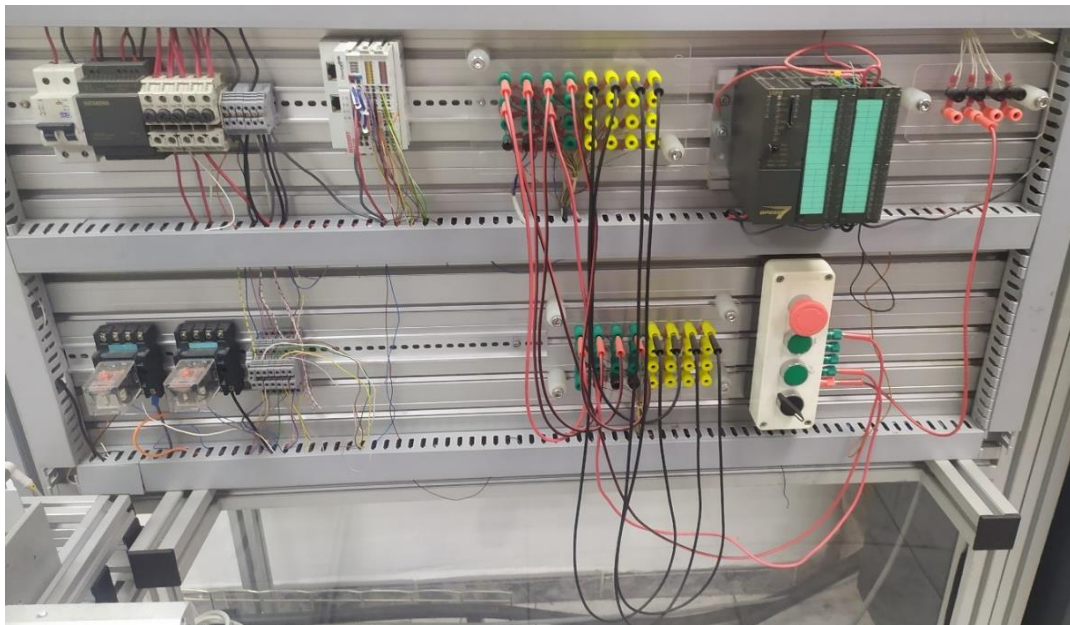


Figura 12: Tablero didáctico de conexiones externas para las señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2022).

Sobre las señales externas, se encontró un mapeo hecho por la empresa Neumática R de las señales del tablero (ver figura 13) con respecto a las señales que controlan de cada herramienta (ver figura 14). Con esto se pueden conocer los puntos de conexión de interés para manejar las herramientas terminales en las fases siguientes. Cabe destacar que el mapeo de la figura 14 corresponde a señales de la herramienta de tipo tridente de doble acción especializada para paletizado, cuyo uso no está dentro del alcance de esta investigación. Sin embargo, es parte del diagnóstico dar a conocer todos los dispositivos con los que se solía trabajar en la celda robotizada.

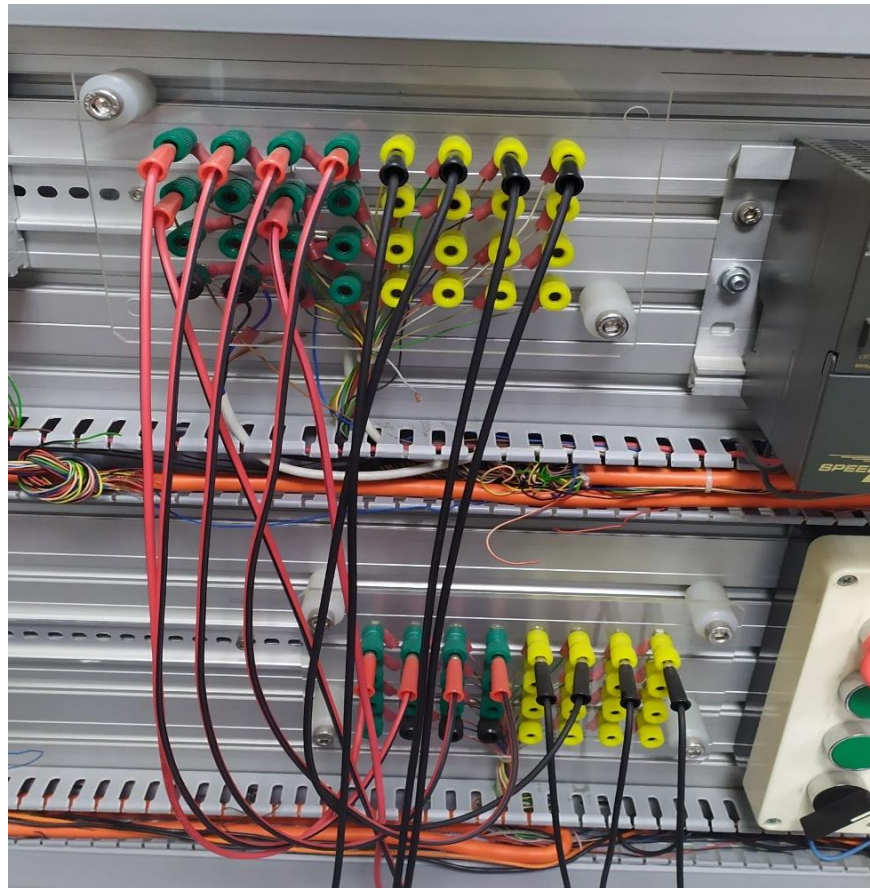
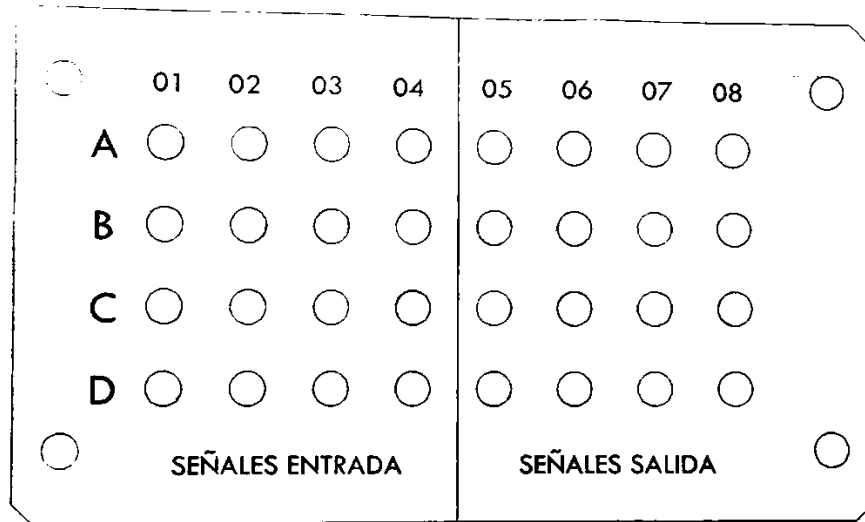


Figura 13: Señales de entrada/salida en el tablero de conexiones para señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2022).

SEÑALES PRESENTES EN LA CELDA



- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| 01A TRIDENTE ADELANTE | 05A PISADOR ABAJO |
| 02A TRIDENTE ATRAS | 06A PISADOR ARRIBA |
| 03A PISADOR IZQUIERDO | 07A TRIDENTE ADELANTE |
| 04A PISADOR DERECHO | 08A TRIDENTE ATRAS |
| 01B DETECTA PRODUCTO IZQUIERDO | |
| 02B DETECTA PRODUCTO DERECHO | |

Figura 14: Mapeo de señales de entrada/salida en el tablero de conexiones externas y su correspondencia con las señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.

Fuente: Neumática R C.A (2022).

Por otra parte, las señales de seguridad externas se encuentran desconectadas del módulo X11 de la unidad de control (CCU), como se puede observar en la figura 15. El módulo X11 es el encargado de la interfaz de seguridad dentro de la celda robotizada. En la figura anteriormente mencionada, se aprecia que las desconexiones están presentes en los contactos 1, 2, 3, 4, 19, 20, 21 y 22. Se tiene certeza de que las conexiones faltantes pertenecen a las señales de seguridad por el esquema de conexiones del módulo X11 presentado en los manuales del Robot Industrial. Este esquema se muestra en la figura 16, en la cual se observa que los contactos desconectados pertenecen a “PARADA DE EMERGENCIA externa”, canal A y B; y “Protección del operario”, canal A y B. Con esta información se puede concluir que existen en la celda robotizada dos dispositivos de parada de emergencia y dos dispositivos de seguridad de operaciones.

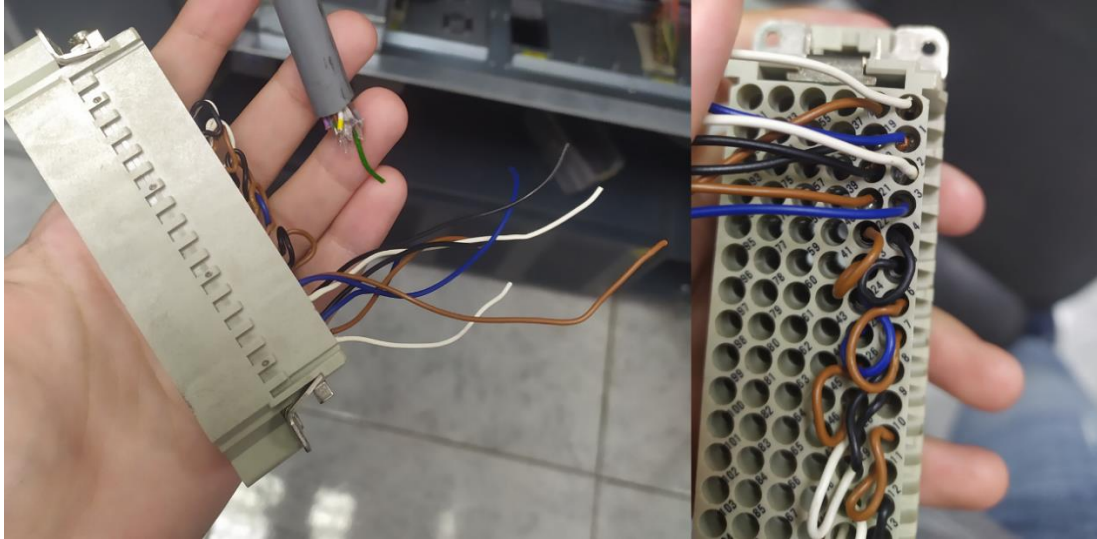


Figura 15: Desconexión del módulo de interfaces de seguridad X11 del robot KUKA KR180 correspondiente a las señales de seguridad externas.

Fuente: Alenza, M. (2022).

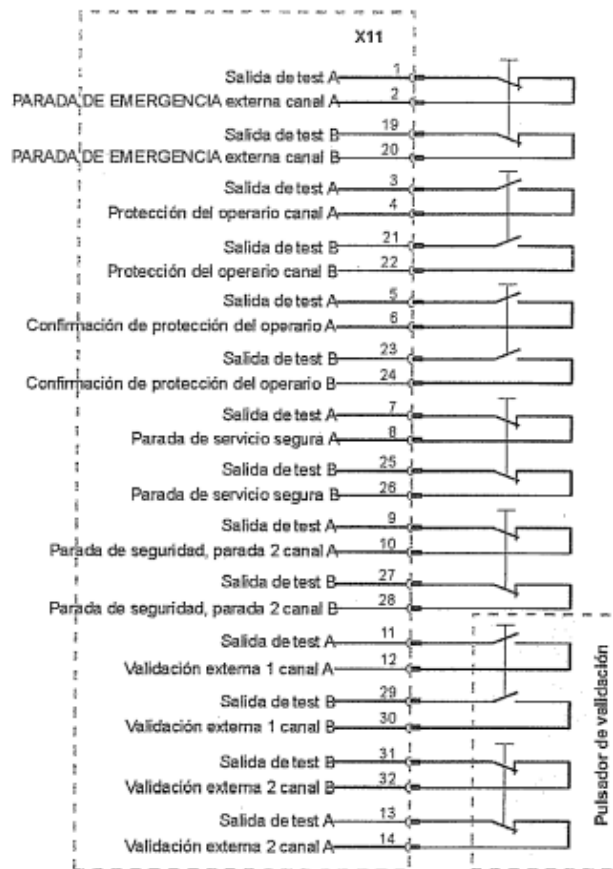


Figura 16: Esquema de contactos del módulo de interfaces de seguridad X11 del robot KUKA KR180.

Fuente: Manual KR QUANTEC KUKA Roboter (2012).

Es vital restablecer estas conexiones no solo por la seguridad del operador al momento de realizar maniobras con el robot sino también porque el mismo software bloquea la entrada de comandos activos cuando detecta la ausencia o falla de las paradas de emergencia (ver figura 17).

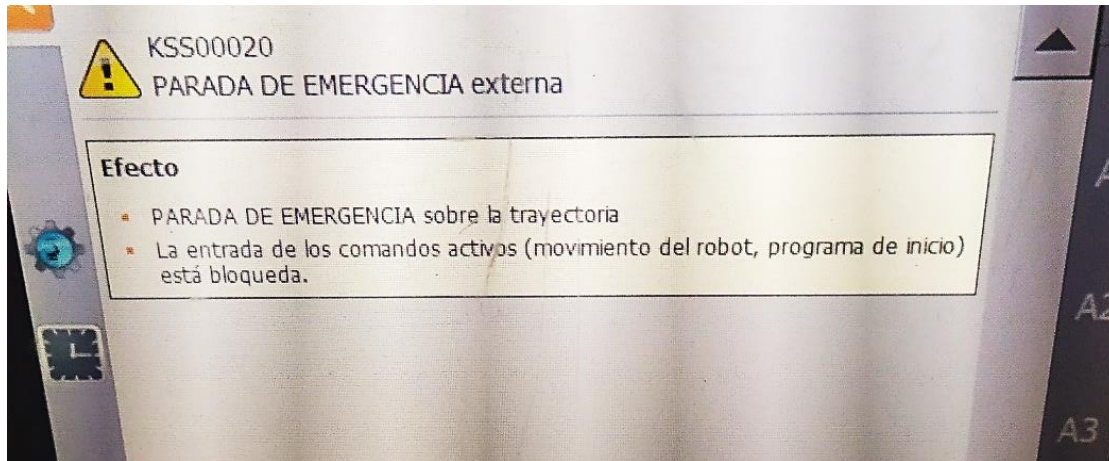


Figura 17: Error detectado por software del robot KUKA KR180 sobre la falta de parada de emergencia externa.

Fuente: Alenza, M. (2022).

Siguiendo con las conexiones faltantes, revisando los manuales esquemáticos de las conexiones de la CCU del Robot Industrial, se encontró que la conexión entre el puerto X1 del acoplador de bus EK1100 del módulo EtherCAT y el puerto X44 de la unidad de control KRC4 del robot también se encontraba ausente (ver figuras 18 y 19). Esta conexión permite la comunicación maestro/esclavo entre la CCU y el módulo EtherCAT (ver figura 20). La falta de la misma impide la comunicación entre ambos dispositivos, siendo detectado por el software del Robot Industrial como un error en el puerto X44 (ver figura 21).

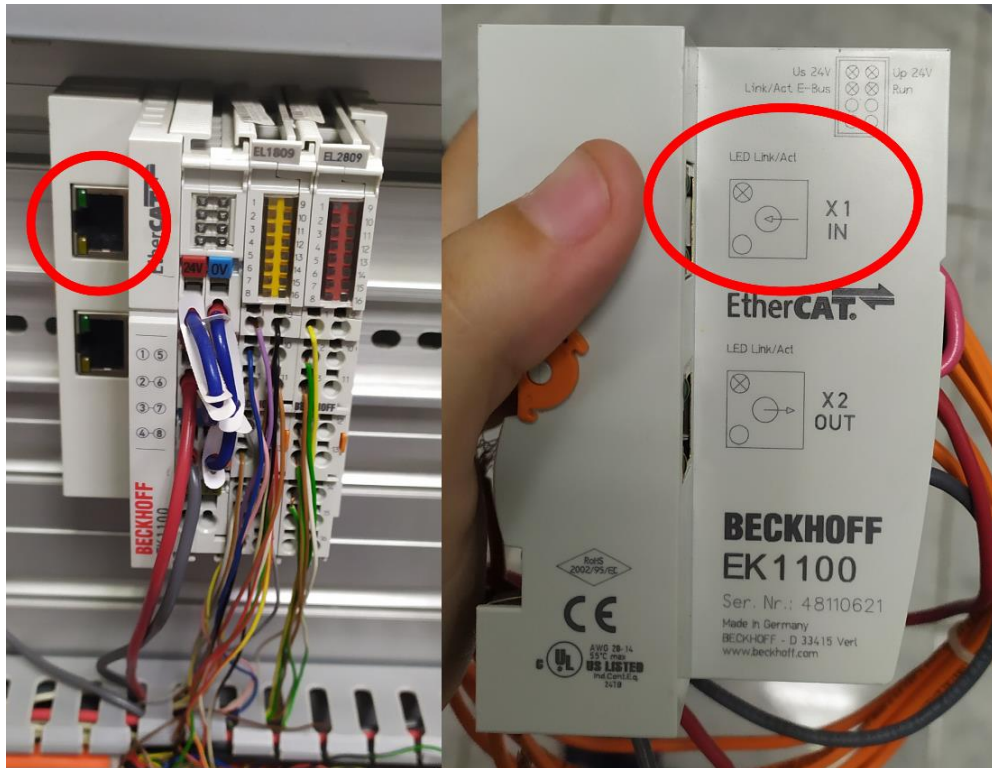


Figura 18: Falta de conexión en el puerto X1 del acoplador de bus EK1100 del módulo EtherCAT.

Fuente: Alenza, M. (2022).

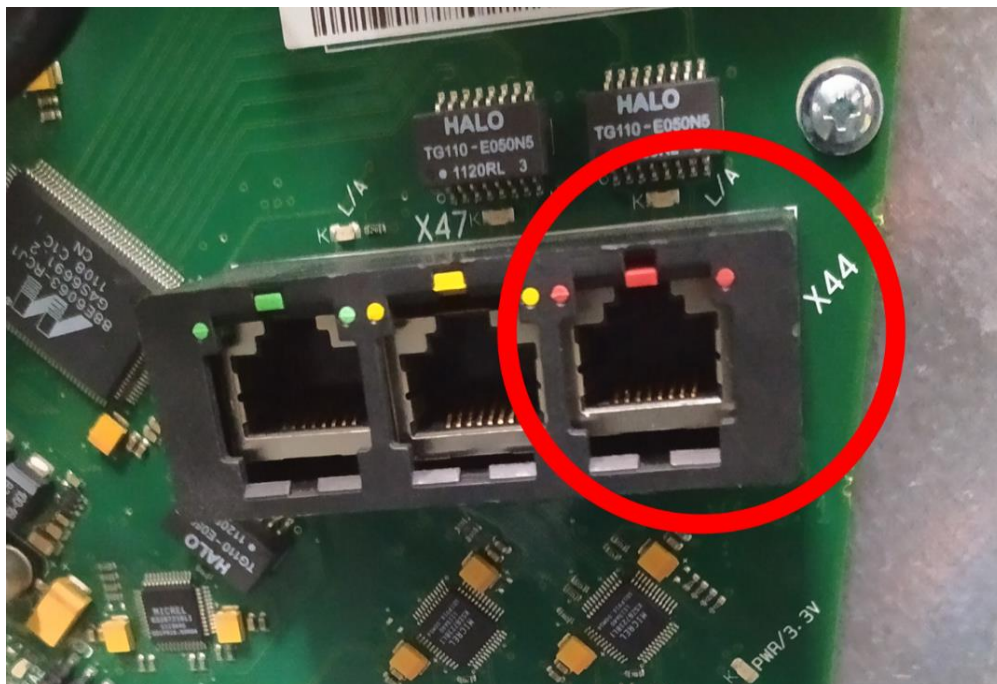


Figura 19: Falta de conexión en el puerto X44 de la unidad de control KRC4 del Robot Industrial KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2022).

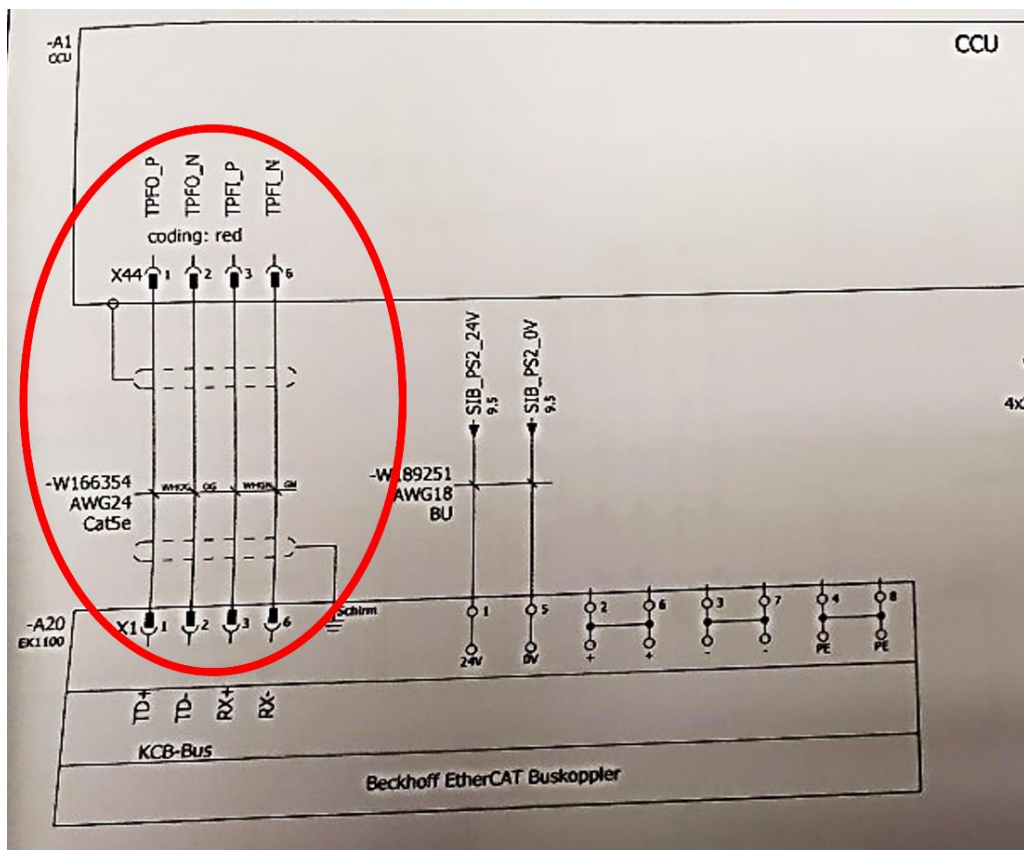


Figura 20: Esquema circuital de la conexión de la CCU del Robot Industrial. Conexión entre el puerto X1 del acoplador de bus EK1100 del módulo EtherCAT y el puerto X44 de la unidad de control KRC4.
Fuente: Neumática R.C.A. (2022).

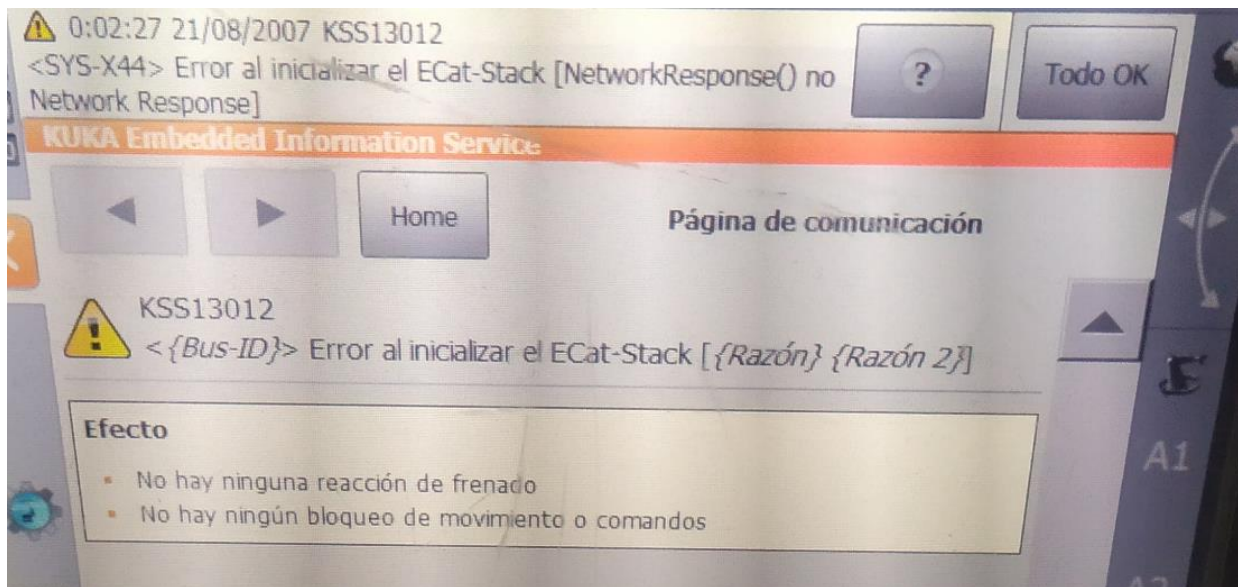


Figura 21: Error detectado por software del robot KUKA KR180 sobre la falla en el puerto X44 de la CCU correspondiente a la conexión con el módulo EtherCAT.
Fuente: Alenza, M. (2022).

Referente a los dispositivos posiblemente dañados, se hizo una revisión de los fusibles de la CCU (ver figura 22) para asegurar que no existieran fallas ni errores de software por parte de los mismos. No se encontraron problemas de funcionamiento en ninguno de ellos. Siguiendo con este tópico, se encontró que las baterías internas de la unidad de control estaban defectuosas, gracias a un mensaje arrojado por el software del Robot Industrial sobre “acumulador defectuoso” (ver figura 23). Según lo que indica el software, este daño en las baterías no permite que la CCU mantenga el buffer.

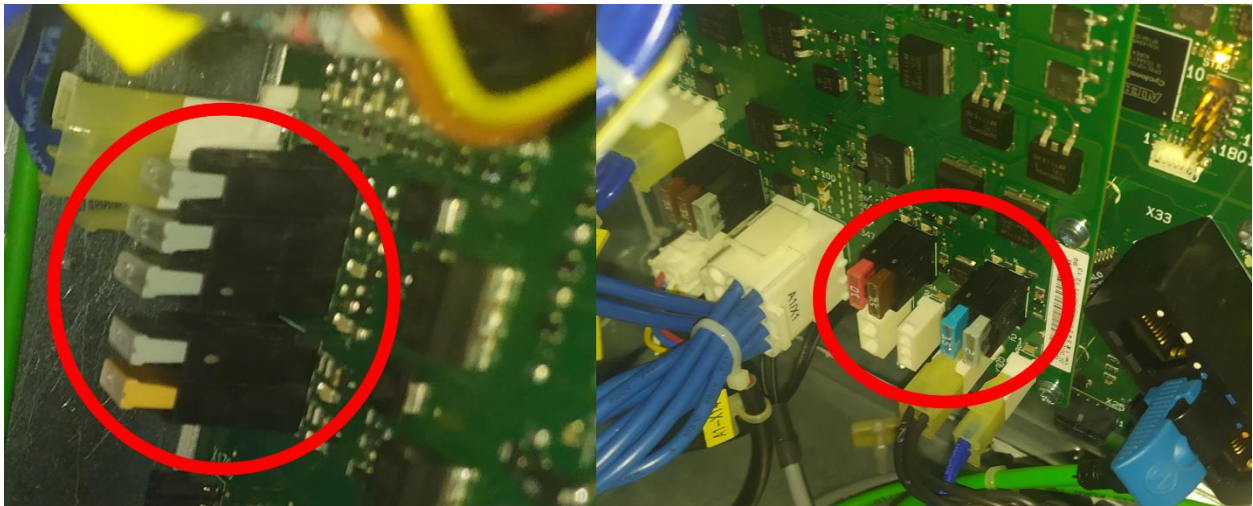


Figura 22: Fusibles presentes en las placas A1 y A3 de la unidad de control del robot KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2022).

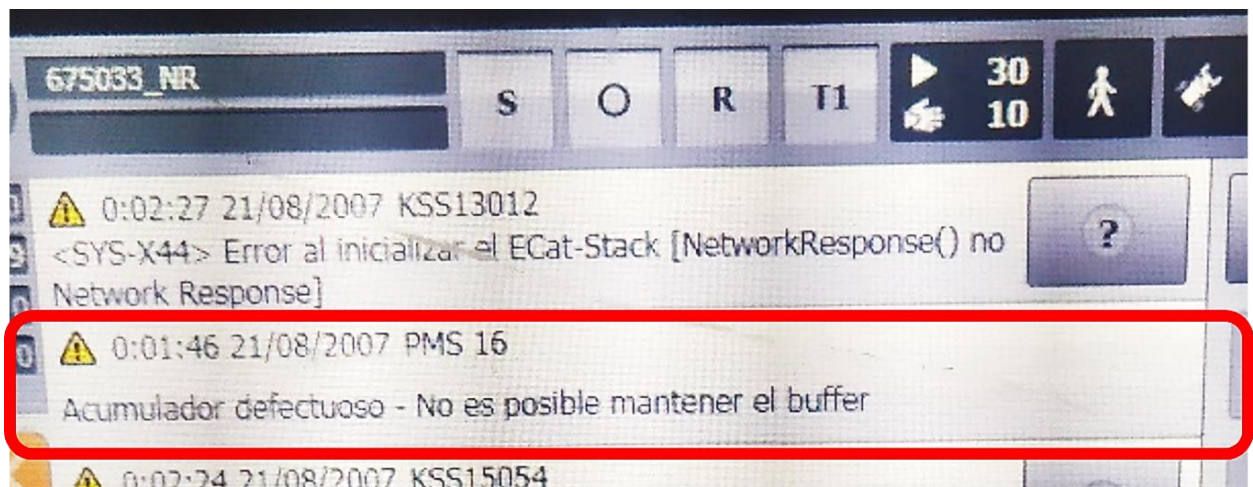


Figura 23: Error de acumulador defectuoso, referente a las baterías de la CCU del robot KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2022).

4.1.2. Entrevista

Con el objetivo de obtener más detalles acerca de la situación de operabilidad del robot KUKA KR180 y todas las partes que componen su celda robotizada, se realizaron entrevistas estructuradas, con preguntas cerradas no dicotómicas al técnico del robot y al dueño de la empresa Neumática R. Con esto se pretendía conocer las condiciones de operabilidad que solía tener la celda robotizada y una visión del nuevo espacio que se dispone para la misma y el Robot Industrial.

Ítem 1: ¿Qué desconexiones de dispositivos e interfaces fueron realizadas al momento de mover el robot?

R: La conexión de las paradas de seguridad, la de la señal de seguridad de la puerta de la celda y la conexión de entradas y salidas externas que se conecta al módulo EtherCAT.

Análisis: Esta respuesta coincide con las desconexiones encontradas por observación directa en la celda robotizada, por lo cual se tiene certeza de que no existe alguna otra desconexión que no se haya detectado con anterioridad.

Ítem 2: ¿Cuál era la disposición relativa anterior de los elementos y mobiliarios dentro de la celda robotizada?

En esta pregunta los participantes hicieron referencia a la página oficial de la empresa Neumática R, neumaticarotonda.com. En su apartado de didáctica, cuentan con un enlace a imágenes de instalaciones y recursos didácticos, donde se tienen fotos de la anterior disposición de la celda robotizada. La misma se puede observar en la figura 24.

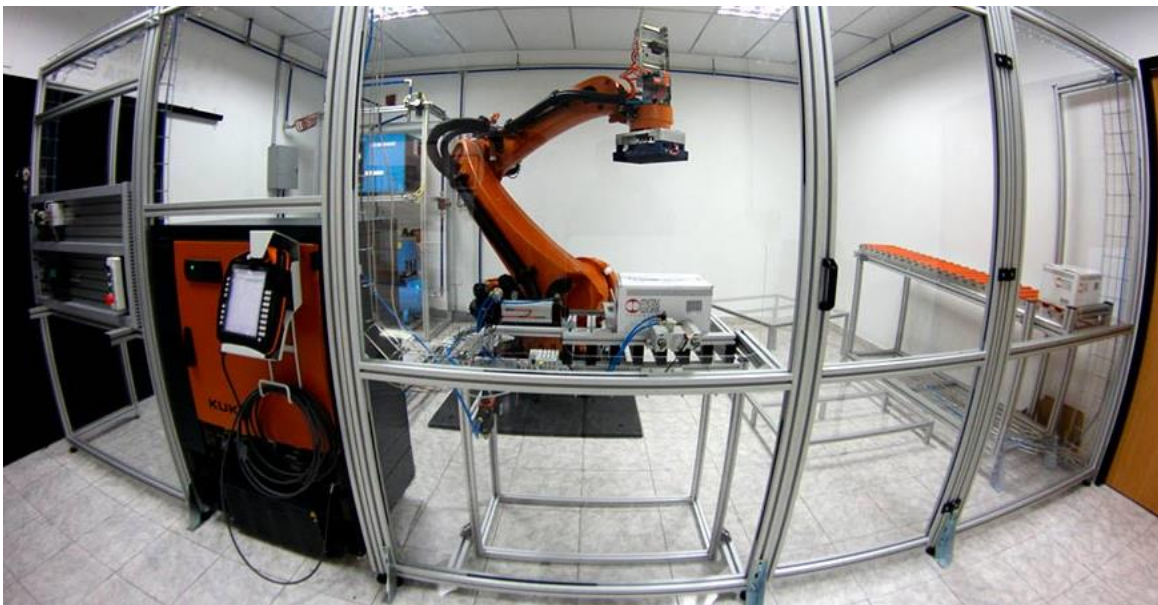


Figura 24: Disposición antigua de la celda robotizada de la empresa Neumática R.
Fuente: Instalaciones de la división didáctica. Neumática R (2007).

Análisis: Tener la distribución anterior funciona como referencia para conocer las diferencias entre ambos espacios, el antiguo y el actual, y con estas diferencias bien claras lograr adaptar todas las herramientas y dispositivos en el nuevo espacio disponible, de modo que sean funcionales y que todas cumplan un propósito adecuado a sus funciones.

Ítem 3: ¿Cuáles eran las dimensiones aproximadas del espacio de trabajo que se disponía anteriormente?

R: Tenía una altura aproximada de 3 metros, largo y ancho de 5,5 x 3,5 metros.

Análisis: Estas medidas nos permiten conocer aún más como se acomoda el espacio actual de la celda en comparación con el anterior, y si existen limitaciones o nuevas oportunidades en el mismo. Como se observó en la figura 24 la antigua disposición estaba dispuesta de manera horizontal (más larga que ancha), con 5,5 metros de largo, 3,5 metros de ancho y 3 metros de alto. Esto se antepone al espacio actual con varias diferencias bien marcadas. La primera siendo que el espacio ahora está dispuesto de manera vertical (más ancha que larga) (ver figura 25), pero manteniendo las medidas aproximadas de largo y ancho, esta vez invertidas, tal que se extiende 3,5 metros de largo y 5,5 metros de ancho. La segunda gran diferencia es la altura del techo, la actual celda dispone de unos 2,5 metros, algo que sin duda limita al Robot Industrial en sus labores.



Figura 25: Disposición actual de la celda robotizada de la empresa Neumática R (vista frontal).

Fuente: Alenza, M. (2023).

Ítem 4: ¿Qué nivel de presión ha de observarse en el compresor de aire para la correcta operación del robot?

R: El compresor es para el manejo de las herramientas de paletizado y para el sistema de amortiguamiento del robot. El nivel de presión del compresor para un funcionamiento óptimo debe ser de aproximadamente 6 bar. Por su parte, la herramienta de succión por vacío (OCTOPUS), que también tiene su manómetro propio, debe oscilar en su presión de vacío entre los 0 y -20 bar.

Análisis: Con estas respuestas se empieza a conocer mejor el proceso de funcionamiento de las herramientas de la celda robotizada, teniendo valores de la presión en su funcionamiento ideal para poder detectar fallas al momento del desarrollo de aplicaciones con éstas.

Ítem 5: ¿Cuántas y cuáles señales de seguridad se desea implementar en el nuevo espacio de la celda robotizada?

R: Cuatro señales. La primera es una señal de seguridad ubicada en la cerradura de la puerta de la celda robotizada (ver figura 26a). Otra es un botón de parada de emergencia ubicado junto a la unidad de control (ver figura 26b). Y las otras dos vienen del mismo dispositivo, una cuerda de parada de emergencia ubicada en la parte superior de la celda (ver figura 26c). Esta tiene dos señales, una de ellas es la parada de emergencia clásica y la otra una señal de seguridad para detener las operaciones cuando esté accionada.

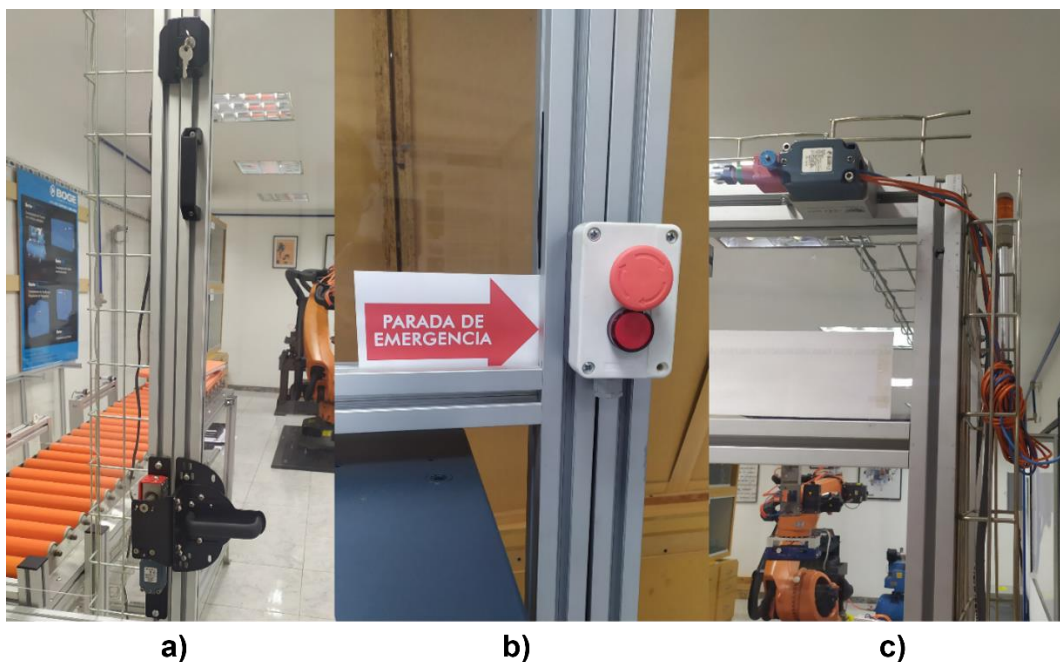


Figura 26: Señales de seguridad de la celda robotizada. a) Cerradura de la puerta. b) Botón de parada de emergencia. c) Cuerda de parada de emergencia bicanal. Fuente: Alenza, M. (2023).

Análisis: Esta información es de gran ayuda para el desarrollo de la siguiente fase, en la que se deben restablecer estas conexiones. Tener una idea clara de cuales son la señales y que función tiene cada una facilita luego el cableado de las mismas.

Ítem 6: ¿Cuántas y cuáles herramientas han de quedar operativas con el robot?

R: Una herramienta principalmente, el sistema de succión por vacío para paletizado. En la celda de trabajo también se dispone de un tridente de doble acción neumática para paletizado pero no se pretende utilizarlo en un futuro cercano.

Análisis: Esta respuesta ayuda a delimitar el trabajo de investigación especificando las herramientas que se espera queden funcionales con la operación de la celda y cuáles no. Además da un breve preámbulo de cómo funcionan y cómo deben ser utilizadas estas herramientas, de modo que se tenga una idea más clara para la fase final del proyecto donde se hará uso de las mismas.

4.1.3. Análisis de Causas-Efecto

Una vez obtenida toda la información de esta fase se procedió a la realización de un diagrama Ishikawa (ver figura 27) donde se especifican las posibles causas que generaron el problema así como los factores que impedían la resolución del mismo. Las categorías que se tomaron en consideración para la realización del diagrama fueron las 6M: método, mano de obra, material, medio, maquinaria y medida. La última categoría mencionada no se incluyó en el diagrama ya que no se halló pertinente al problema analizado.

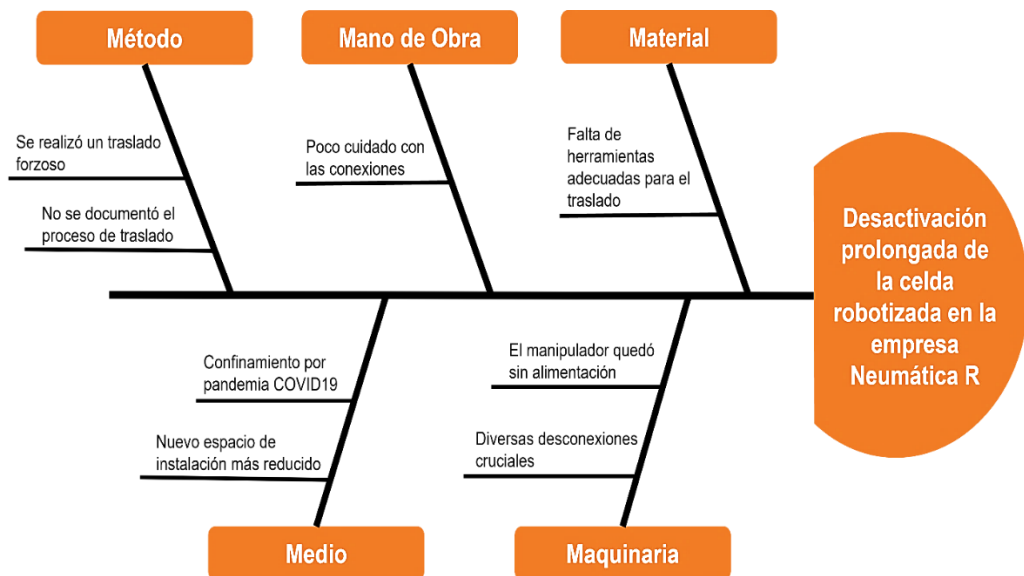


Figura 27: Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) de la problemática en la empresa Neumática R.

Fuente: Alenza, M. (2023).

4.2. Fase II: Restauración de la comunicación entre el robot, su unidad de control y su Teach Pendant (Smart Pad) mediante el restablecimiento de conexiones.

En esta fase se pretenden restaurar las conexiones faltantes que se encontraron en la fase anterior, así como también reparar conexiones que se encuentren deterioradas. También se toma en cuenta en esta fase el reemplazo de dispositivos externos defectuosos y cualquier otro elemento perteneciente al hardware de la celda que impida el buen funcionamiento del Robot Industrial. Una vez realizadas las reparaciones y reemplazos necesarios, se procede a hacer prueba de las conexiones, comprobando que todas se hayan restaurado correctamente.

En un primer lugar se restableció la conexión entre el cable de señales de control de las herramientas terminales y la bornera del tablero didáctico existente para las mismas. Para ello se retiraron de la bornera uno por uno los trozos de cable sueltos y se conectaron los del cable de señales de control respetando el código de color para cada uno. Por su parte los cables rojo y negro, pertenecientes a la alimentación se conectaron correspondientemente en una bornera superior destinada para este fin. El resultado final de esta operación se puede observar en la figura 28.

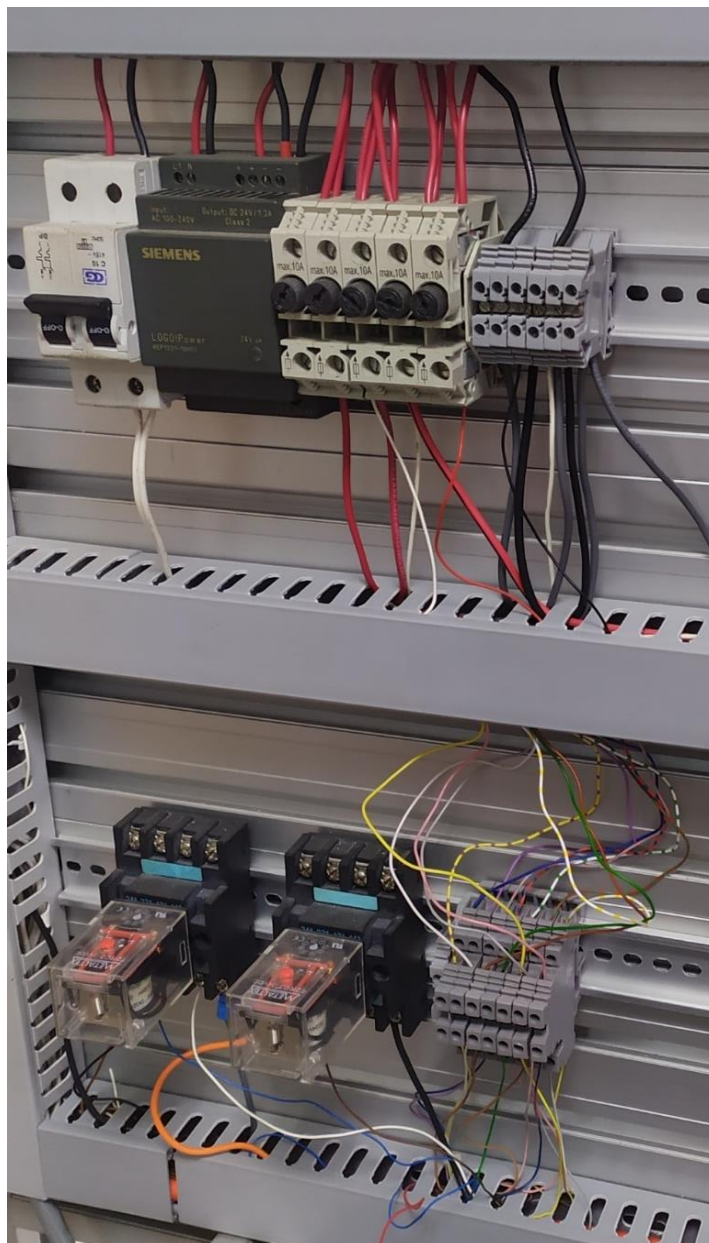


Figura 28: Reconexión del cable de señales de control de las herramientas terminales del robot KUKA KR180.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Seguido a esto, se restableció la conexión entre el acoplador EK1100 del módulo EtherCAT y la unidad de control del Robot Industrial mediante la adición de un cable de red tipo UTP entre los terminales X1 del acoplador y X44 de la CCU según lo indicado en el esquema circuital de la figura 20. Se observa la nueva conexión en la figura 29, destacando el buen funcionamiento de la misma por los LEDs encendidos en ambos extremos de la conexión (ver figura 30) lo que indica que existe comunicación entre ambos dispositivos.

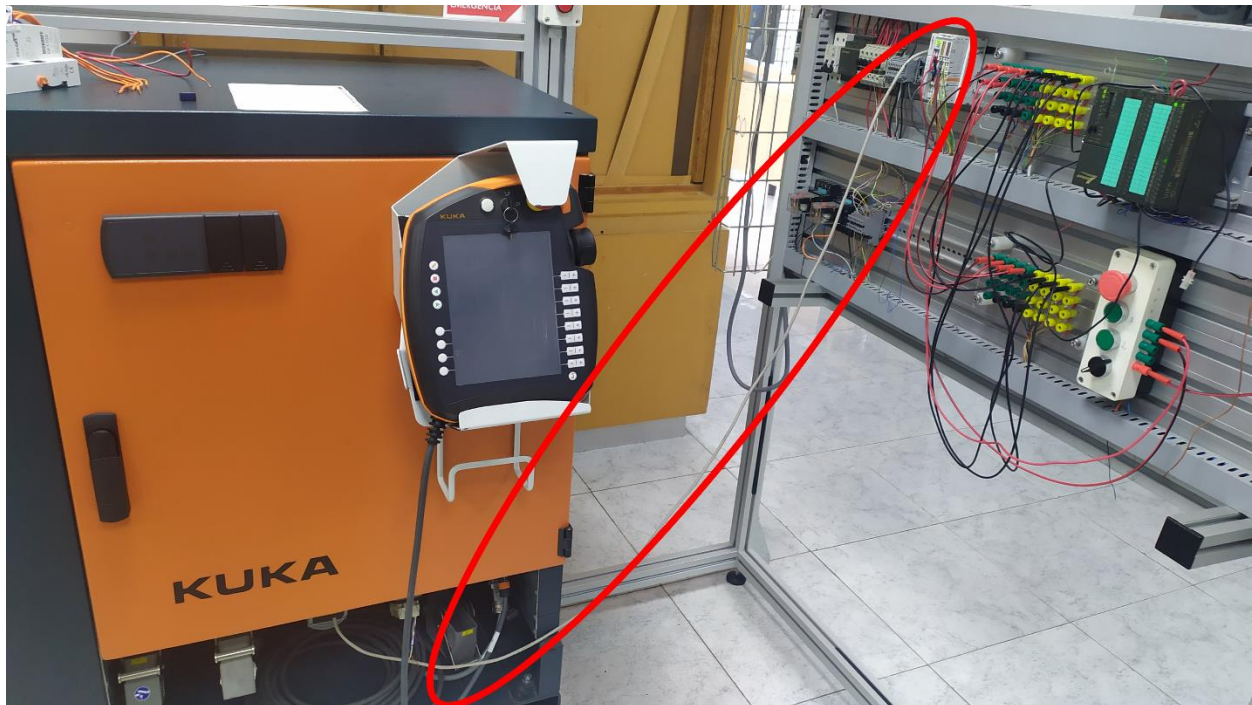


Figura 29: Conexión del puerto X1 del acoplador de bus EK1100 del módulo EtherCAT con el puerto X44 de la unidad de control KRC4.
Fuente: Alenza, M. (2023).

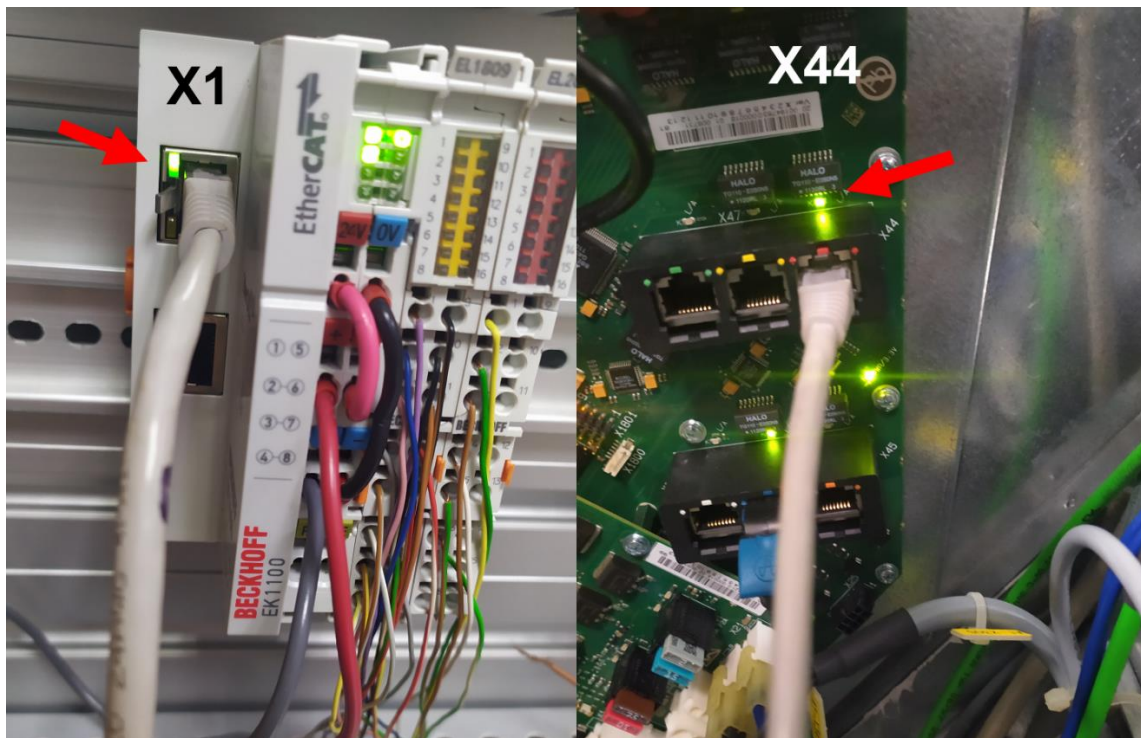


Figura 30: Indicadores de buena comunicación entre el acoplador EK1100 del módulo EtherCAT y la CCU del Robot Industrial.
Fuente: Alenza, M. (2023).

Después de estas conexiones se realizó el reemplazo de las baterías internas de la unidad de control (ver figura 31). La CCU dispone de dos baterías de 12V, 4A conectadas entre sí en serie según lo indicado en los esquemas circuitales de la unidad de control (ver figura 32). La compra de las nuevas baterías fue realizada y costada por la empresa Neumática R. Una vez hecho el reemplazo el software no indicó el error de “acumuladores defectuosos” que se obtenía en la fase anterior, sin embargo, este daño de las baterías causa una corrupción en el software que no permite que detecte bien los errores. Para solucionar este problema, se requiere realizar un restablecimiento de software, acción que será realizada en la siguiente fase.



Figura 31: Baterías nuevas de la unidad de control del robot KUKA KR180.
Fuente: Alenza, M. (2023).

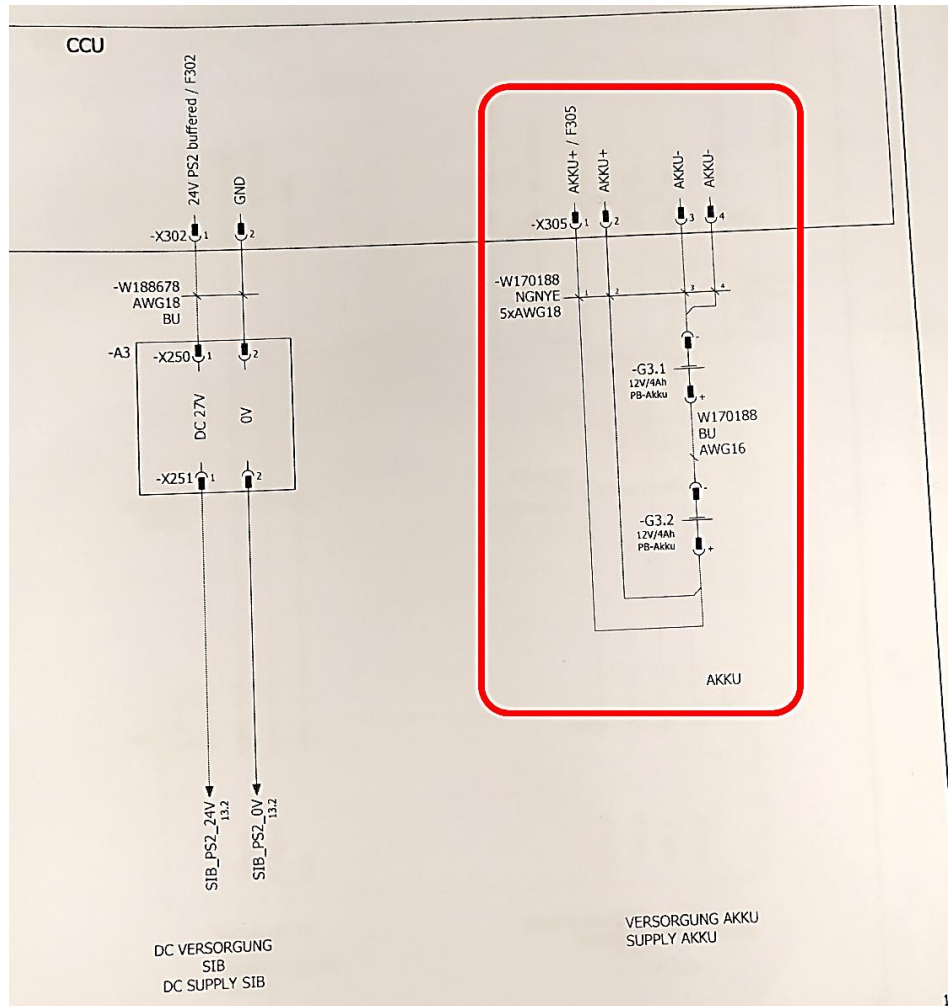


Figura 32: Diagrama circuital de la conexión de las baterías internas de la unidad de control del robot KUKA KR180.

Fuente: Neumática R.C.A (2023).

Por último, se realizó la reconexión de todas las señales de emergencia al módulo X11 de la unidad de control KRC4. Como se especificó en la fase anterior, la celda cuenta con cuatro señales de emergencia, dos paradas de emergencia externas, una siendo un botón tipo hongo (NC) ubicado al lado de la unidad de control del Robot Industrial y la otra una cuerda de parada de emergencia (NC) en la parte alta de la celda robotizada; y dos señales de seguridad del operador, una ubicada en la propia puerta de la celda (NO) y la otra en la misma cuerda de parada de emergencia (NO) (señal de seguridad). El cableado de cada una de estas se realizó siguiendo los diagramas circuitales del módulo de interfaces de seguridad X11 del Robot Industrial visto en la figura 16 y respetando los contactos normalmente abiertos (NO) o normalmente cerrados (NC) de cada dispositivo. El módulo X11 con las conexiones nuevas se puede observar en la figura 33 y las conexiones individuales de cada dispositivo se observan en la figura 34.

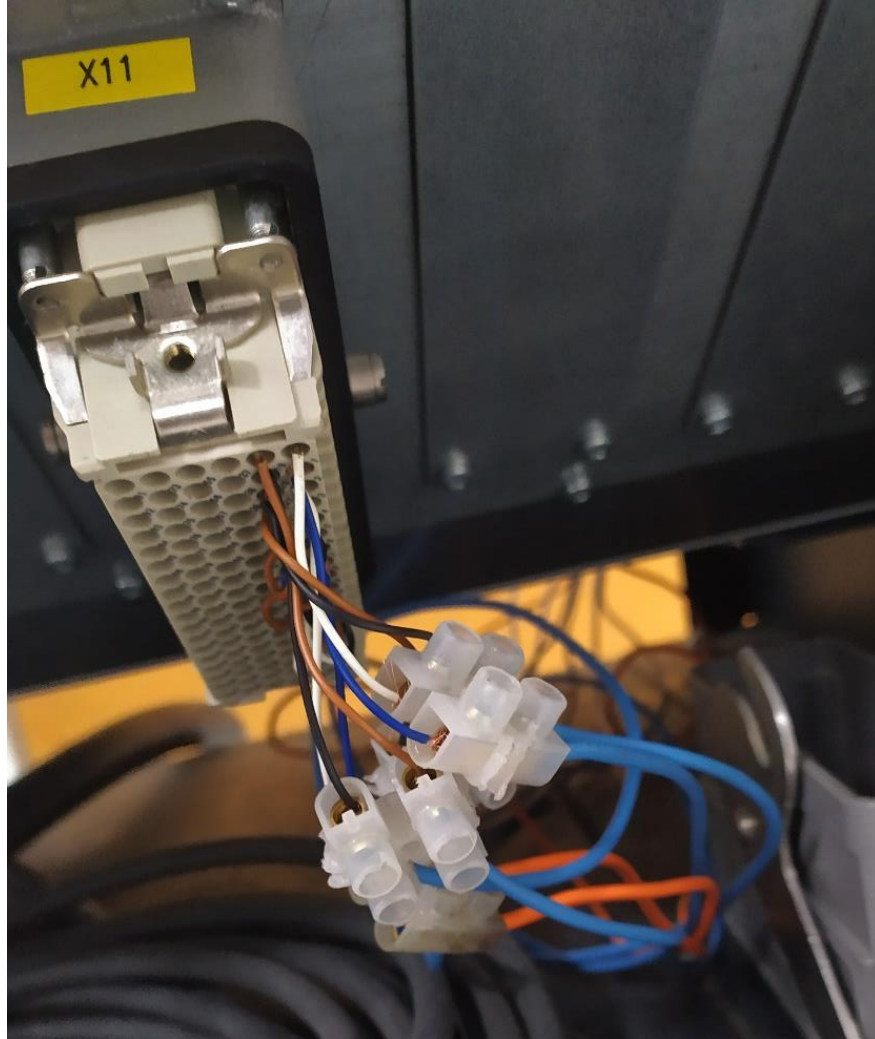


Figura 33: Conexiones de señales de seguridad externas del robot KUKA KR180 vistas desde el módulo X11 de la CCU.
Fuente: Alenza, M. (2023).

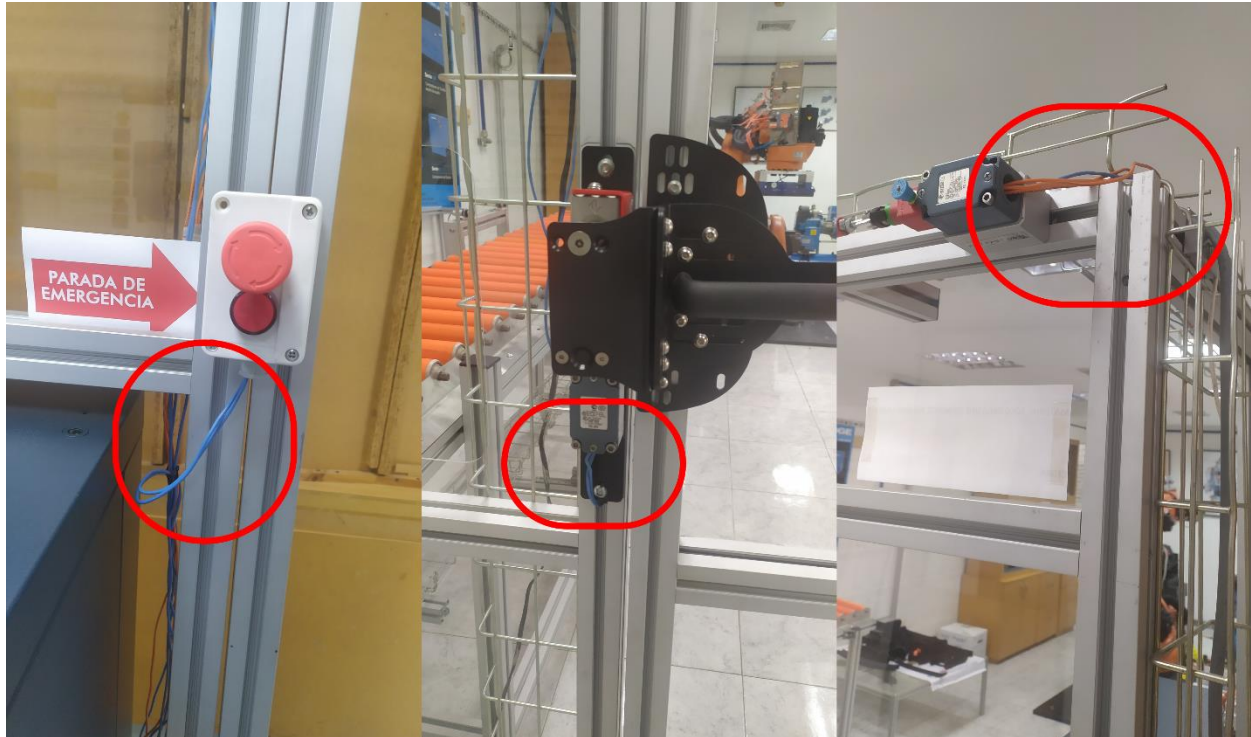


Figura 34: Conexiones de señales de seguridad externas del robot KUKA KR180 vistas desde los dispositivos de parada de emergencia y seguridad del operador.

Fuente: Alenza, M. (2023).

4.3. Fase III: Restablecimiento de las configuraciones de fábrica del robot industrial KUKA KR180 para su correcta programación y manejo.

Siguiendo con el restablecimiento de las configuraciones de fábrica, con todas las conexiones necesarias en condiciones óptimas, se realizó un diagnóstico del software de programación del Robot Industrial. Se encontraron en las fases anteriores algunos problemas de software que son solucionados en la fase actual. Siendo el primero de ellos el restablecimiento de imagen (software) de la unidad de control, necesario por la corrupción de sistema causada por las baterías defectuosas. Ésta es la primera acción a llevar a cabo ya que como se explicó anteriormente, la corrupción del sistema no permite observar los errores de software adecuadamente, algo que es absolutamente imperativo para el desarrollo de esta fase.

Para el restablecimiento de imagen de la CCU se siguieron las instrucciones del manual KUKA Recovery USB 2.0 del Robot Industrial. Como lo sugiere su nombre, este procedimiento requiere el uso de una memoria USB especial (ver figura 35) para el restablecimiento del sistema. Dicha USB contiene los archivos mínimos necesarios para el funcionamiento del software del robot KUKA además de un programa de configuración para el proceso de restablecimiento que se explicará brevemente a continuación. En lo que respecta a la obtención de la memoria USB, ésta

viene incluida con la compra e instalación de los robots KUKA por lo que se encontraba disponible en la empresa Neumática R.



Figura 35: KUKA Recovery USB Stick. Unidad de memoria USB para restablecimiento del sistema de la unidad de control KRC4 del robot KUKA.

Fuente: Alenza, M. (2023).

El KUKA System Recovery Configurator es el programa de configuración incluido dentro de la memoria que permite establecer las condiciones en las que se usará el USB, ya sea para restablecer el sistema o hacer una copia de seguridad del mismo (ver figura 36). En el caso que compete a esta investigación, se configuró la memoria para realizar un restablecimiento de imagen desde el USB. En el modelo disponible de la unidad de control (KRC4), este proceso de restablecimiento se hace de manera automática y se monitorea mediante el encendido y apagado secuencial de los leds presentes en la CCU (ver figuras 37 y 38).

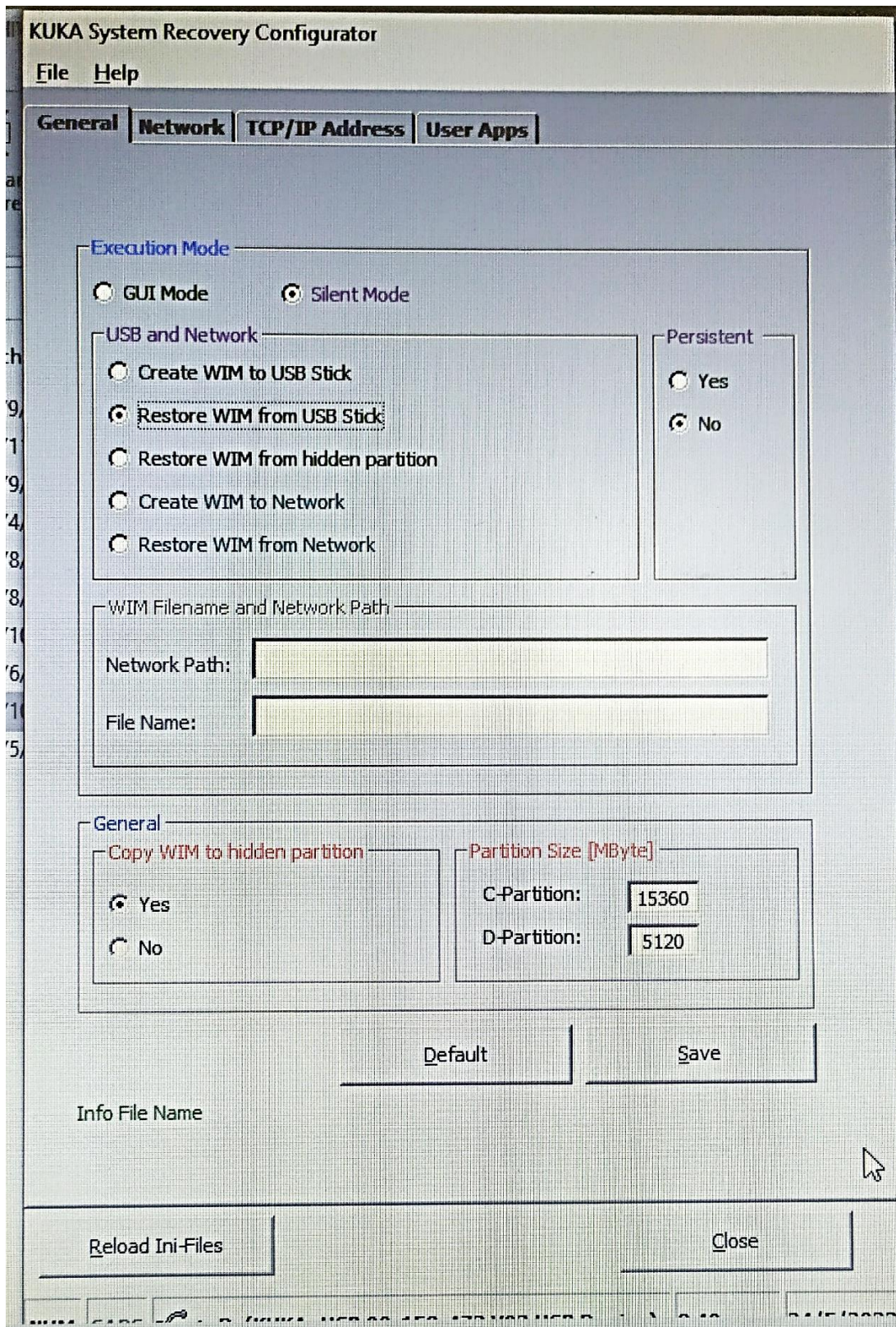


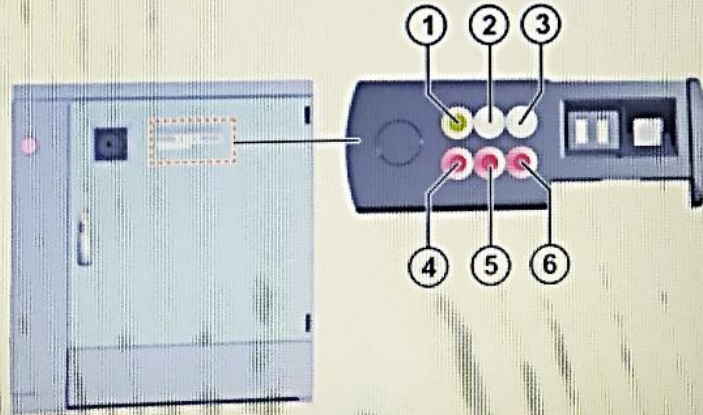
Figura 36: KUKA System Recovery Configurator. Programa de configuración del KUKA Recovery USB Stick.

Fuente: Alenza, M. (2023).

6.8.1 KR C4 CSP operating state indicator

Description

The LEDs of the Controller System Panel (CSP) indicate the operating state of the controller.



6.8.3 Restoring a KR C4 image in Silent mode

Precondition

- Robot controller is switched off.

Procedure

1. Connect KUKA.RecoveryUSB stick to the PC of the robot controller.
2. Boot the robot controller.
3. CSP LED 1 flashes: KUKA.RecoveryUSB is booting the controller.
4. CSP LED 1 lights up: The boot procedure has been completed.
5. CSP LED 2 flashes: Images of the C:\ and D:\ partitions are being re-stored.
6. CSP LED 2 lights up: Restoration of the C:\ and D:\ partitions has been completed.
7. CSP LED 3 flashes: Images of the C:\ and D:\ partitions are being copied to the hidden partition.
8. CSP LED 3 lights up: Copying of the images has been completed.
9. CSP LED 1-6 lights up for 1 second: Complete image has been restored.
10. The RecoveryUSB stick is deactivated and the controller is rebooted (USB stick can be removed).

Figura 37: Secuencia de encendido de leds indicadores en el proceso de restablecimiento de imagen de la unidad de control KRC4.

Fuente: Manual KST KUKA Recovery USB 2.0 (2023).



Figura 38: Secuencia de encendido de leds indicadores en la KRC4 de la celda robotizada.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Al finalizar el proceso, todos los leds se encienden al mismo tiempo indicando que el restablecimiento a concluido de manera exitosa (ver figura 39). Una vez realizada esta tarea, se hizo un arranque en frío de la CCU con lo que se comprobó que el restablecimiento fue exitoso ya que el Smart Pad indicaba una serie de errores distintos a los presentes antes del proceso (ver figura 40). Esta nueva lista de errores serán ahora la pauta para continuar con el desarrollo de esta fase.



Figura 39: Leds de la CCU indicando la finalización del restablecimiento de imagen.

Fuente: Alenza, M. (2023).



Figura 40: Lista de errores de software indicada luego del restablecimiento de imagen de la unidad de control KRC4.
 Fuente: Alenza, M. (2023).

El primer error de la lista a tratar es el de “suma de control de la configuración de seguridad incorrecta”. Según los manuales de KUKA, cuando se hacen cambios grandes en el sistema, en especial en un restablecimiento de imagen, se deben confirmar los cambios realizados. Es por esto que para que este error desaparezca hay que dirigirse a la pestaña configuración de seguridad (ver figura 41) en el Smart Pad de la CCU y “activar” los cambios (ver figura 42) para que la unidad de control acepte la reconfiguración. Después de realizada esta acción, el error desaparece de la lista, y también desaparecen los errores “Datos de máquina diferentes del tipo de robot”, ubicado al final de la lista, y “Liberación de movimiento general” siendo el noveno error de arriba hacia abajo. La lista después de este proceso queda como se muestra en la figura 43.

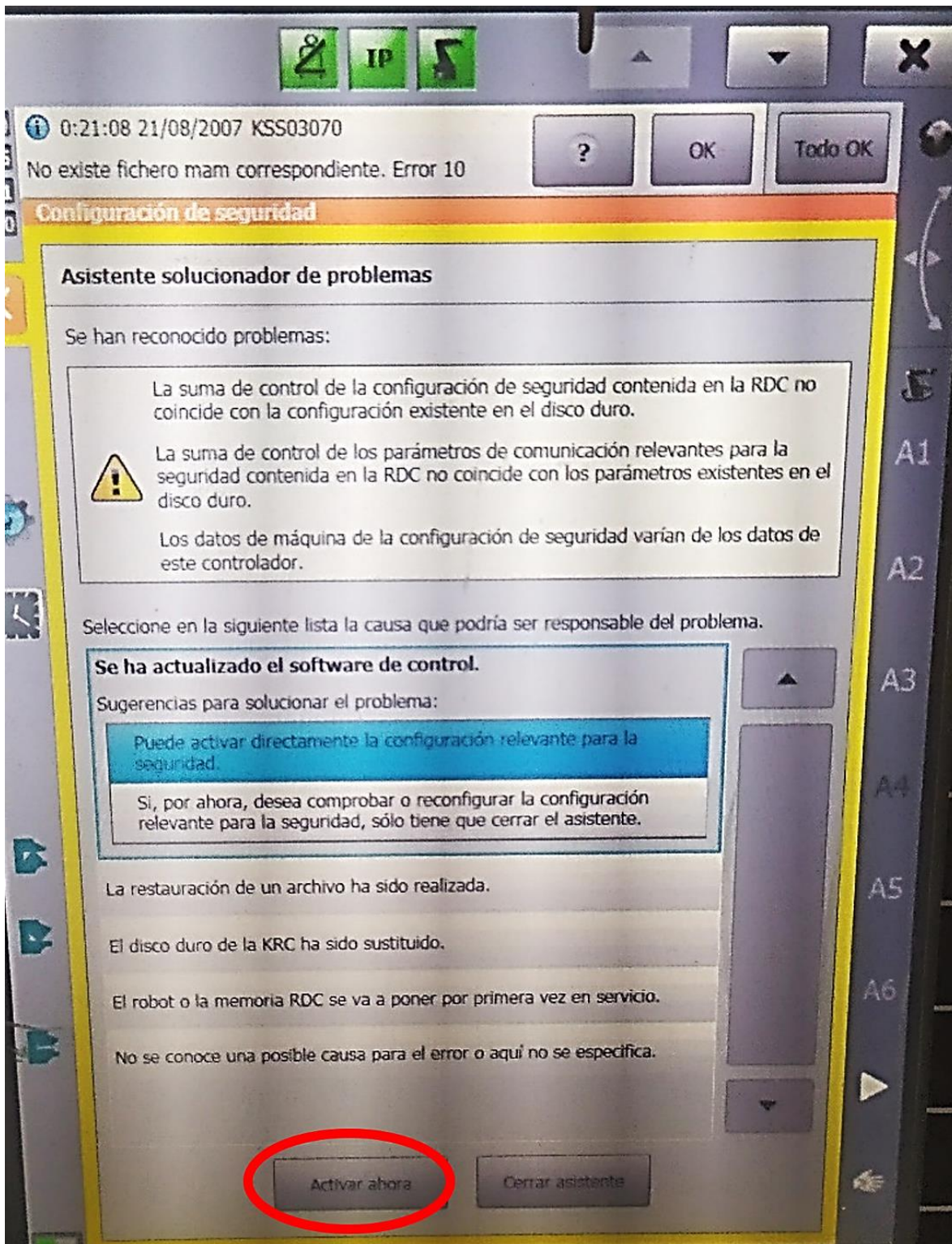


Figura 41: Pestaña de configuración de seguridad solicitando activación de los cambios realizados en la CCU.

Fuente: Alenza, M. (2023).

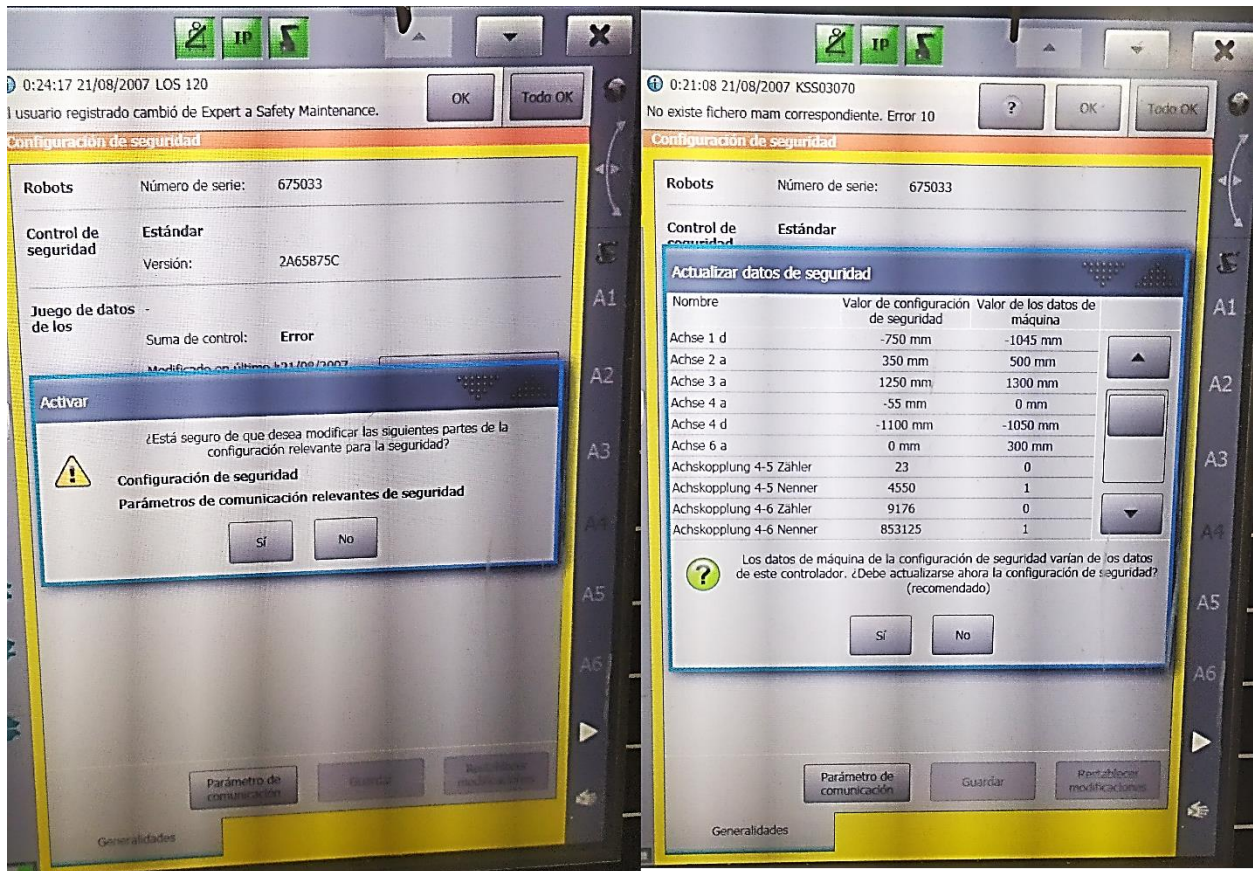


Figura 42: Mensajes de confirmación que aparecen al activar la configuración de seguridad de la CCU.

Fuente: Alenza, M. (2023).

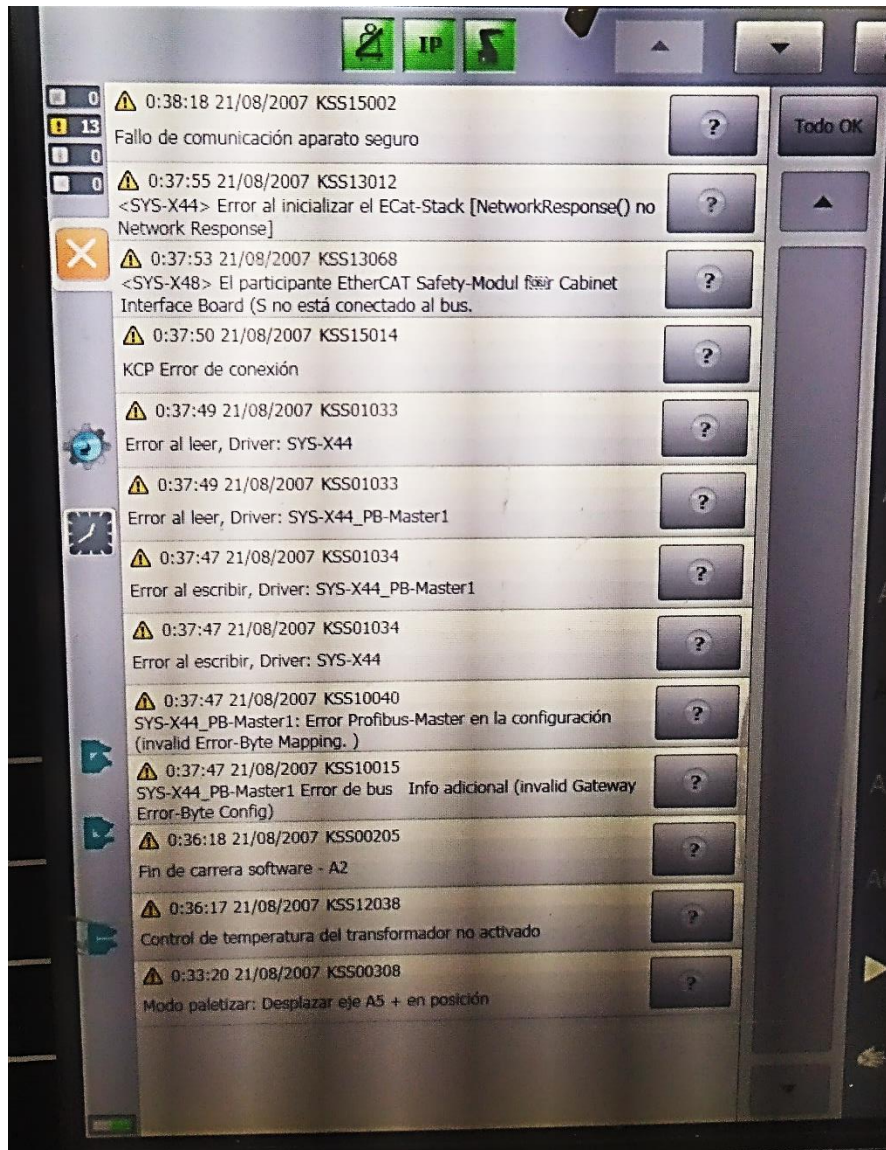


Figura 43: Lista de errores de software indicada luego de la confirmación de configuración de seguridad de la unidad de control KRC4.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Seguido a este paso, se observó que muchos de los errores apuntaban al mismo terminal de la unidad de control, el X44. Este terminal, como se explicó anteriormente, es el encargado de establecer la conexión maestro/esclavo entre la CCU y el módulo EtherCAT de entradas/salidas externas. Todos estos errores indican problemas al leer y escribir por dicho terminal, además de errores de mapeo en la configuración de bits, tanto en el maestro como en el esclavo. Todo esto apunta a una mala configuración del programa activo del robot. El programa activo es aquel que guarda todas las configuraciones necesarias de la unidad de control y el robot, pero sobre todo, guarda la configuración de conexiones externas que tienen comunicación con la unidad.

Este archivo activo se crea y configura a través de un software dedicado, creado por la empresa KUKA, llamado WorkVisual (WoV). Este software permite extraer el archivo activo de la unidad de control, modificarlo como sea necesario y luego cargarlo nuevamente en la unidad. La conexión entre la computadora con el programa y la unidad de control se realiza mediante un cable de red tipo UTP y usando el puerto KLI (Kuka Line Interface) encargado de las conexiones con infraestructuras de control de nivel superior. Para lograr una conexión exitosa, la dirección IP de la computadora debe estar en la misma red que la de la unidad de control, algo que se respetó en todo momento a lo largo de este proceso.

El archivo activo cuando se hizo el restablecimiento de sistema tenía por nombre “2011013376000012000207573-5 prueba modulo ana beckhoff”, y este mismo es el que generó todos los errores vistos anteriormente, por lo tanto se puede concluir que existe una mala configuración en este programa y necesita ser configurado. El primer paso a seguir fue intentar establecer comunicación con la unidad mediante el puerto KLI usando la versión 4.0 de WorkVisual, sin embargo este primer intento fue fallido.

En una búsqueda de soluciones alternativas, se extrajeron los archivos de la CCU mediante un USB externo. Seleccionando en el Smart Pad las opciones Archivo> Archivar > USB (KSP)> Todo, es posible extraer todos los archivos de programa presentes en la unidad de control sin necesidad momentáneamente de establecer comunicación con WoV. Más adelante para cargar el proyecto requerido, si es preciso establecer dicha comunicación. Una vez extraídos los archivos se abrió el archivo activo “2011013376000012000207573-5 prueba modulo ana beckhoff”, y se procedió a inspeccionar las configuraciones del mismo.

En la figura 44 se observa la estructura del proyecto, donde se identificó fácilmente la presencia de módulos extra en la configuración del EtherCAT (ver figura 45). En la instalación física solo se tienen tres módulos: un módulo de alimentación y comunicación EK1100, un módulo de entradas digitales EL1809 y un módulo de salidas digitales EL2809. Como se observa en la figura 45, existen módulos adicionales de entradas y salidas digitales (EL1809 y EL2809), así como un módulo de entradas analógicas (EL3062) y un módulo de conexión PROFIBUS (EL6731) con una conexión a un PLC VIPA.

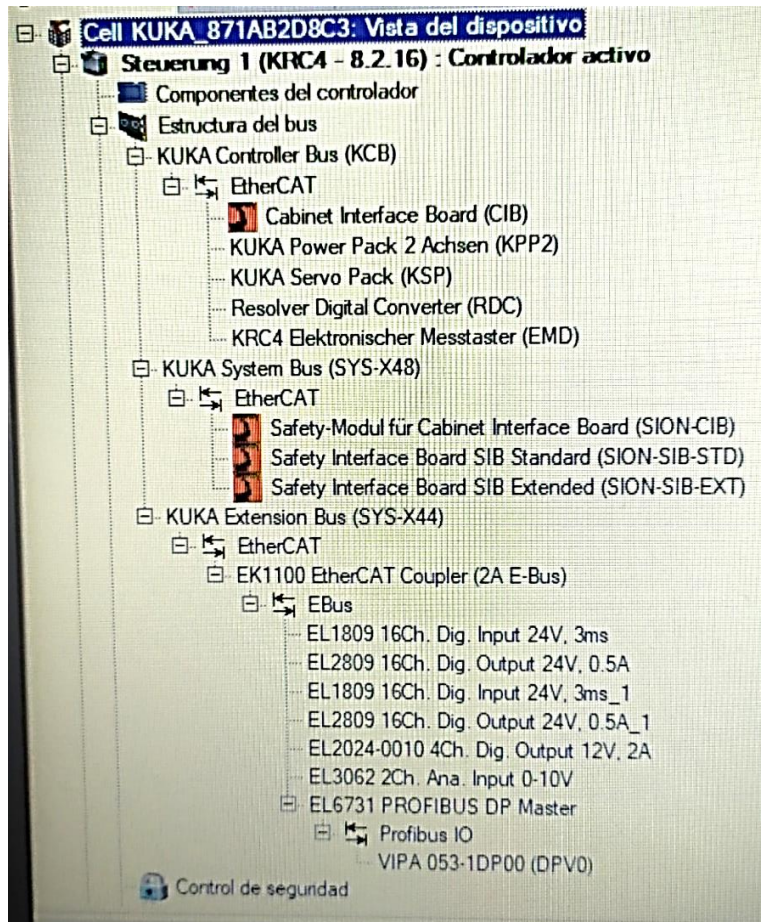


Figura 44: Estructura de proyecto del proyecto activo “2011013376000012000207573-5 prueba modulo ana bechhoff”.

Fuente: Alenza, M. (2023).

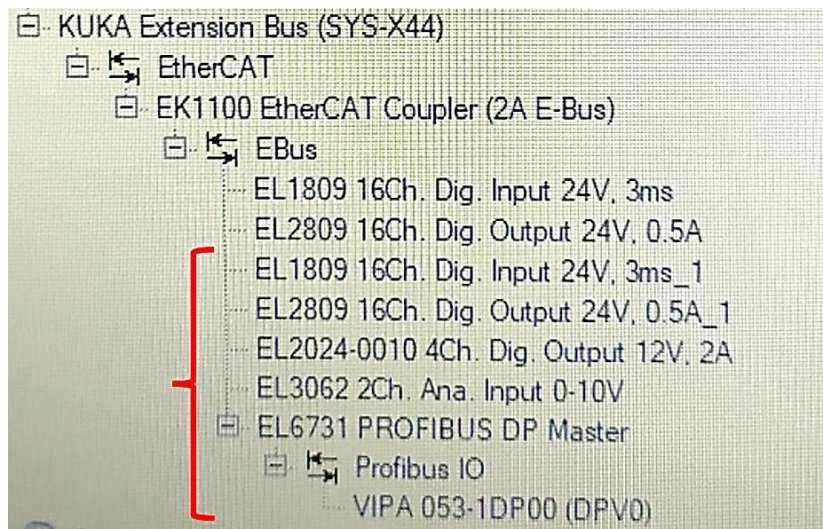


Figura 45: Módulos extra en la configuración del EtherCAT del proyecto activo.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Con esto en mente, se procedió entonces a eliminar todos los módulos adicionales que existían en el programa y se nombró el proyecto como “WorkingProject_13052023”. Además en la estructura de programa anterior no se había añadido el tipo de robot que se usaría, algo que también se añadió en estas modificaciones. La nueva estructura de proyecto quedó como se muestra en la figura 46. Seguido a esto fue necesario realizar nuevamente el mapeo de entradas y salidas, es decir, asegurarse de que las entradas y salidas físicas existentes en la celda robotizada coincidan con las entradas y salidas en los módulos dentro del programa.

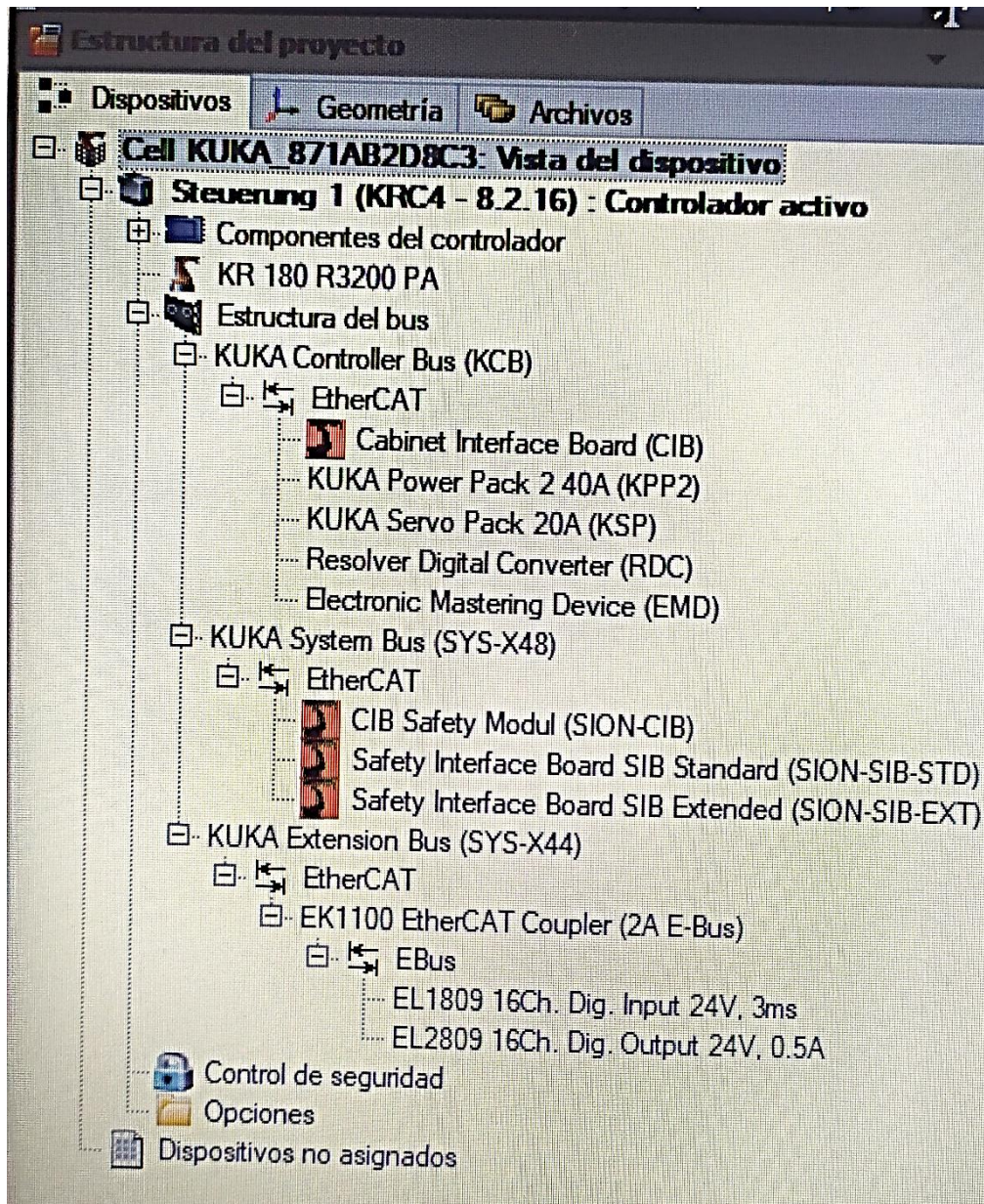


Figura 46: Nueva estructura de proyecto nombrada “WorkingProject_13052023”.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Empezando con las entradas, para este proceso se abren en WoV dos ventanas, la primera siendo la de entradas digitales (correspondiente a las señales de entrada existentes en programa) y la segunda la de buses de campo (correspondiente a los módulos disponibles para asignar las entradas anteriores). Específicamente se abrió el módulo EL1809 de entradas digitales del EtherCAT (ver figura 47). Al abrir estas pestañas aparecen dos listas individuales correspondientes a cada apartado (ver figura 48 azul y naranja) y una lista conjunta donde se ve la conexión digital hecha entre ambos grupos (ver figura 48 verde), bajo todas las listas existe un botón para “conectar” cada entrada digital con su respectivo canal en el módulo EtherCAT (ver figura 48 rojo).

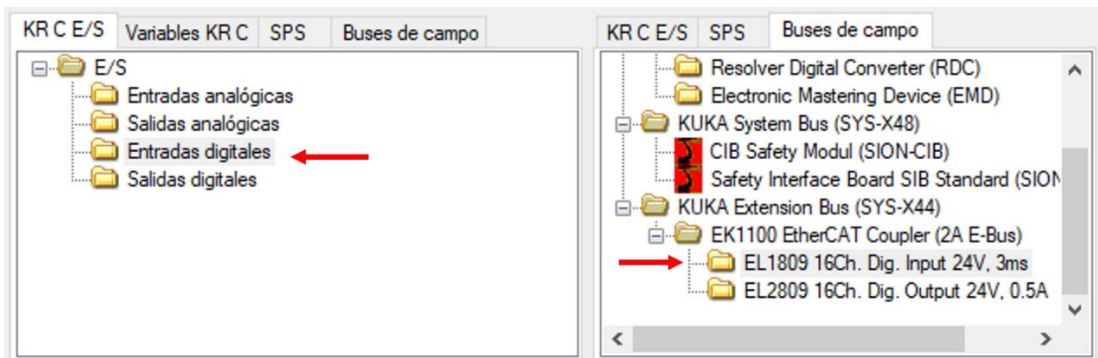


Figura 47: Pestañas de Entradas digitales y Buses de campo (módulo EL1809) para el mapeo de entradas digitales en WorkVisual.
Fuente: Alenza, M. (2023).

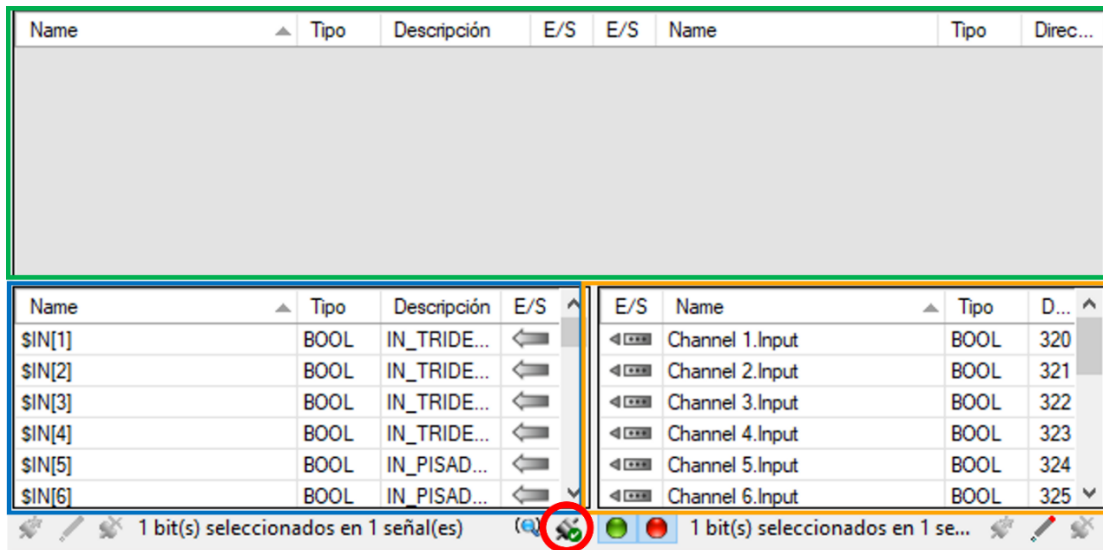


Figura 48: Disposición de pestañas en WorkVisual para el mapeo de entradas/salidas. En azul: Lista de señales de las entradas/salidas digitales. En naranja: Lista de canales disponibles de los módulos de entradas/salidas del EtherCAT. En verde: Lista conjunta de conexiones realizadas entre ambas listas. En rojo: Botón “Conectar” para realizar las conexiones entre los elementos de ambas listas.
Fuente: Alenza, M. (2023).

Para hacer el mapeo, se selecciona la primera señal de cada lista individual y se clikea el botón “conectar”. Esto hace que se cree la conexión digital entre ambas señales y se añade a la lista conjunta de conexiones ya realizadas (ver figura 49). Este proceso se repite con todas las entradas hasta completar las conexiones de las entradas digitales (ver figura 50). El mismo proceso se siguió para las salidas, abriendo la pestaña de salidas digitales y el módulo EL2809 de salidas digitales del EtherCAT (ver figura 51). Se realizaron las conexiones de todas las salidas (ver figura 52) finalizando entonces el proceso de mapeo de entradas/salidas. Se guardaron todos los cambios antes de continuar con la siguiente actividad de esta fase.

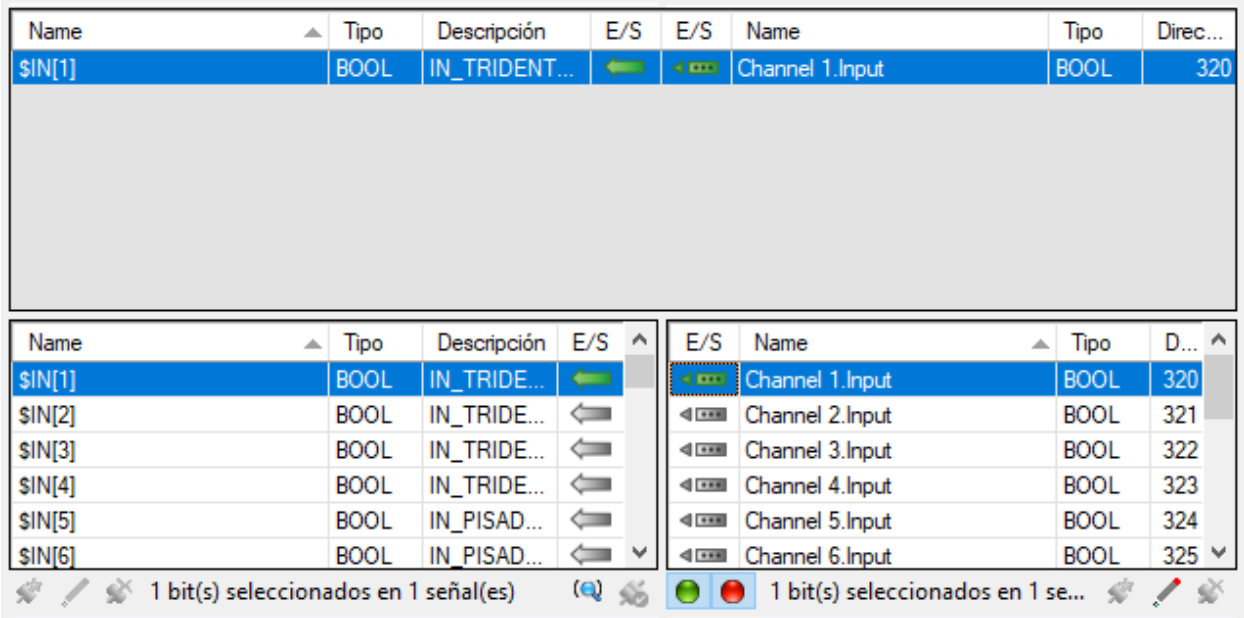


Figura 49: Proceso de mapeo de entradas digitales en WorkVisual para el proyecto activo “WorkingProject_13052023”.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Name	Tipo	Descripción	E/S	E/S	Name	Tipo	Di...
\$IN[10]	BOOL	IN_PRESENC...	←	←	Channel 10.Input	BOOL	329
\$IN[11]	BOOL	IN_PRESENC...	←	←	Channel 11.Input	BOOL	330
\$IN[12]	BOOL	IN_PRESENC...	←	←	Channel 12.Input	BOOL	331
\$IN[13]	BOOL	IN_VENTOSA...	←	←	Channel 13.Input	BOOL	332
\$IN[14]	BOOL	IN_VENTOSA...	←	←	Channel 14.Input	BOOL	333
\$IN[15]	BOOL	IN_VENTOSA...	←	←	Channel 15.Input	BOOL	334
\$IN[16]	BOOL	IN_VENTOSA...	←	←	Channel 16.Input	BOOL	335

Name	Tipo	Descripción	E/S
\$IN[11]	BOOL	IN_PRES...	←
\$IN[12]	BOOL	IN_PRES...	←
\$IN[13]	BOOL	IN_VENT...	←
\$IN[14]	BOOL	IN_VENT...	←
\$IN[15]	BOOL	IN_VENT...	←
\$IN[16]	BOOL	IN_VENT...	←

E/S	Name	Tipo	D...
←	Channel 12.Input	BOOL	331
←	Channel 13.Input	BOOL	332
←	Channel 14.Input	BOOL	333
←	Channel 15.Input	BOOL	334
←	Channel 16.Input	BOOL	335

1 bit(s) seleccionados en 1 señal(es) 1 bit(s) seleccionados en 1 se...

Figura 50: Proceso finalizado de mapeo de entradas digitales en WorkVisual para el proyecto activo “WorkingProject_13052023”.

Fuente: Alenza, M. (2023).

KR C E/S Variables KR C SPS Buses de campo

- E/S
 - Entradas analógicas
 - Salidas analógicas
 - Entradas digitales
 - Salidas digitales ←

KR C E/S SPS Buses de campo

- Resolver Digital Converter (RDC)
- Electronic Mastering Device (EMD)
- KUKA System Bus (SYS-X48)
- CIB Safety Modul (SION-CIB)
- Safety Interface Board SIB Standard (SION)
- KUKA Extension Bus (SYS-X44)
- EK1100 EtherCAT Coupler (2A E-Bus)
- EL1809 16Ch. Dig. Input 24V, 3ms
- EL2809 16Ch. Dig. Output 24V, 0.5A ←

Name	Tipo	Descripción	E/S	E/S	Name	Tipo	Direc...

Name	Tipo	Descripción	E/S
\$OUT[1]	BOOL	OUT_MET...	→
\$OUT[2]	BOOL	OUT_SAC...	→
\$OUT[3]	BOOL	OUT_MET...	→
\$OUT[4]	BOOL	OUT_SAC...	→
\$OUT[5]	BOOL	OUT_PIS...	→
\$OUT[6]	BOOL	OUT_PIS...	→

E/S	Name	Tipo	D...
▶	Channel 1.Output	BOOL	12...
▶	Channel 2.Output	BOOL	12...
▶	Channel 3.Output	BOOL	12...
▶	Channel 4.Output	BOOL	12...
▶	Channel 5.Output	BOOL	12...
▶	Channel 6.Output	BOOL	12...

1 bit(s) seleccionados en 1 señal(es) 1 bit(s) seleccionados en 1 se...

Figura 51: Pestañas de Salidas digitales y Buses de campo (módulo EL2809) para el mapeo de salidas digitales en WorkVisual.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Name	Tipo	Descripción	E/S	E/S	Name	Tipo	Di...
\$SOUT[13]	BOOL	ROBOT_DET...	→	▶	Channel 10.Output	BOOL	12...
\$SOUT[14]	BOOL	PALETA_LLE...	→	▶	Channel 11.Output	BOOL	12...
\$SOUT[15]	BOOL	ERROR_COM...	→	▶	Channel 12.Output	BOOL	12...
\$SOUT[16]	BOOL	ERROR_PRE...	→	▶	Channel 13.Output	BOOL	12...
\$SOUT[17]	BOOL	ERROR_TOM...	→	▶	Channel 14.Output	BOOL	12...
\$SOUT[18]	BOOL	PARADA_EM...	→	▶	Channel 15.Output	BOOL	12...
\$SOUT[19]	BOOL	PUERTA_ABI...	→	▶	Channel 16.Output	BOOL	12...

Name	Tipo	Descripción	E/S	E/S	Name	Tipo	D...
\$SOUT[14]	BOOL	PALETA_...	→	▶	Channel 11.Output	BOOL	12...
\$SOUT[15]	BOOL	ERROR_C...	→	▶	Channel 12.Output	BOOL	12...
\$SOUT[16]	BOOL	ERROR_P...	→	▶	Channel 13.Output	BOOL	12...
\$SOUT[17]	BOOL	ERROR_T...	→	▶	Channel 14.Output	BOOL	12...
\$SOUT[18]	BOOL	PARADA_...	→	▶	Channel 15.Output	BOOL	12...
\$SOUT[19]	BOOL	PUERTA_...	→	▶	Channel 16.Output	BOOL	12...

1 bit(s) seleccionados en 1 señal(es) 1 bit(s) seleccionados en 1 se...

Figura 52: Proceso finalizado de mapeo de salidas digitales en WorkVisual para el proyecto activo “WorkingProject_13052023”.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Después de este proceso, se intentó nuevamente establecer comunicación con WoV y la unidad de control, pero este intento también fue fallido, ya que el programa WorkVisual no reconocía la celda mediante la red (ver figura 53). En esta situación, lo primero que se descartó fue un fallo en el cable de red que se estaba usando, se conectó otro cable de red que se sabía presentaba un buen funcionamiento, pero también en esta ocasión no se logró la comunicación. Se procedió a cambiar la dirección IP de la computadora, pero tampoco así se establecía comunicación.

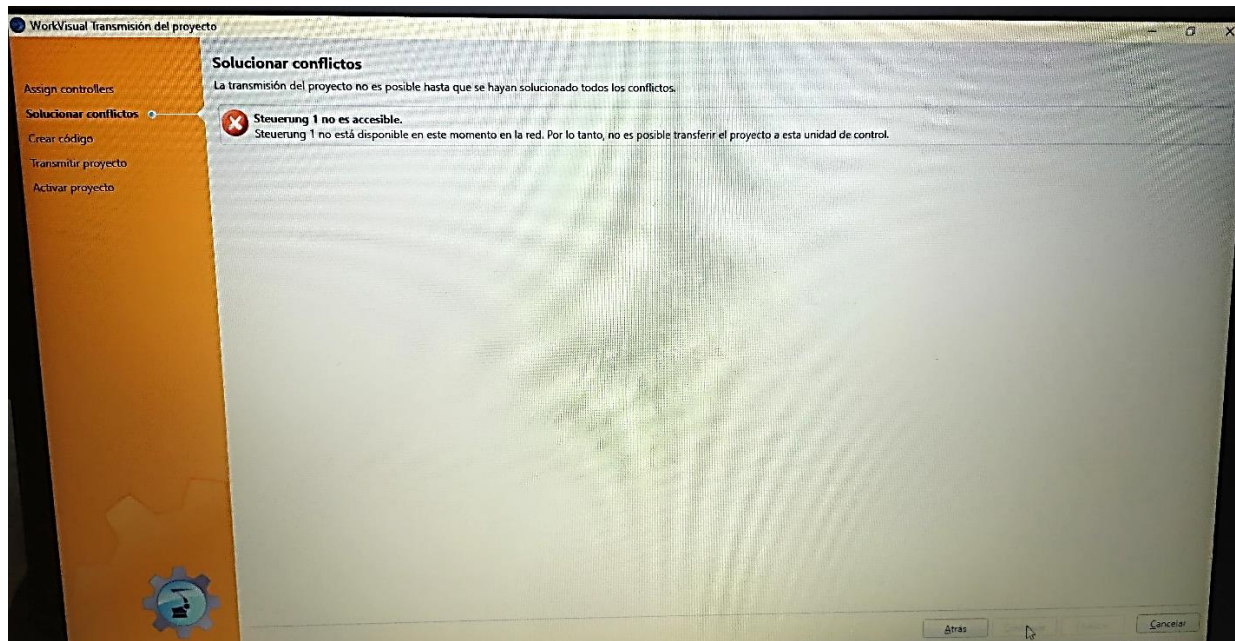


Figura 53: Mensaje de error de la plataforma WorkVisual al no tener comunicación con la celda robotizada mediante el cable de red.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Durante varias semanas, se llevó a cabo este mismo procedimiento, en el que se probaron cables y direcciones IP distintas, además que se llevaron a cabo estas pruebas con distintos computadores, sin obtener resultados satisfactorios. En este mismo escenario, se buscó hacer contacto con el servicio al cliente de KUKA, para encontrar una respuesta al problema en cuestión de manos de un soporte experimentado. Se tuvo comunicación con tres soportes de KUKA en distintos países, el primero fue de Chile, el segundo de Colombia y el tercero de Canadá. Todos ellos apuntaron que el sistema por sí solo no debía estar presentando esta falla de comunicación, y que por los archivos de diagnóstico que se extrajeron de la unidad de control no se percibía en principio ninguna dificultad de tipo eléctrica o mecánica en las tarjetas de comunicación de la CCU.

Se continuaron las pruebas anteriormente mencionadas aún sin éxitos. Sin embargo, en un determinado momento, el sistema comenzó a funcionar sin inconvenientes aparentes y se logró establecer por fin la comunicación entre el computador y la unidad de control. El problema que se había estado presentando, de repente, desapareció sin razón aparente, por lo que se concluyó que el sistema había estado sujeto a algún tipo de interferencia que finalmente había desaparecido. Más allá de indagar en las causas que habían generado esta interferencia, se procedió con el proceso que se pretendía seguir para la fase actual y se buscó cargar el nuevo archivo de WoV en la unidad de control.

El proceso de carga en primer lugar solicita seleccionar la configuración que se desea cargar (ver figura 54) y, luego que reconoce la celda robotizada mediante la comunicación de la red, procede a generar un código (ver figuras 55 a y b). Seguido a esto, el programa procede a transmitir el proyecto desde la computadora hacia la unidad de control (ver figuras 56 a y b). Para finalizar el proceso se tiene que activar el proyecto, en este punto el proceso en WorkVisual se pausa (ver figura 57) esperando la confirmación de activación que aparece en el Smart Pad de la unidad de control (ver figura 58).

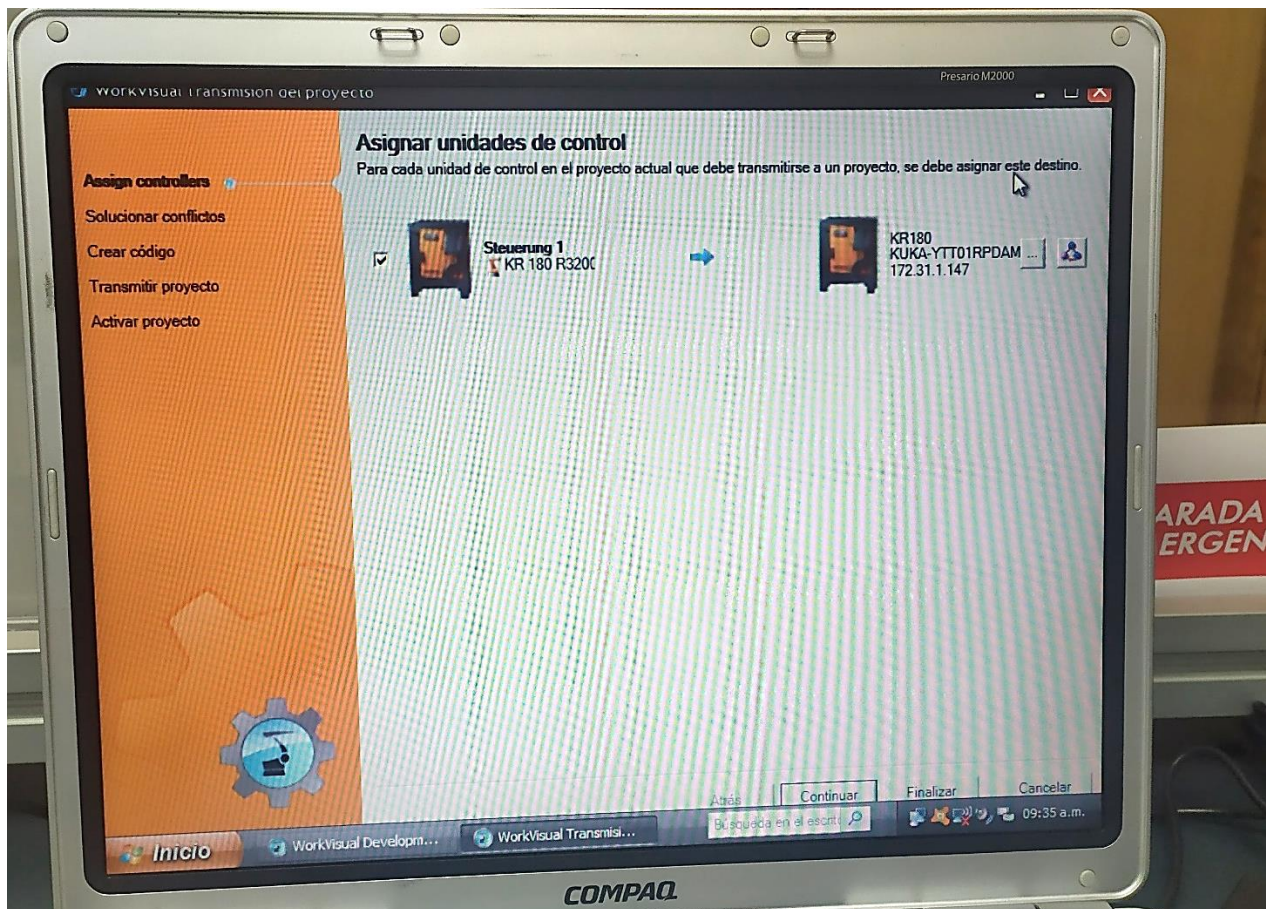


Figura 54: Selección de la configuración de WorkVisual a cargar en la unidad de control de la celda robotizada.

Fuente: Alenza, M. (2023).|

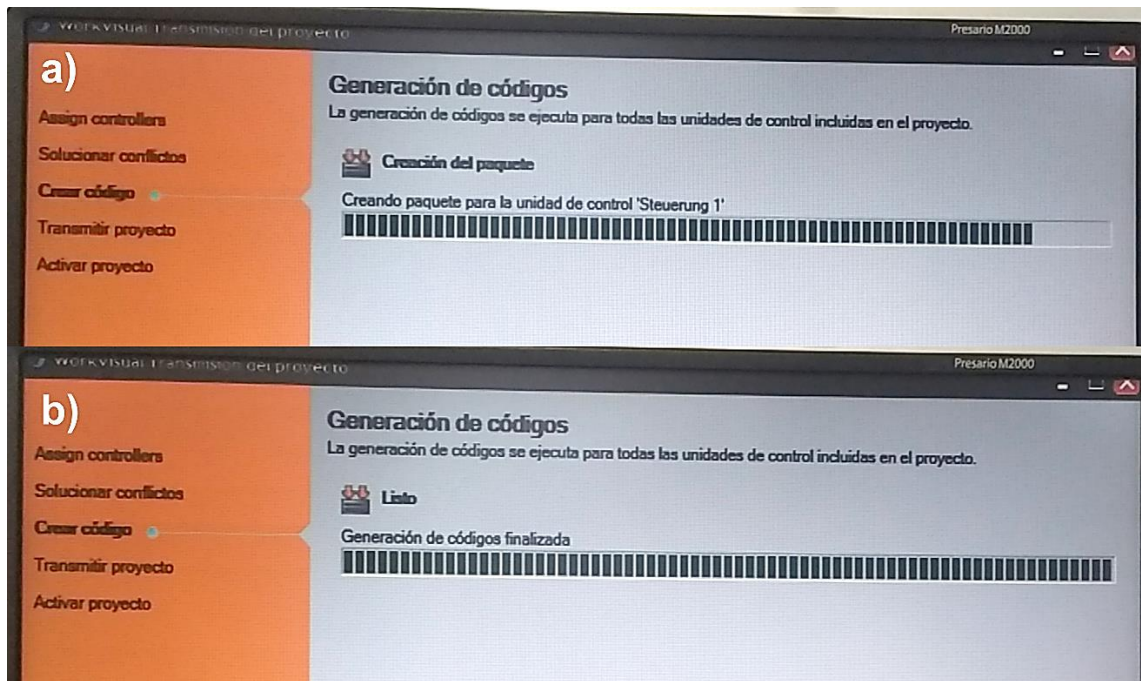


Figura 55: Generación de códigos en WorkVisual.
 a) Proceso de generación b) Finalización del proceso.
 Fuente: Alenza, M. (2023).

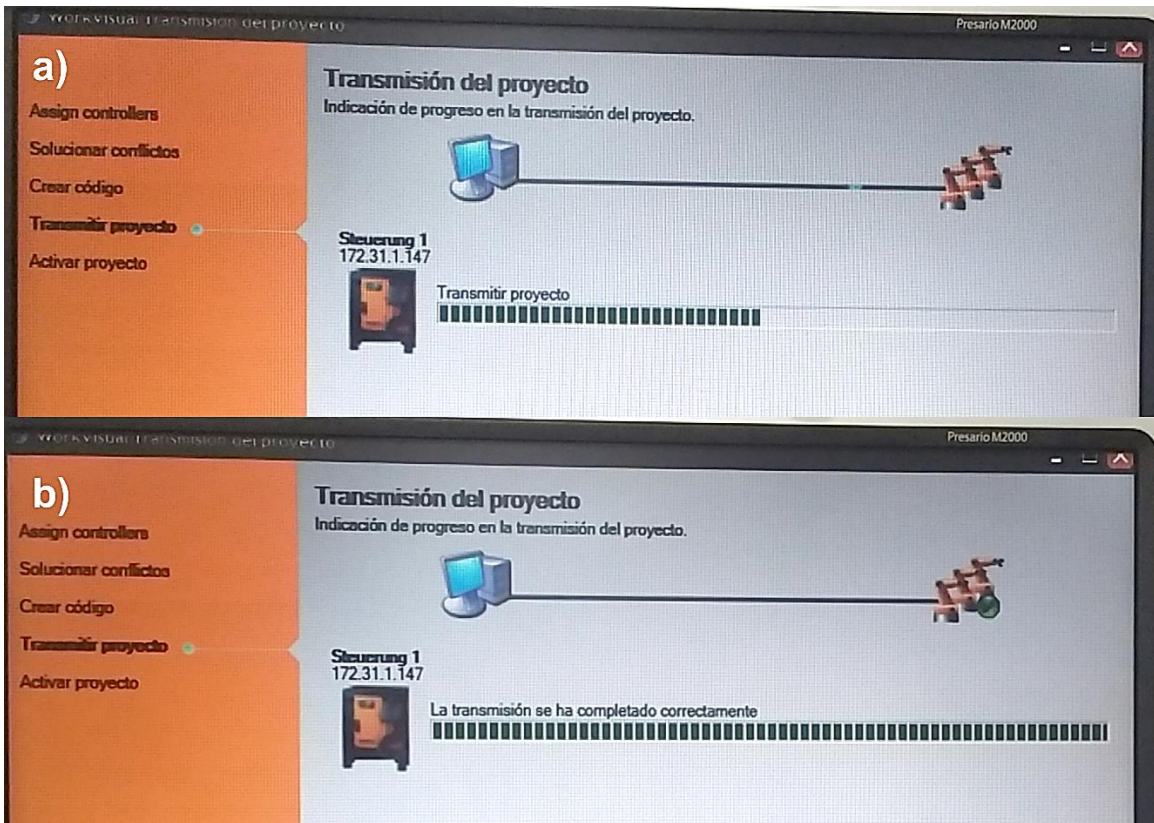


Figura 56: Transmisión del proyecto en WorkVisual.
 a) Proceso de transmisión b) Finalización del proceso.
 Fuente: Alenza, M. (2023).

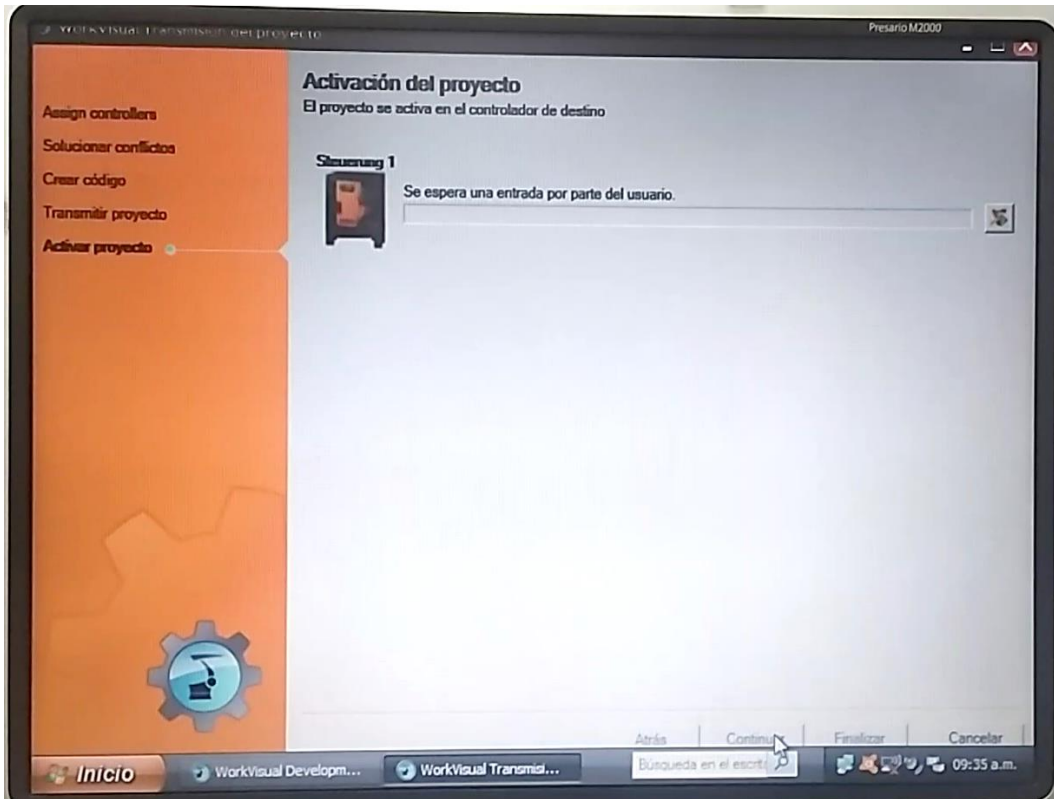


Figura 57: Proceso de activación pausado en WorkVisual, “esperando una entrada por parte del usuario”.

Fuente: Alenza, M. (2023).

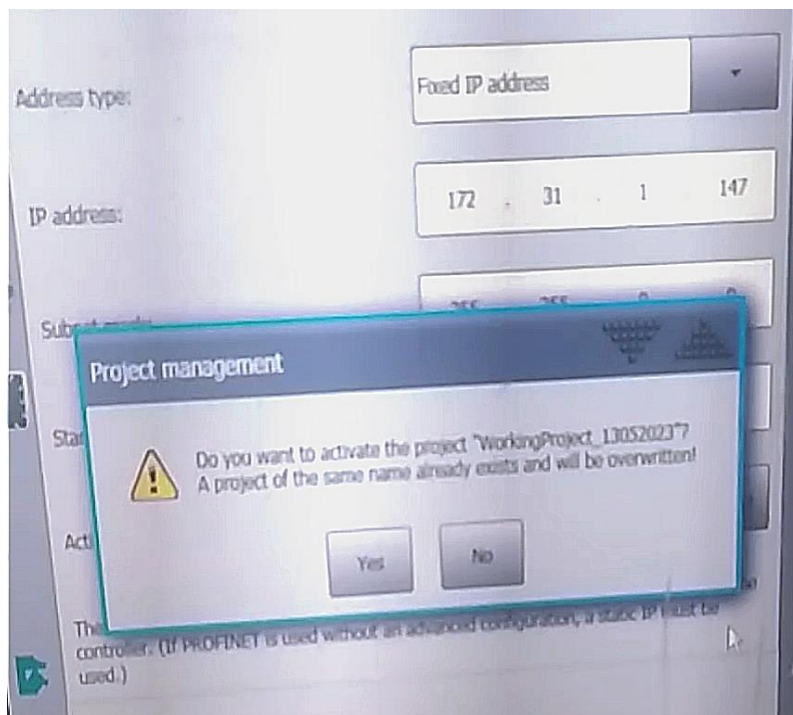


Figura 58: Mensaje de confirmación de activación del proyecto en el Smart Pad de la CCU.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Una vez se hace la confirmación, se espera a que la reconfiguración se realice (ver figura 59) y la finalización del proceso es indicada por WoV (ver figura 60). Justo después de todo este proceso, el Smart Pad solicitó una confirmación de la configuración de seguridad igual a la vista en la figura 42. Ya realizada esta confirmación, se obtuvo una nueva lista de errores. Como se puede observar en la figura 61, el número de errores se redujo considerablemente, además de que todos los errores relacionados al terminal X44 desaparecieron. Es de destacar que las figuras del Smart Pad a lo largo de este proceso están en inglés, ya que se tuvo que cambiar el idioma del sistema para comunicarnos correctamente con los soportes técnicos de KUKA.

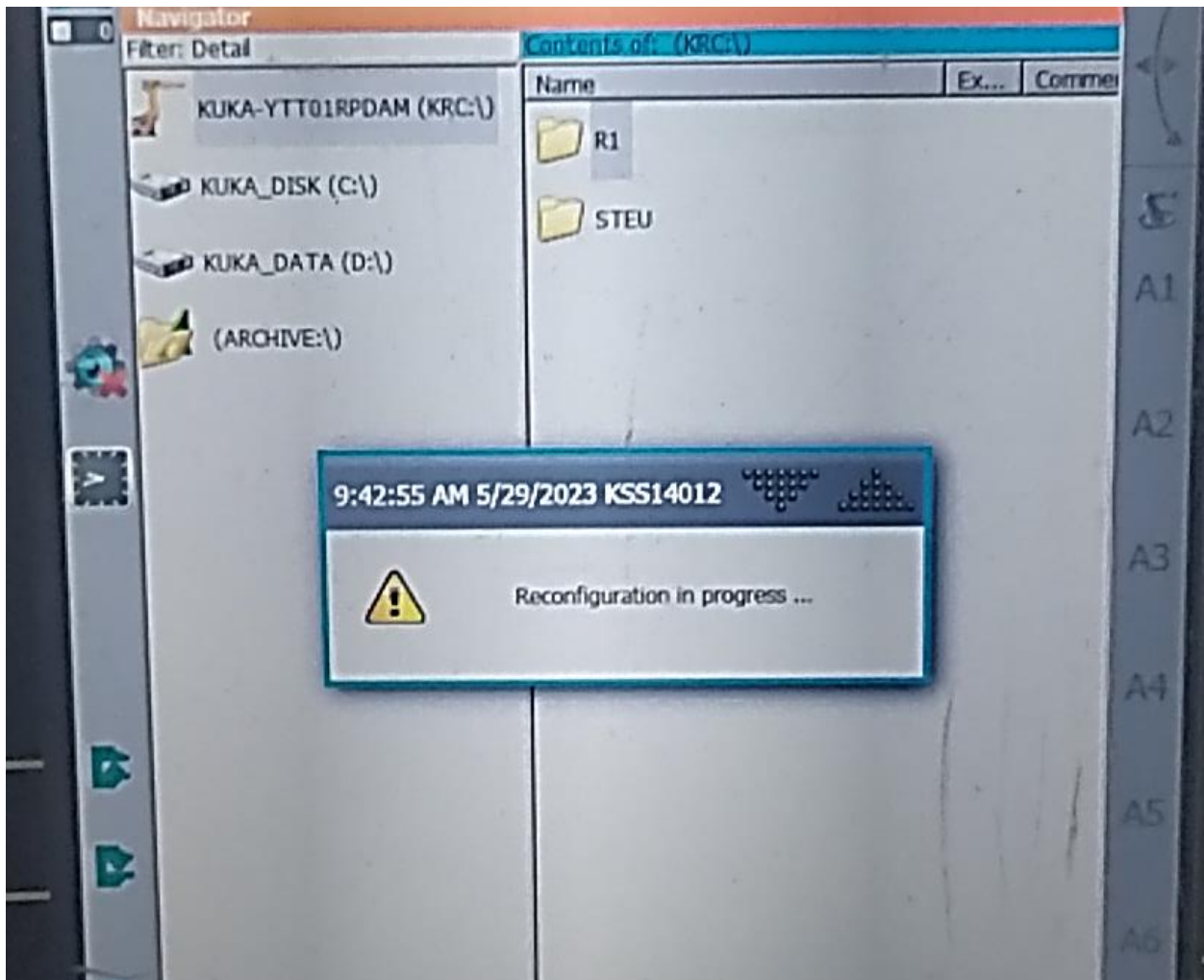


Figura 59: Proceso de reconfiguración en progreso, progreso de activación del proyecto en el Smart Pad de la CCU.

Fuente: Alenza, M. (2023).

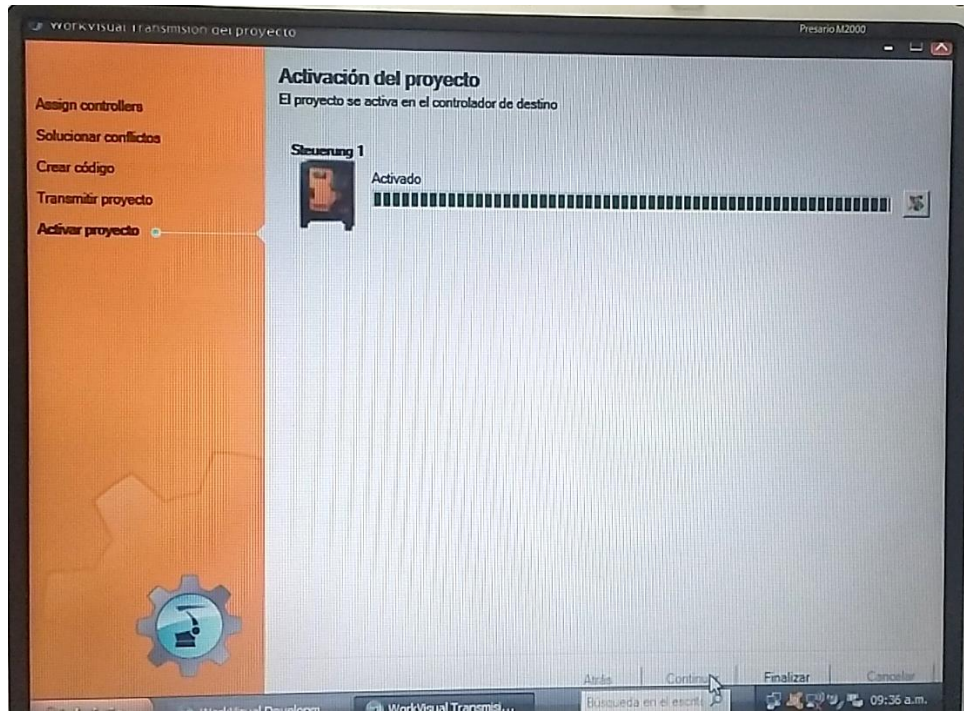


Figura 60: Activación finalizada, indicado en WorkVisual.

Fuente: Alenza, M. (2023).

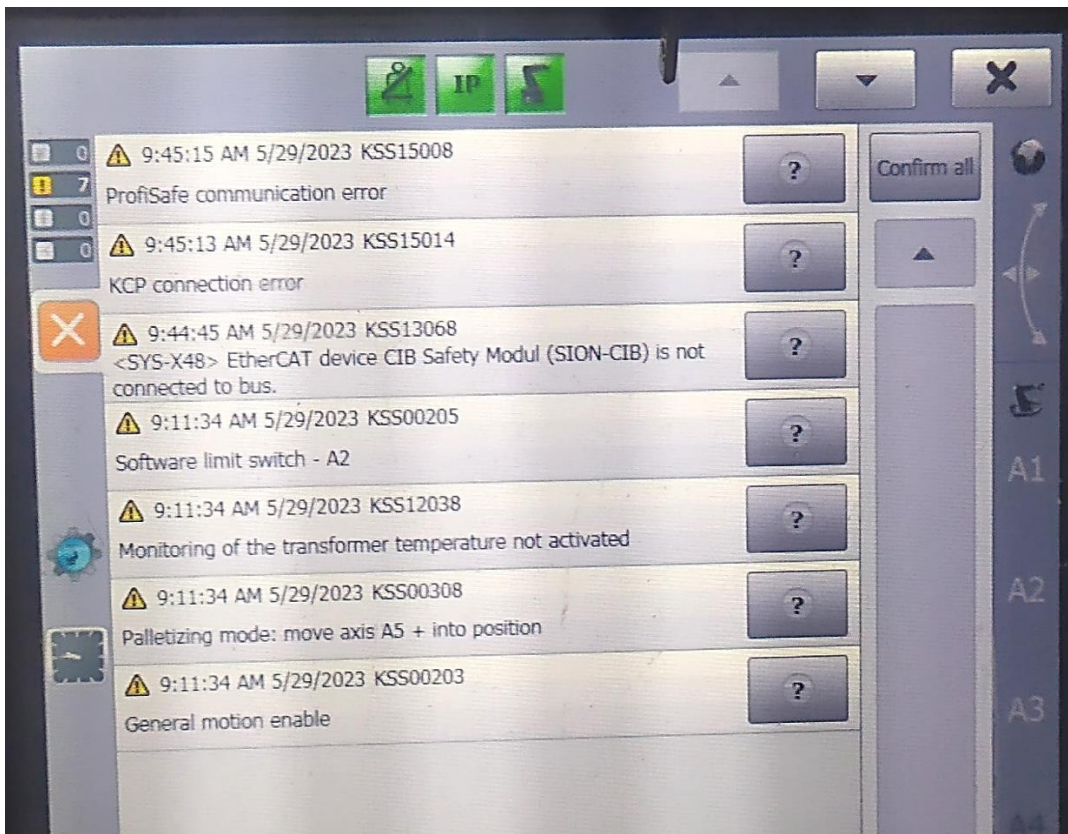


Figura 61: Lista de errores de software actualizada luego de la carga del nuevo proyecto activo.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Los siguientes errores a tratar fueron el de “control de temperatura del transformador no activado” (“Monitoring of the transformer temperature not activated”) y el de “Fallo de comunicación ProfiSafe” (“ProfiSafe communication error”). El primero de los errores se debe a que cuando se alimenta la unidad de control y el robot con un transformador genérico, y no de la marca KUKA, es necesario realizar un ajuste adicional en el programa de WorkVisual. El segundo error es una mala configuración de la interfaz de seguridad, ya que en la celda robotizada se hace uso de un sistema SIB (Safety Interface Board) en lugar de un sistema ProfiSafe. Esta configuración también puede ser corregida en WoV.

En el caso del error del transformador, en la pestaña superior “Editores” del WoV se seleccionó la opción “Ajustes adicionales del controlador” (ver figura 62). Aquí se debe activar la opción “Control de temperatura del transformador (V)KR C4”, ésta queda tildada como se muestra en la figura 63. Por su parte para el error de ProfiSafe, se abrió el “Control de seguridad” ubicado en el árbol de la estructura de proyecto (ver figura 64). En el apartado “Opciones de hardware”, específicamente en la pestaña “Configuración local de seguridad”, se cambió la interfaz de cliente a SIB en lugar de ProfiSafe (ver figura 65).

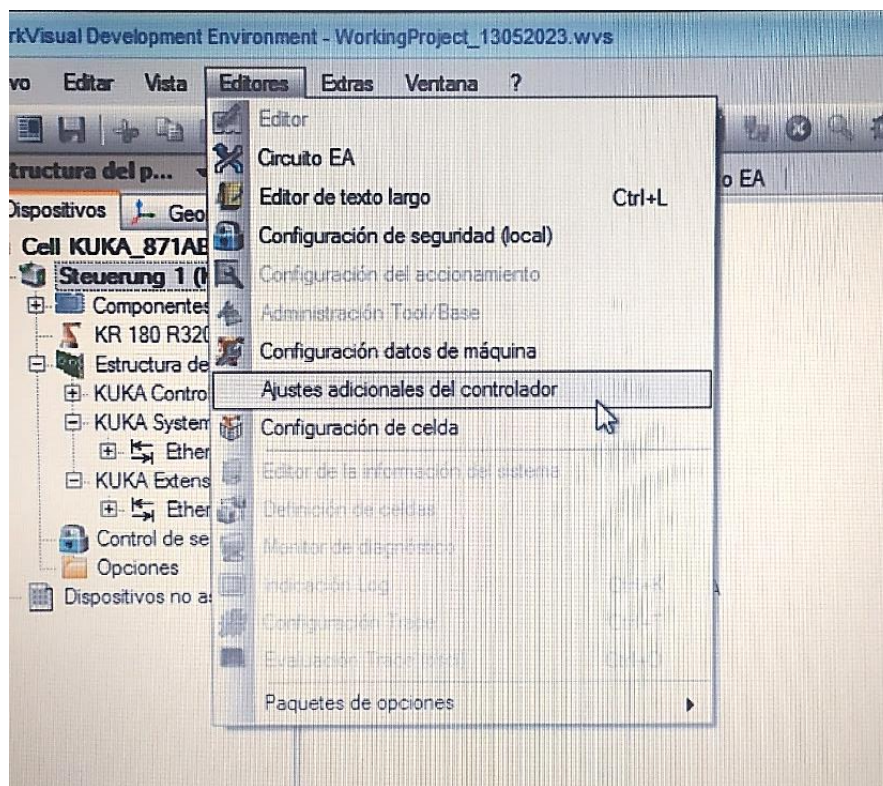


Figura 62: Opción “Ajustes adicionales del controlador” en la pestaña “Editores” en el programa WorkVisual.

Fuente: Alenza, M. (2023).

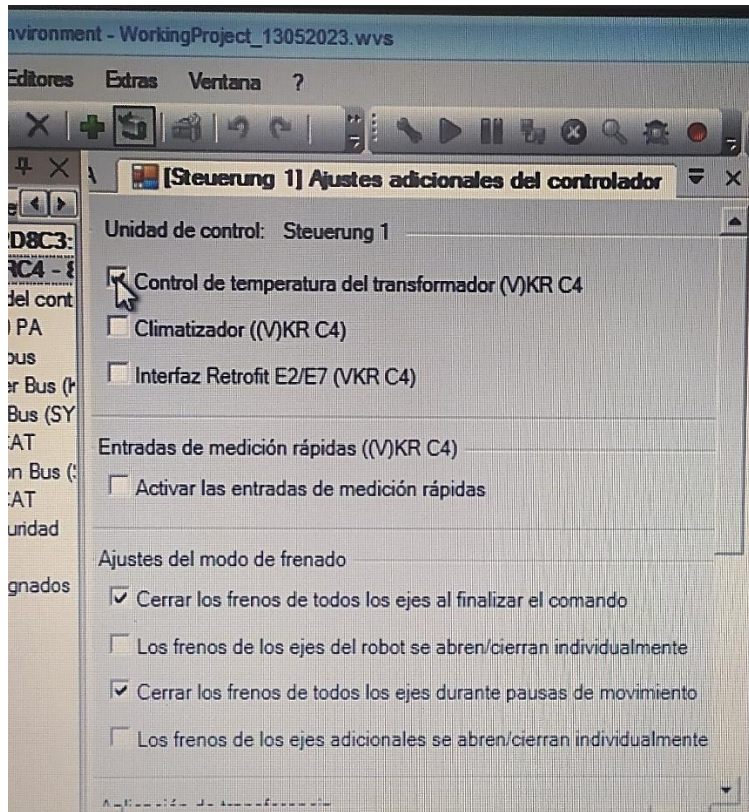


Figura 63: Selección de la opción “Control de temperatura del transformador (V)KR C4” en el programa WorkVisual.
Fuente: Alenza, M. (2023).

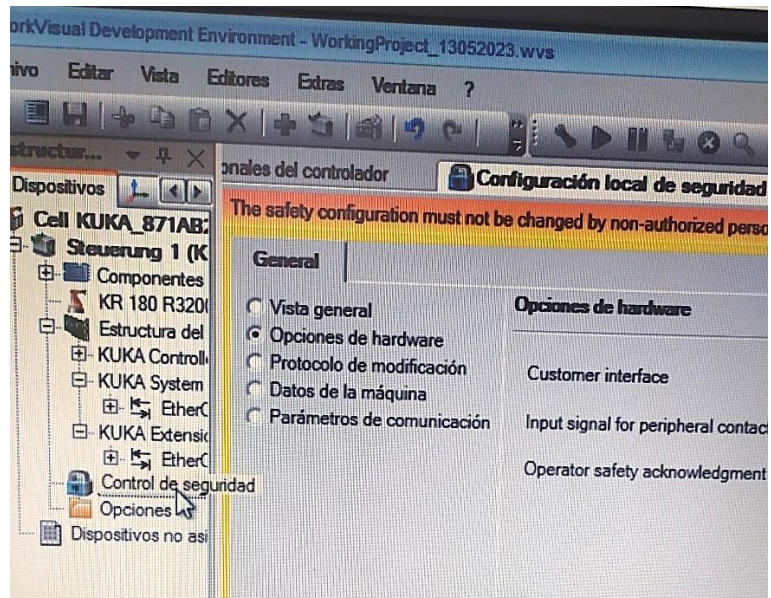


Figura 64: Pestaña “Control de seguridad”, apartado “Opciones de hardware” en el programa WorkVisual.
Fuente: Alenza, M. (2023).

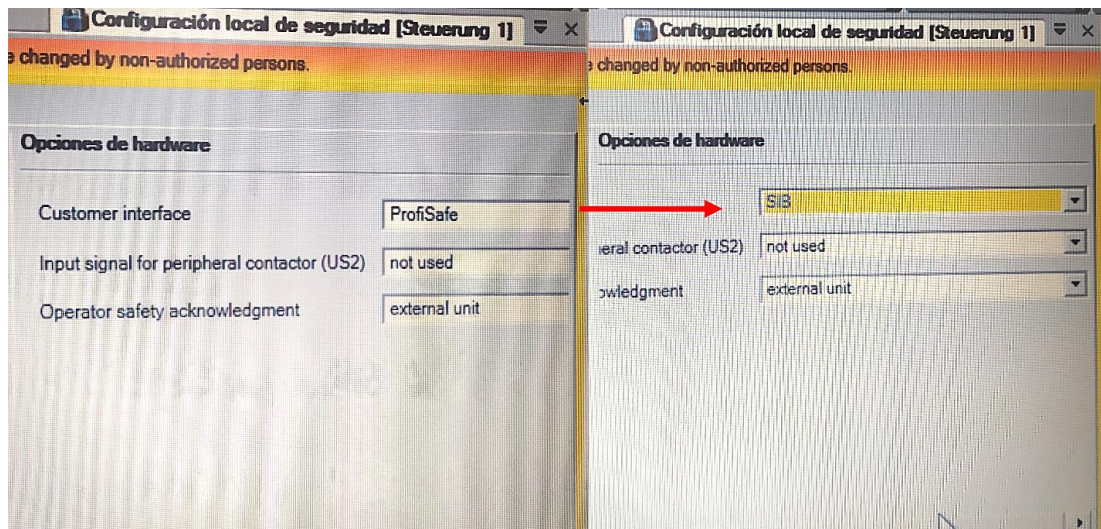


Figura 65: Cambio de ProfiSafe a SIB en la “Interfaz de cliente” en la “Configuración local de seguridad” en el programa WorkVisual.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Una vez realizados estos cambios, se guardó el proyecto y se volvió a cargar en la unidad de control siguiendo el mismo procedimiento que se explicó anteriormente. Una vez hecha la confirmación de seguridad, la nueva lista de errores quedó como se muestra en la figura 66. Se puede notar que el error del control de temperatura desapareció, pero el error de ProfiSafe se intercambió por el error “Fallo de comunicación aparato seguro” (“Safe device communication error”). Éste junto con el error de “KCP error de conexión” (“KCP connection error”) y el error referente al terminal X48 se resolvieron a continuación.

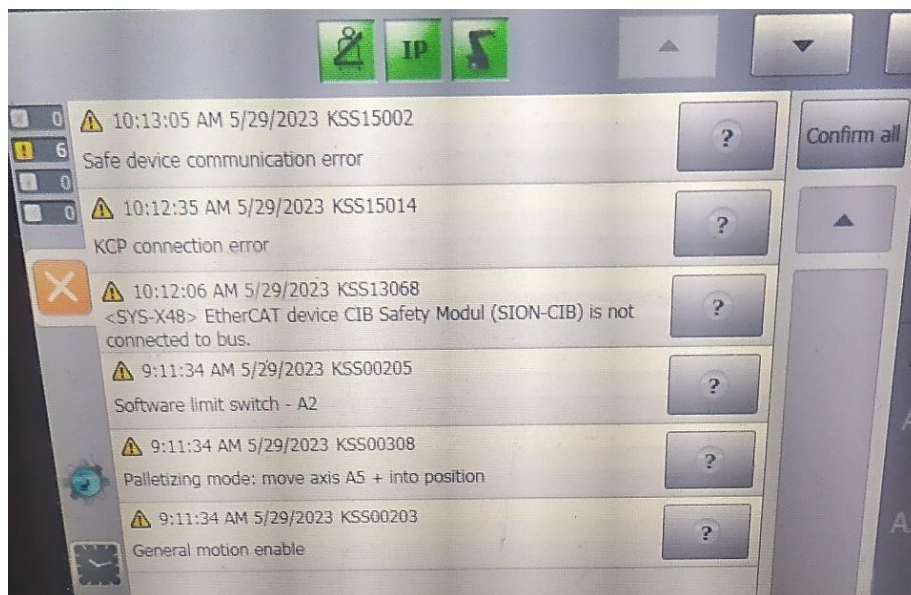


Figura 66: Lista de errores de software después de los cambios de ProfiSafe y control de temperatura del transformador.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Los tres errores mencionados anteriormente se deben también a un error de configuración en el programa WorkVisual. En este caso, el archivo original (“2011013376000012000207573-5 prueba modulo ana beckhoff”) del cual se editó el nuevo programa activo tenía en su estructura de proyecto un módulo SIB Extended (ver figura 67a), que es una segunda placa de seguridad que se puede agregar en la unidad de control. En la disposición física de la unidad de control en la celda robotizada, no se posee esta placa instalada, es por eso que al tenerla agregada en el programa de WoV la CCU no la detecta pero “cree” tenerla instalada con un fallo de comunicación. Para resolver esto, solo se tiene que eliminar este módulo de la estructura del proyecto, quedando la estructura como se muestra en la figura 67b. Una vez cargado el programa modificado y haciendo la confirmación de seguridad, la lista de errores quedó como se muestra en la figura 68.

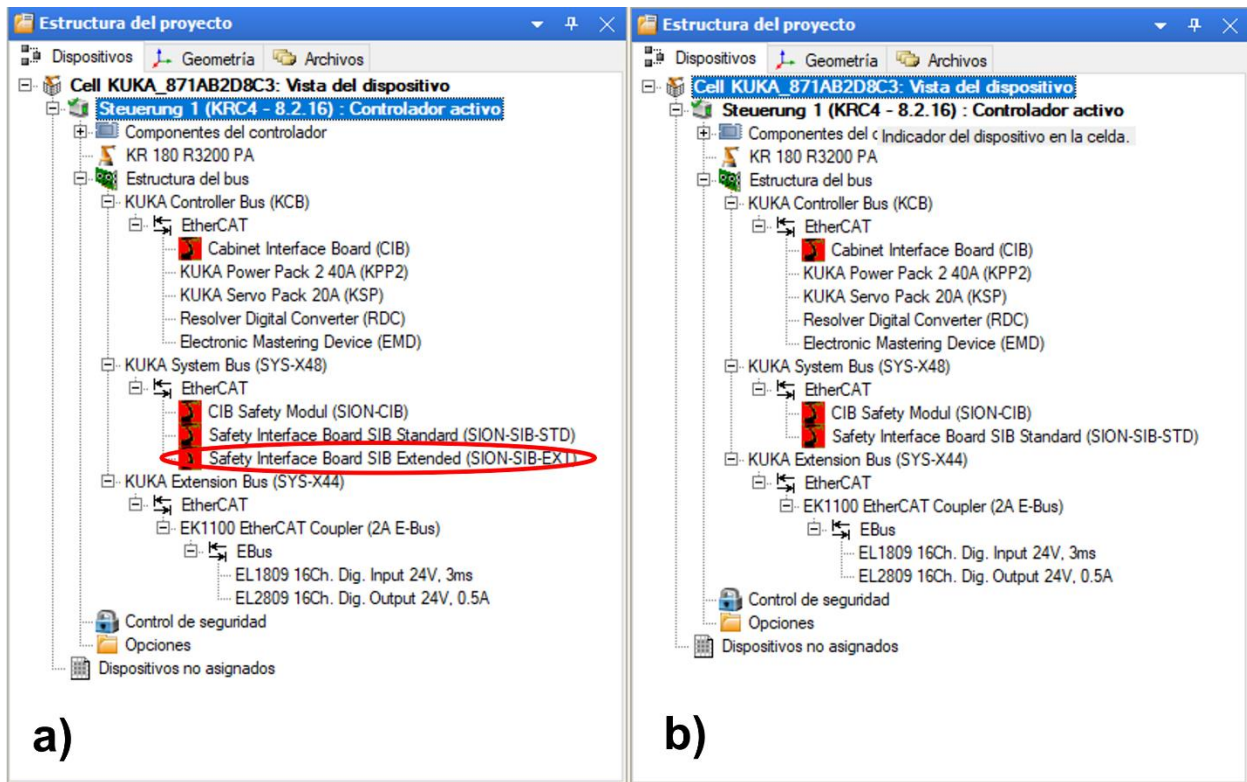


Figura 67: Estructura de proyecto antes (a) y después (b) de la modificación del SIB Extended en el proyecto activo en WorkVisual.

Fuente: Alenza, M. (2023).

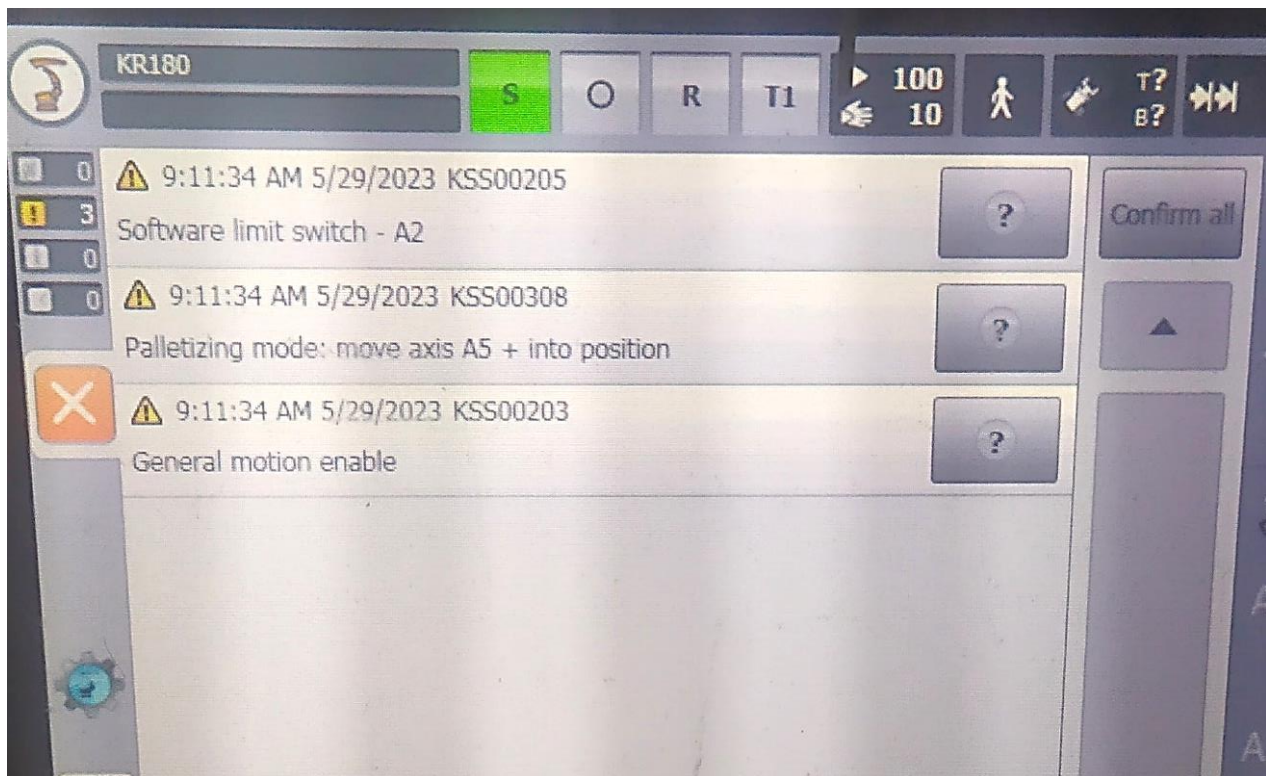


Figura 68: Lista de errores de software después de la modificación del módulo SIB Extended en el proyecto activo de la unidad de control.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Finalmente se tomó acción sobre el error “Liberación de movimiento general” (“General motion enable”). La habilitación de movimiento del robot en la unidad de control, es controlada por una señal llamada “\$MOVE_ENABLE”. Esta señal debe tener el valor 1025 (TRUE) para permitir el movimiento del robot. La misma señal está asociada al módulo EtherCAT, y es de esperarse que su valor se haya visto modificado con todas las variaciones y configuraciones hechas a este módulo. Para reestablecer el valor de la señal \$MOVE_ENABLE es necesario ir a la sección Visualización> Entradas/Salidas> Automático Externo (ver figura 69). Esto despliega una lista preliminar de las señales básicas presentes en el robot, en esta lista se debe seleccionar el botón Configurar en la parte inferior izquierda (ver figura 70) para modificar el valor de alguna de ellas. Con esto, aparece otra lista de señales más detallada (ver figura 71 a) donde se buscó la señal de interés (“Movimiento habilitado”) y se modificó su valor para que sea 1025 (ver figura 71 b). De este modo, el error finalmente desaparece como se observa en la figura 72.

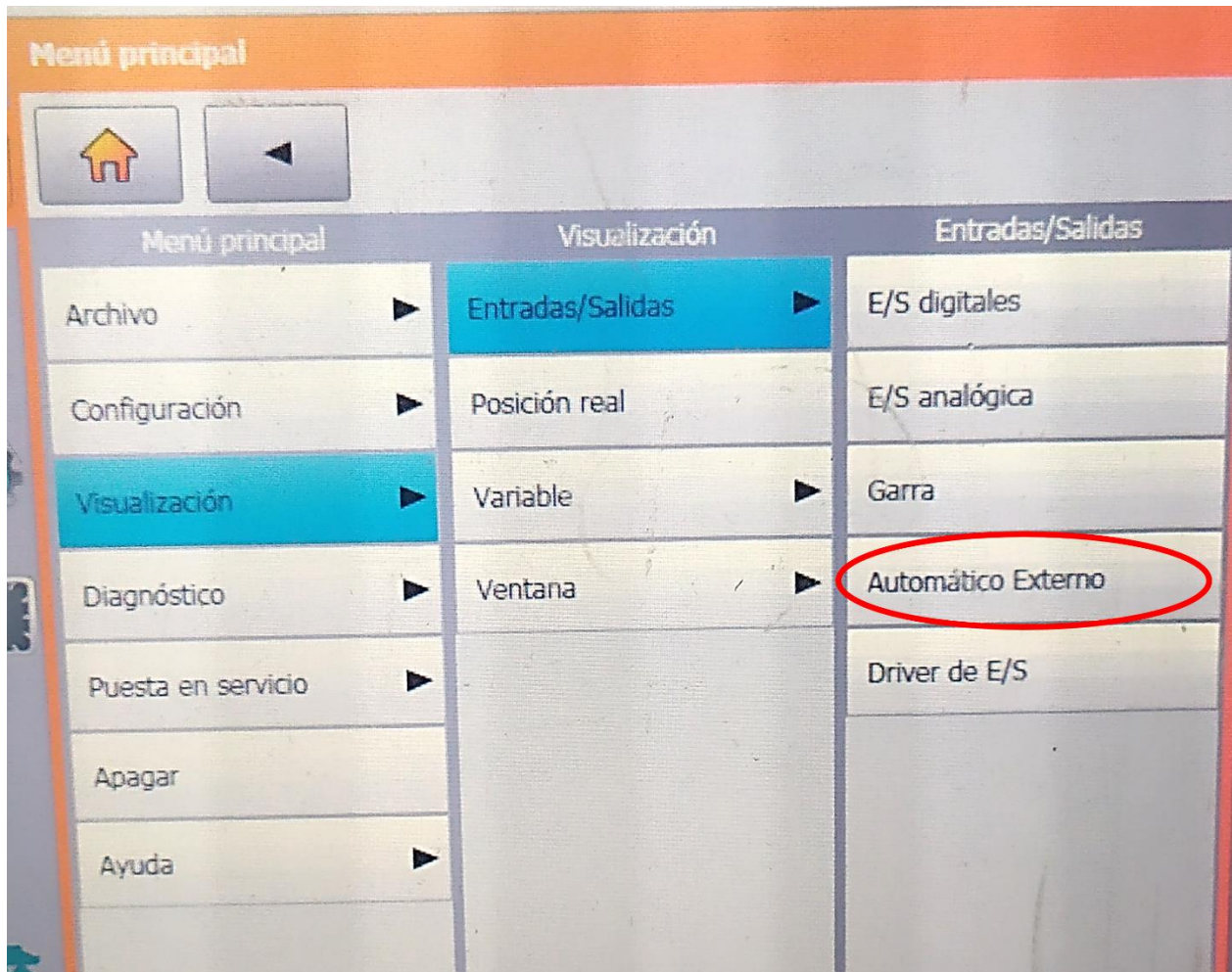


Figura 69: Sección Visualización> Entradas/Salidas> Automático Externo para la modificación del valor de la señal básica \$MOVE_ENABLE.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Visualización de automático externo: Entradas

	Est.	Denominación
1	0	Nº de programa actual
2	<input type="radio"/>	Tipo de nº de programa
3	<input type="radio"/>	Ancho de bit del nº de programa
4	<input type="radio"/>	Primer bit de nº de programa
5	<input type="radio"/>	Bit de paridad
6	<input type="radio"/>	Nº de programa válido.
7	<input type="radio"/>	Inicio de programa
8	<input checked="" type="radio"/>	Movimiento habilitado
9	<input type="radio"/>	Confirmación de error
10	<input checked="" type="radio"/>	Accionamientos desconectados (invertido)
11	<input type="radio"/>	Accionamientos ON
12	<input checked="" type="radio"/>	Activar interfaz

Configurar Salidas Detalles

Figura 70: Lista preliminar de señales básicas del Robot Industrial con botón “Configurar” para el cambio de valor de dichas señales.
 Fuente: Alenza, M. (2023).

Configuración de automático externo: Entradas				
	Denominación	Tipo	Nombre	Valor
1	Tipo de nº de programa	Var	PGNO_TYPE	1
2	Número de programa reflejado	Var	REFLECT_PROG_I	0
3	Ancho de bit del nº de programa	Var	PGNO_LENGTH	8
4	Primer bit de nº de programa	Var	PGNO_FBIT	33
5	Bit de paridad	Var	PGNO_PARITY	41
6	Nº de programa válido.	Var	PGNO_VALID	42
7	Inicio de programa	Var	\$EXT_START	33
8	Movimiento habilitado	Var	\$MOVE_ENABLE	40
9	Confirmación de error	Var	\$CONF_MESS	34
10	Accionamientos desconectados (invertido)	Var	\$DRIVES_OFF	1025
11	Accionamientos ON	Var	\$DRIVES_ON	35
12	Activar interfaz	Var	\$I_O_ACT	1025

Figura 71: Lista detallada de señales básicas del Robot Industrial. Señal \$MOVE_ENABLE con a) Valor erróneo y b) Valor correcto modificado

Fuente: Alenza, M. (2023).

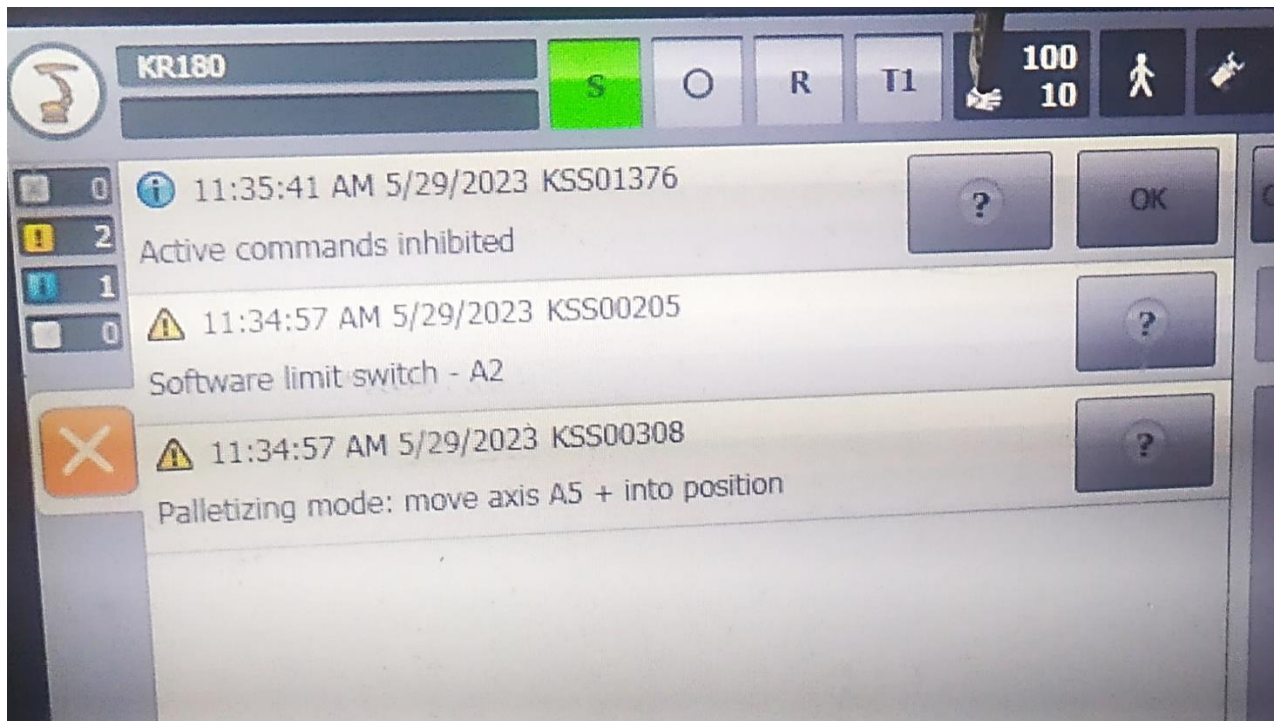


Figura 72: Lista final de errores de software de la unidad de control KRC4.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Los dos errores restantes en la lista corresponden a errores de calibración que no deberían impedir la puesta en servicio del robot, es decir, el robot debería ser capaz de moverse aun presentando estos dos errores. Sin embargo, cuando se intentó hacer unas pruebas de movimiento con el robot, éste no respondió a los comandos activos, haciendo un ruido estruendoso y permaneciendo en la misma posición que se encontraba. Acompañado de este comportamiento, en el Smart Pad saltaron las dos advertencias que se muestran a continuación, indicando un fallo en la fase principal del KUKA Power Pack (KPP) (ver figura 73) y una violación de la rampa de frenado (ver figura 74). La advertencia de falla en la fase principal del KPP es la que más importancia tiene, ya que apunta a uno de los componentes principales de la CCU. Es por esto que se hizo una investigación en torno a esta.

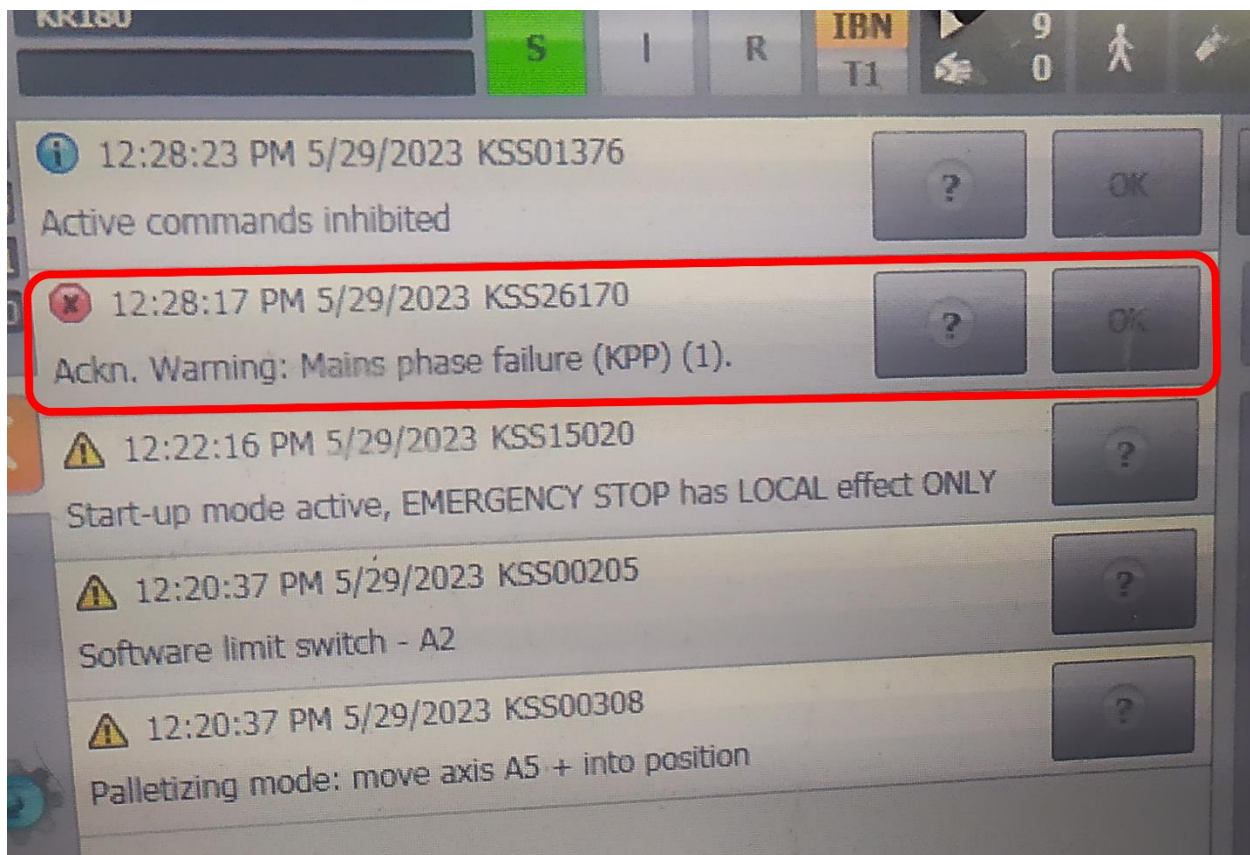


Figura 73: Advertencia: Falla en la fase principal del KPP mostrada en el Smart Pad de la unidad de control en la celda robotizada.

Fuente: Alenza, M. (2023).

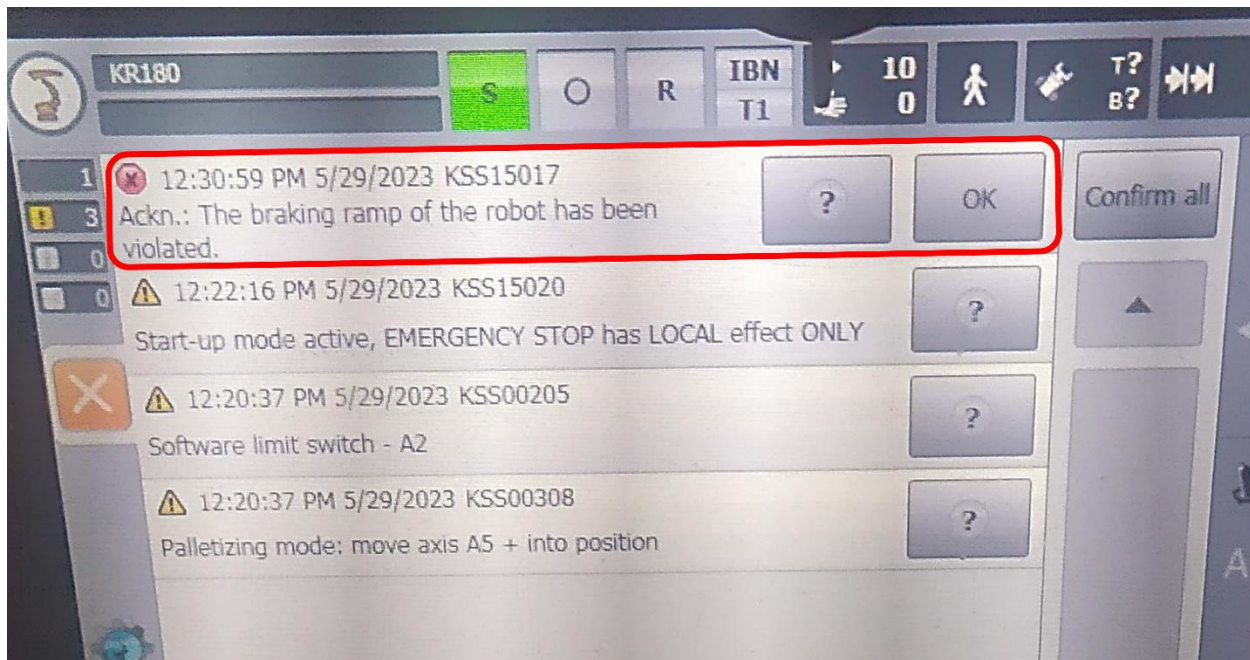


Figura 74: Advertencia “La rampa de frenado del robot ha sido violada” mostrada en el Smart Pad de la unidad de control en la celda robotizada.

Fuente: Alenza, M. (2023).

El KUKA Power Pack (ver figura 75) es un driver que distribuye la alimentación a los accionamientos del robot y otras partes de la unidad de control. Con respecto a la advertencia dirigida al KPP, se realizó una consulta con el soporte especializado de KUKA en Canadá, y lo primero que sugirió fue revisar los voltajes de fase tanto en el transformador de alimentación como en los contactores internos de la CCU. Como se ve en la figura 76 los voltajes de todas las fases del lado del transformador estaban dentro de los valores adecuados, de igual modo con los contactores de la CCU (ver figura 77). Con esto en consideración, el especialista llegó a la conclusión de que existe una falla en el KPP y que éste debe ser reemplazado para la puesta en servicio del robot. Ese procedimiento queda fuera de los alcances de esta investigación, pero es importante documentarlo de manera que la empresa Neumática R pueda usar este trabajo de referencia en un futuro para resolver este problema.

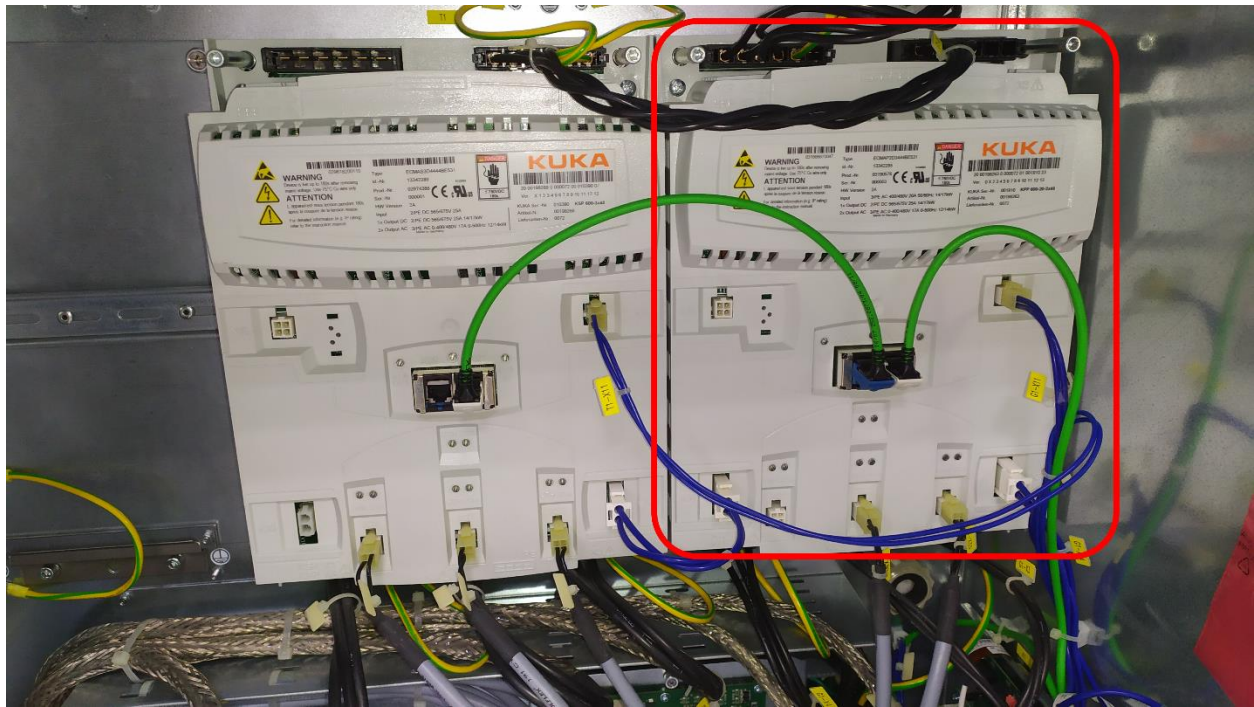


Figura 75: Driver de alimentación KUKA Power Pack (KPP) de la CCU de la celda robotizada.
Fuente: Alenza, M. (2023).

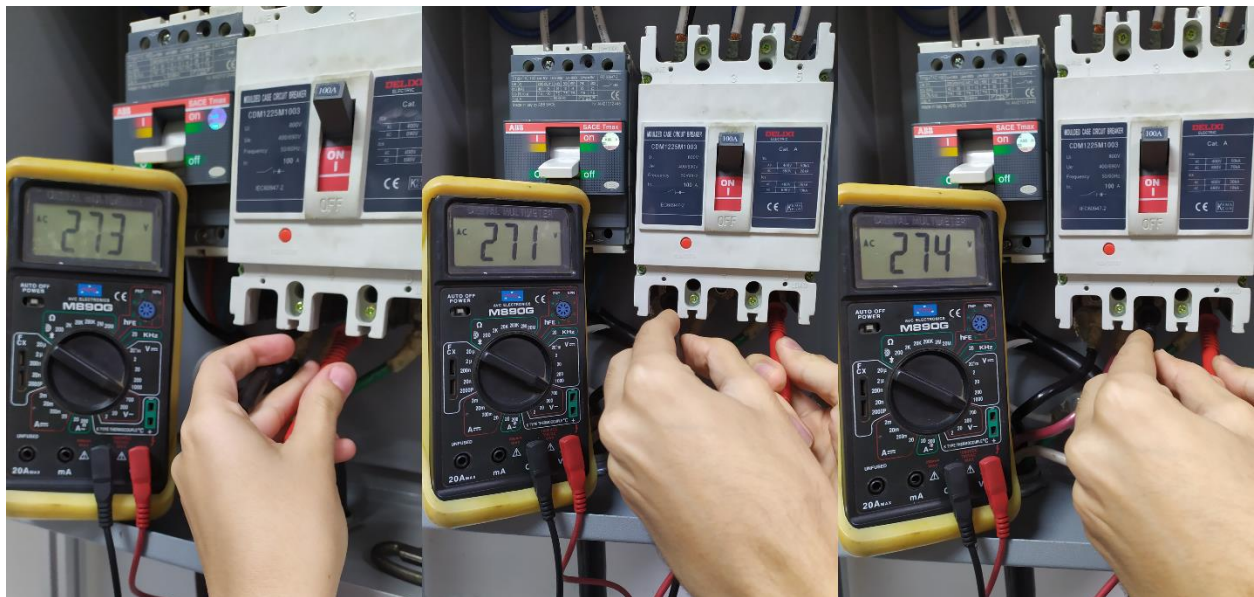


Figura 76: Voltajes en las tres fases del transformador que alimenta a la CCU en la celda robotizada.
Fuente: Alenza, M. (2023).

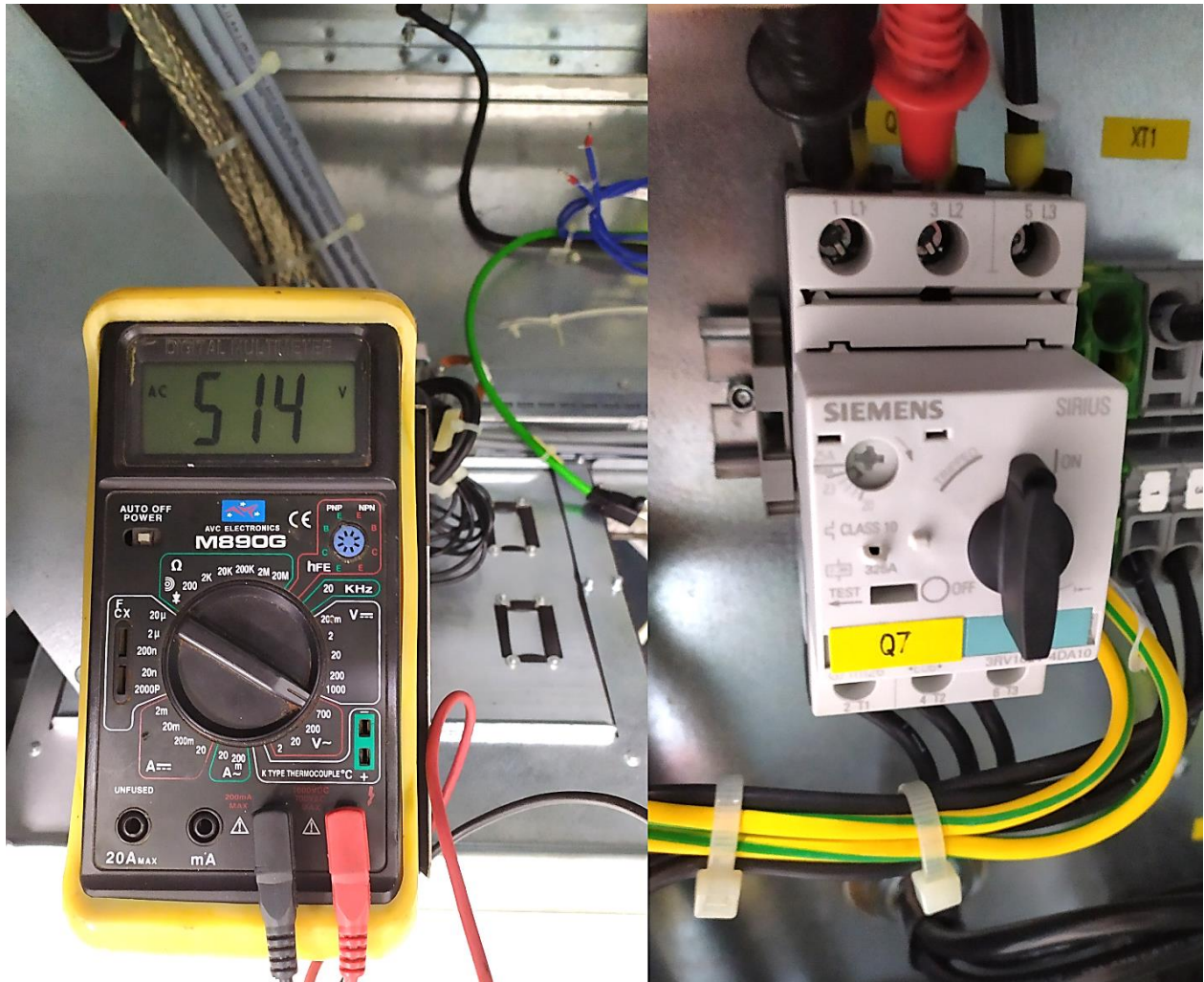


Figura 77: Voltaje en los contactores de la CCU en la celda robotizada.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Fase IV: Comprobación del correcto funcionamiento del sistema de agarre por vacío OCTOPUS de Vuototecnica, que se usará como herramienta terminal.

En esta última fase, se hace revisión del sistema de agarre por vacío OCTOPUS, del fabricante Vuototecnica que se encuentra en la celda robotizada de la empresa Neumática R (ver figura 78). Esta herramienta terminal presenta dos placas de succión unidas por rieles de metal y revestidas con una capa agujereada de goma espuma que le permite mayor fricción con los objetos a levantar. Para esta fase se planearon pruebas con la herramienta usando dos tipos de cajas, unas cajas de un kilo con revestimiento de madera (ver figura 79a) y otra de dos kilos con revestimiento de madera y papel (ver figura 79b).



Figura 78: Sistema de agarre por vacío para paletizado de Vuototecnica presente en la celda de trabajo de la empresa Neumática R.
Fuente: Alenza, M. (2023).



a)

b)

Figura 79: Distintas cajas usadas en las pruebas de la herramienta terminal de agarre por vacío en la celda de trabajo. a) Caja de un kilo y b) Caja de dos kilos.

Fuente: Alenza, M. (2023).

En una primera prueba se activó la acción de succión de la herramienta y se probó el agarre de dos cajas de un kilo, para un total de dos kilos. Como se ve en la figura 80, esta tarea no representó ningún problema para el OCTOPUS. Además, se puede apreciar en la misma figura que el valor marcado por el manómetro de la herramienta está sobre los -20 bar, valor que está dentro de los parámetros de uso especificados por el personal de la empresa en la entrevista de la primera fase de esta investigación. Seguido a esto, se realizó una segunda prueba, igual a la anterior, pero con una caja de dos kilos y otra de un kilo, para un total de tres kilos. Se observa en la figura 81 el éxito de la herramienta en el desempeño de esta prueba, al igual que el valor de presión de vacío adecuado durante la ejecución de la misma. Con esto se completa la verificación del buen funcionamiento del sistema OCTOPUS.



Figura 80: Primera prueba realizada al sistema OCTOPUS con dos cajas de madera para un peso total de dos kilos.

Fuente: Alenza, M. (2023).



Figura 81: Segunda prueba realizada al sistema OCTOPUS con dos cajas, una de madera y otra de madera y papel, para un peso total de tres kilos.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Luego de esto, se propuso añadir a esta fase el desarrollo de una prueba con la otra herramienta terminal que dispone la celda de la empresa Neumática R. Ésta se trata de un tridente con doble acción neumática especial para aplicaciones de paletizado (ver figura 82). Este tridente dispone de un sistema completo de accionamientos y sensores que se describen a continuación. Como se mencionó anteriormente, la herramienta consta de dos acciones, la primera consiste en un movimiento horizontal del tridente para recoger o liberar las cajas o productos que se van a manipular. La segunda acción se encarga de la sujeción de la caja o producto, aprisionándoles con un tope de metal para asegurar que no se muevan o resbalen.

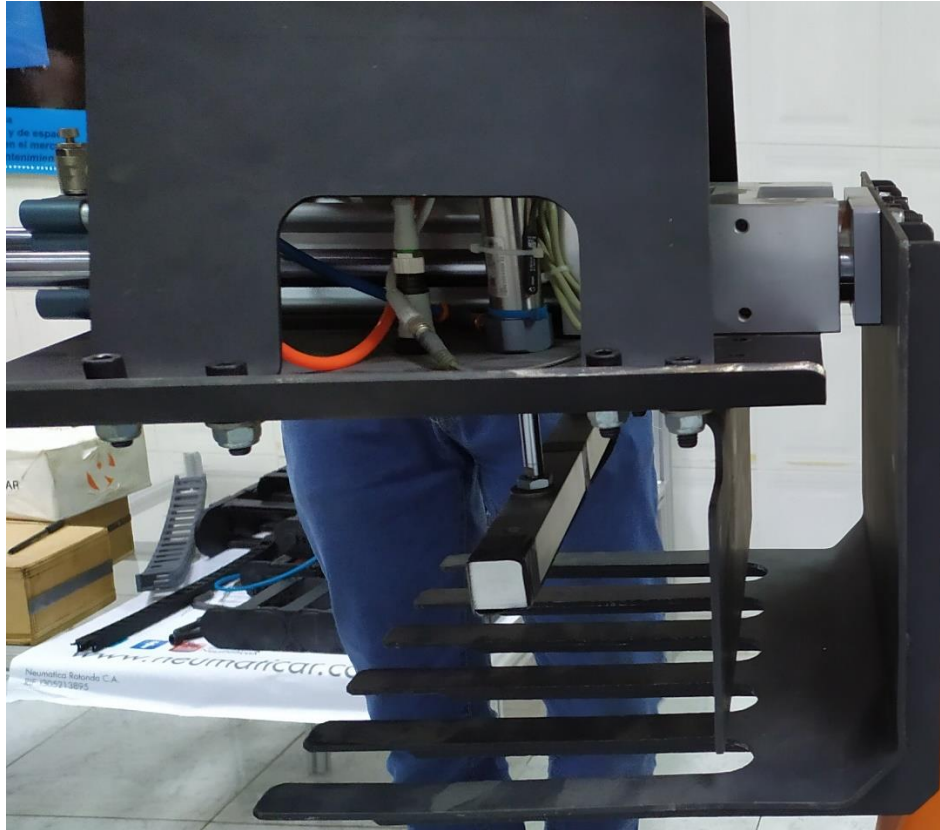


Figura 82: Herramienta terminal de tipo tridente de doble acción neumática especial para aplicaciones de paletizado de la celda de trabajo de la empresa Neumática R.
Fuente: Alenza, M. (2023).

Con respecto a los sensores, la herramienta cuenta con seis sensores en total, agrupados de dos en dos según su función. Los primeros dos representan los finales de carrera del cilindro neumático que se encarga del movimiento horizontal (ver figura 83), indicando entonces cuando el tridente está en su posición máxima de extensión o en su posición mínima. Luego se tienen dos sensores infrarrojos de proximidad a la izquierda y derecha de la parrilla superior de la herramienta (ver figura 84), estos se encargan de detectar si hay o no una caja o producto en el tridente. Los últimos dos están ubicados en cada uno de los cilindros que se encargan del accionamiento del tope de sujeción de la herramienta (ver figura 85), estos también funcionan como finales de carrera pero indicando si la caja o producto está aprisionada de ambos lados o no.

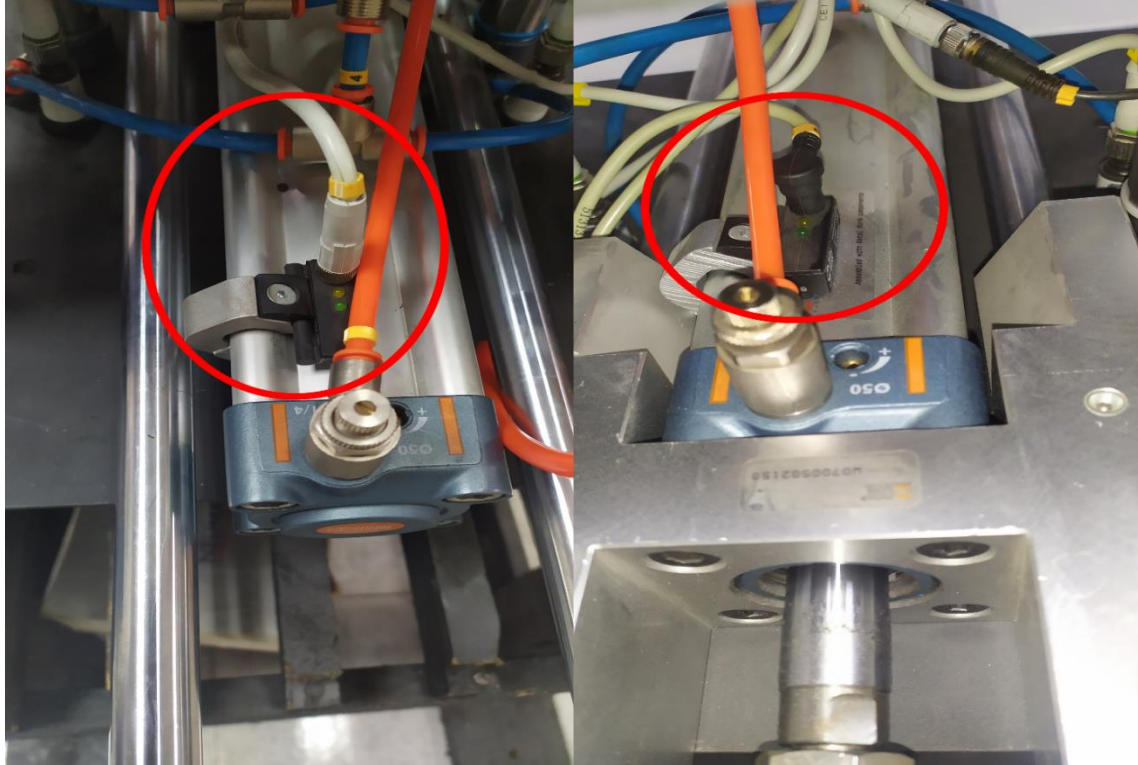


Figura 83: Sensores de final de carrera del cilindro encargado del movimiento horizontal ubicados en la parte anterior y posterior del actuador de la herramienta.

Fuente: Alenza, M. (2023).

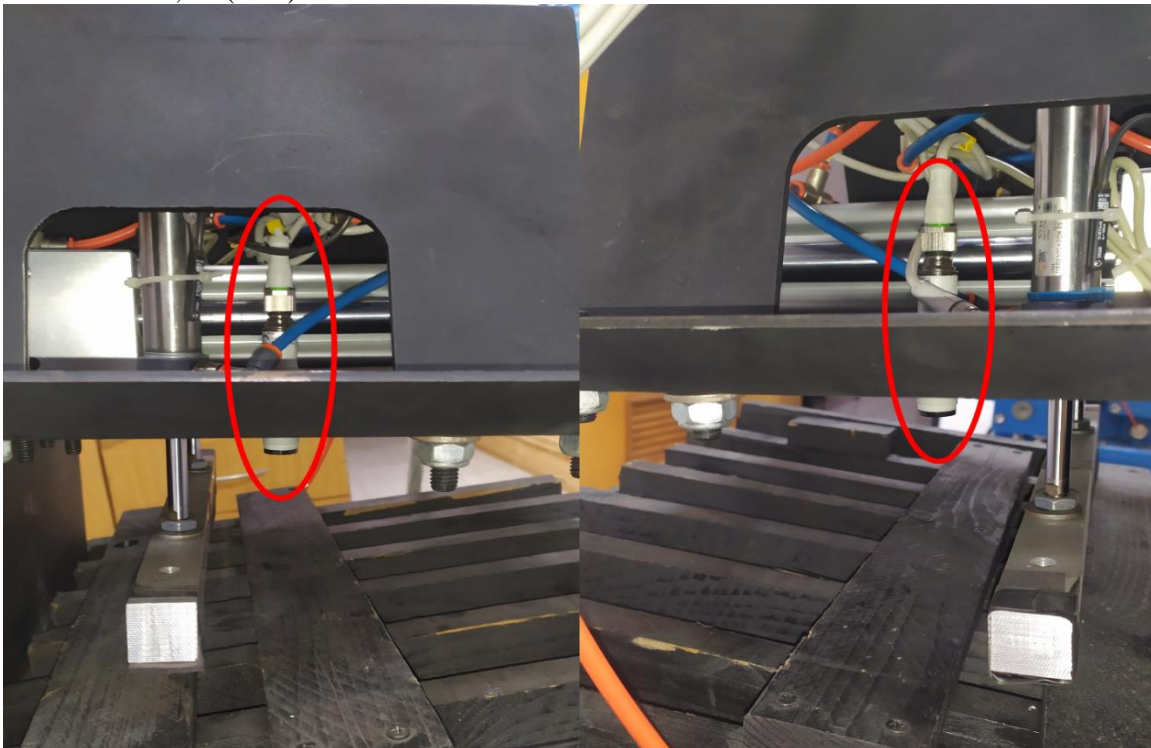


Figura 84: Sensores infrarrojos de proximidad encargados de detectar objetos en la parrilla del tridente de paletizado, ubicados a la izquierda y derecha de la herramienta.

Fuente: Alenza, M. (2023).

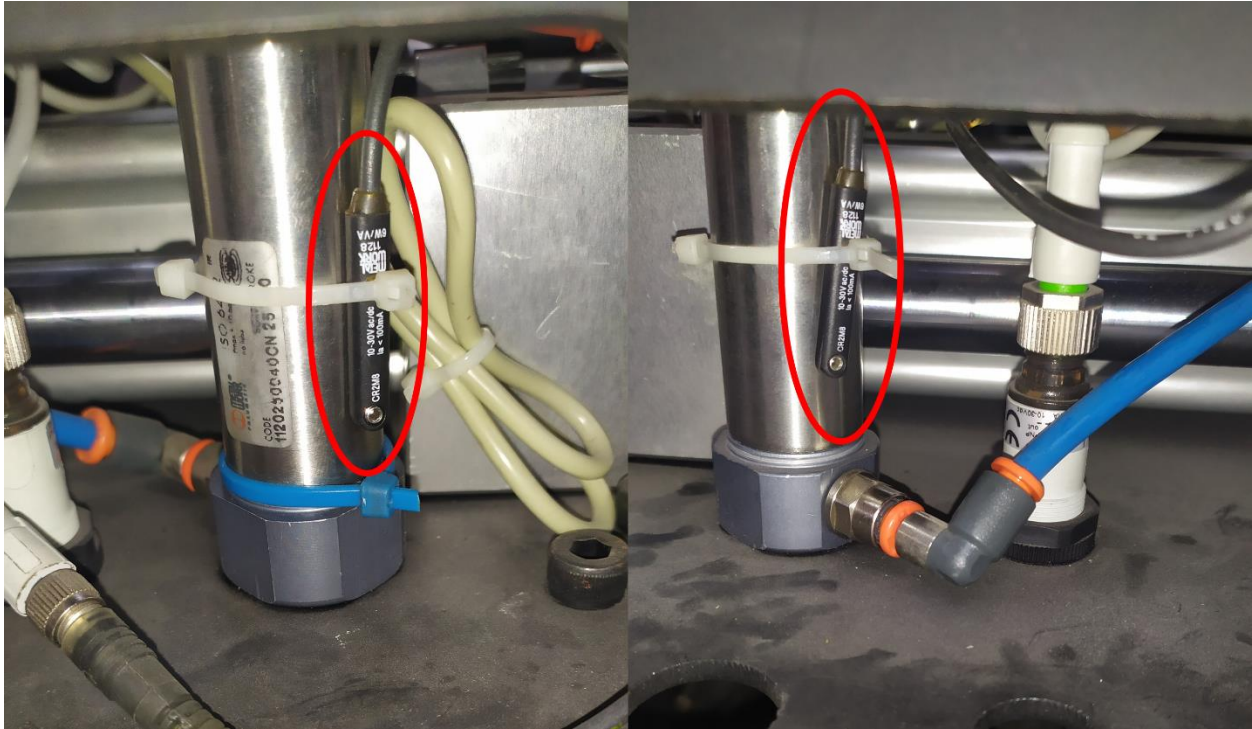


Figura 85: Sensores de final de carrera de los cilindros del accionamiento vertical para el tope de sujeción de la herramienta de paletizado.

Fuente: Alenza, M. (2023).

Para esta herramienta, se buscó hacer una única prueba que comprobara el buen funcionamiento de todo el sistema de la misma. Sin embargo, cuando se intentó mover el accionamiento horizontal, la garra de la herramienta chocaba con la estructura del robot en sí (ver figura 86). Ya que no fue posible mover el robot de su posición, para evitar daños al mismo o a la herramienta, se descartó de la prueba al accionamiento horizontal junto con los sensores asociados a este. Por su parte, la prueba para el otro accionamiento y para el grupo de sensores disponibles de la herramienta consistió en posicionar una caja de un kilo en el tridente (ver figura 87), verificar que los sensores de proximidad detectaran la caja (ver figura 88), accionar el tope de aprisionamiento (ver figura 89), comprobar que los sensores del mismo detectaran la sujeción de la caja (ver figura 90) y posteriormente liberar la caja de la sujeción (ver figura 91). Como se observa en las figuras anteriormente mencionadas, la herramienta cumplió con cada una de las tareas a la perfección, constatando así su buen funcionamiento.

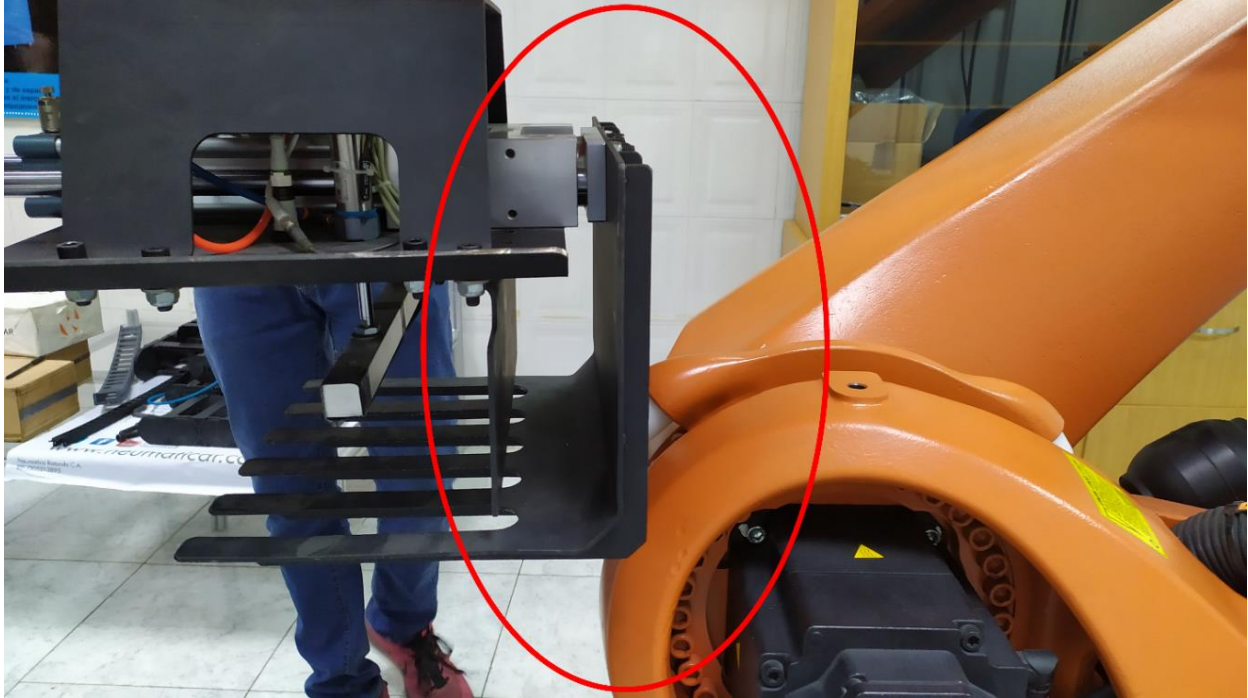


Figura 86: Choque entre la garra de la herramienta de paletizado y el cuerpo del Robot Industrial de la celda de trabajo causado por el accionamiento horizontal del tridente.
Fuente: Alenza, M. (2023).

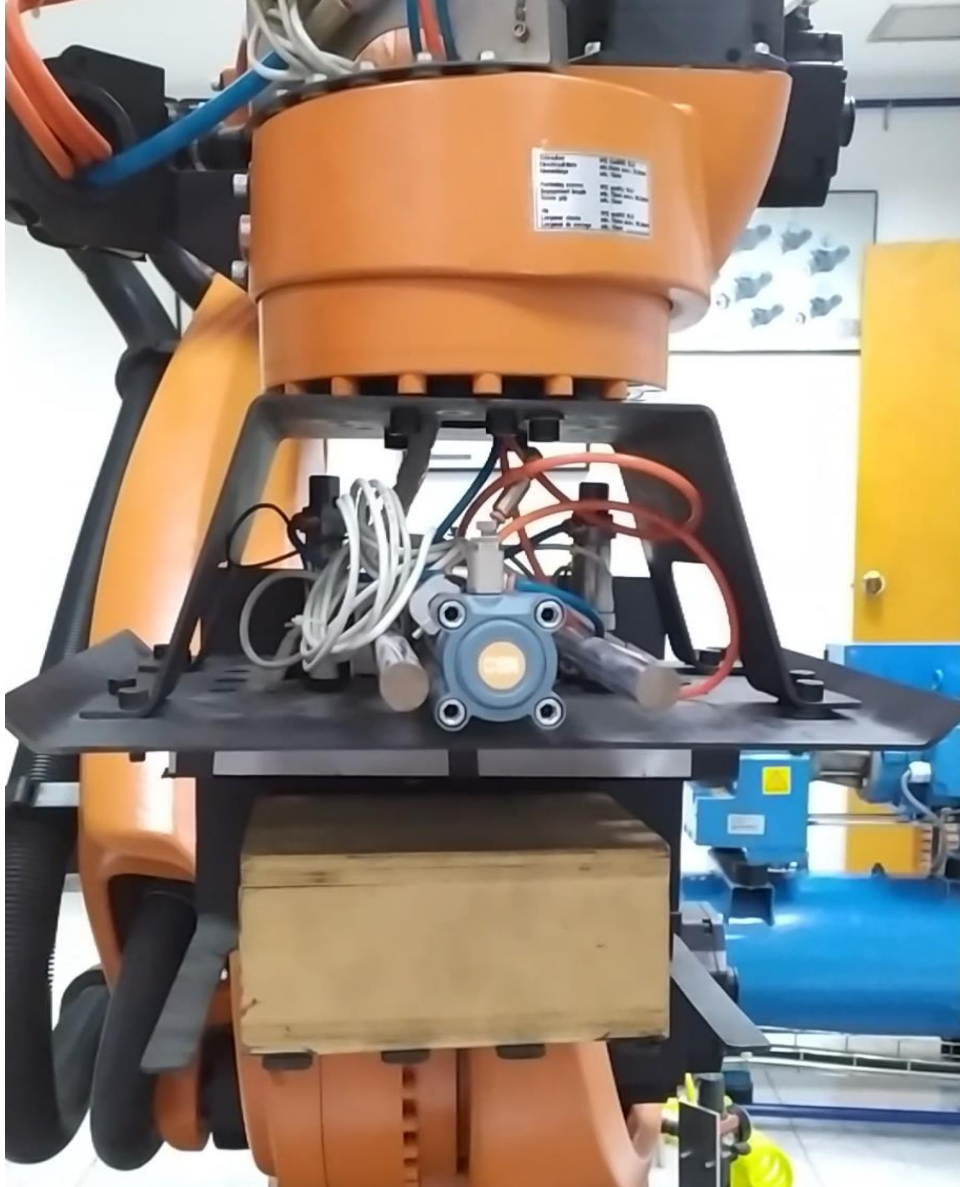


Figura 87: Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Posicionamiento de la caja en el tridente.

Fuente: Alenza, M. (2023).

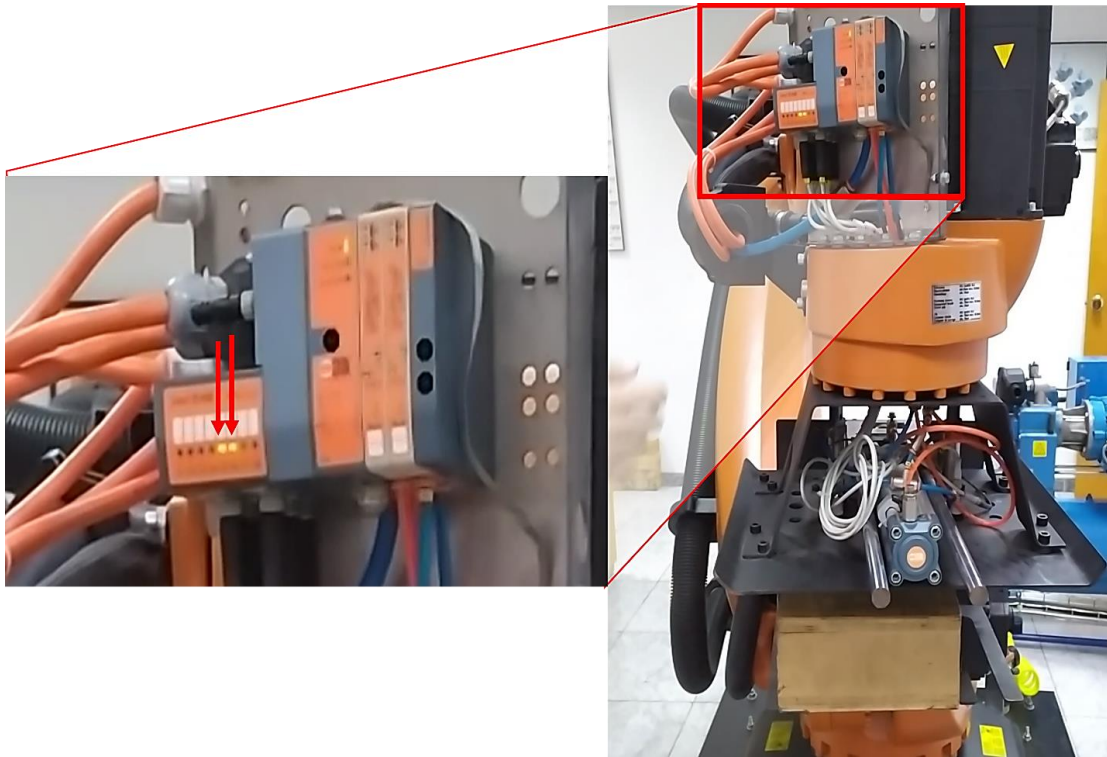


Figura 88: Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Detección de la caja por parte de los sensores de proximidad del tridente.
Fuente: Alenza, M. (2023).

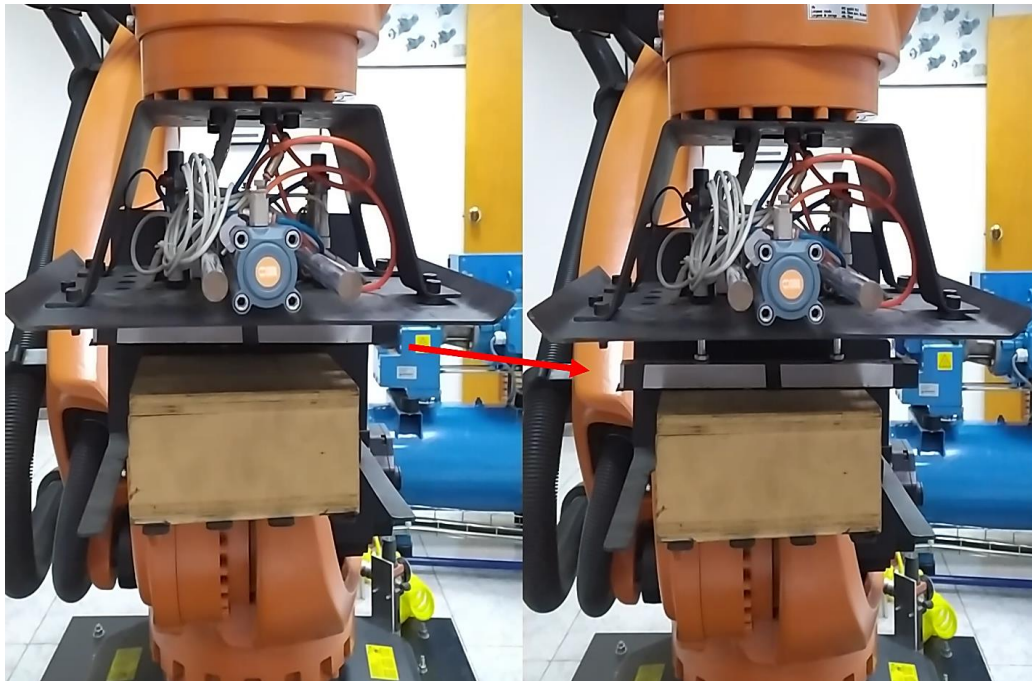


Figura 89: Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Aprisionamiento de la caja por parte del tope de sujeción (accionamiento vertical) del tridente.
Fuente: Alenza, M. (2023).

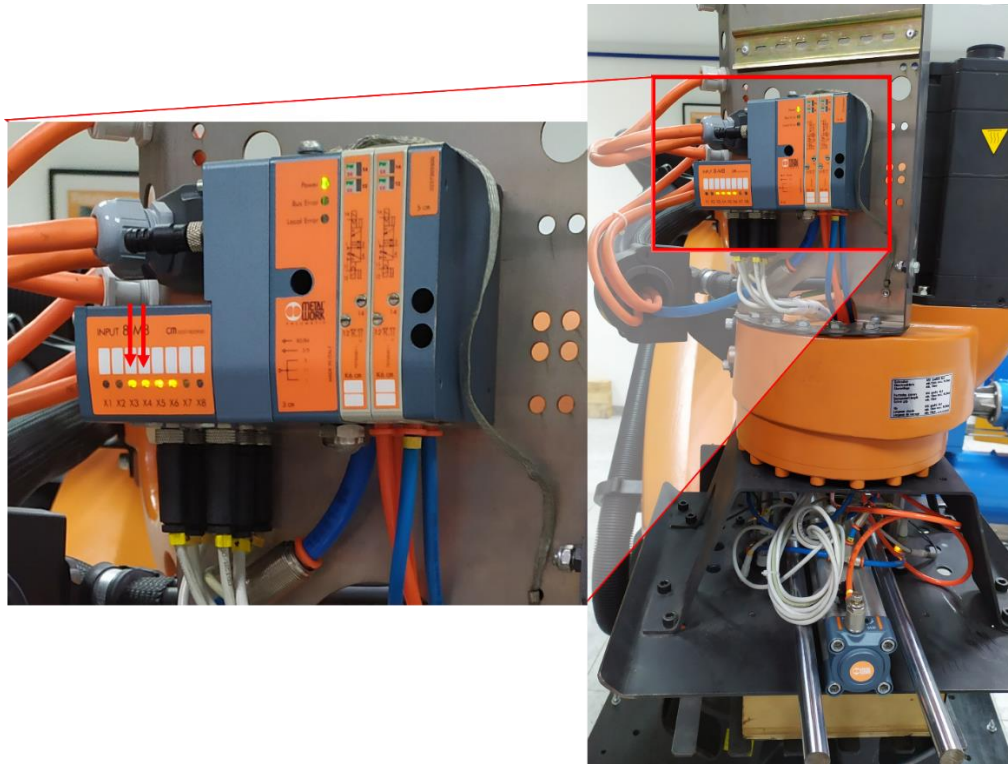


Figura 90: Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Detección del aprisionamiento de la caja por parte de los sensores del tope de sujeción (finales de carrera del accionamiento vertical) del tridente.
Fuente: Alenza, M. (2023).

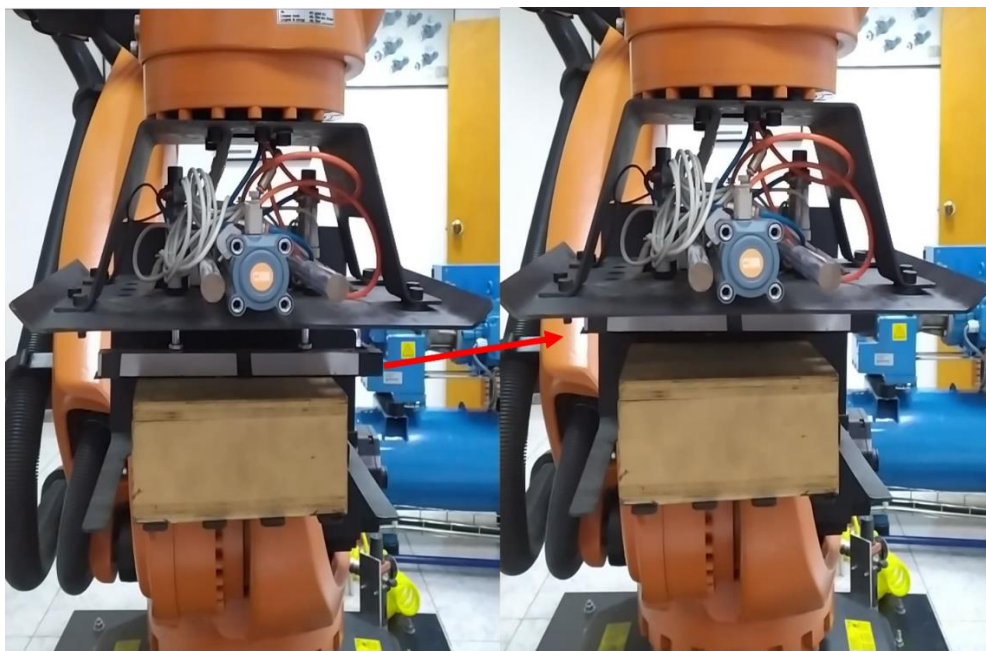


Figura 91: Desarrollo de la prueba de funcionamiento para el tridente para paletizado. Liberación de la caja por parte del tope de sujeción (accionamiento vertical) del tridente.
Fuente: Alenza, M. (2023).

CONCLUSIONES

Esta investigación tuvo por objetivo la reactivación de la celda de trabajo del robot KUKA KR180 en la empresa Neumática R. En ella, se abordó en primer lugar el diagnóstico de partes de la celda de trabajo. Seguido a ello, se realizó el restablecimiento de conexiones entre el robot, su unidad de control y su Smart Pad. Luego se continuó el proceso de reactivación con el restablecimiento y reconfiguración del software de la unidad de control y sus dispositivos adyacentes. Y por último, se desarrollaron pruebas para la comprobación del buen funcionamiento no solo de la herramienta terminal de vacío OCTOPUS sino también del tridente de doble acción neumática para paletizado. Con todo esto, y según los resultados descritos en el capítulo anterior, se puede concluir que se llegó al cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados para la investigación, cumpliendo entonces con el objetivo general de la misma.

Por otra parte, la puesta en servicio del robot, si bien no estaba contemplada dentro de los alcances de esta investigación, era un objetivo extraoficial que se buscaba alcanzar con el proyecto. Sin embargo, el hallazgo del fallo en la alimentación del KPP fue un evento imposible de anticipar en esta situación. Esto pone en pausa, por el momento, la reanudación de los cursos de capacitación de profesionales de la empresa. Pese a esto, esta noticia no resulta desalentadora, es más bien lo contrario. Gracias a todo el recorrido de esta investigación, se alcanzó a conocer en concreto las acciones que se deben llevar a cabo para la reanudación de estos entrenamientos, y se extenderán los pasos a seguir al personal de la empresa Neumática R. De esta manera, se podrá tomar pronta acción sobre el caso y los profesionales de todas las áreas lograrán adquirir nuevos conocimientos con los cursos de capacitación una vez más.

RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se pueden extender de esta investigación se tiene:

- En el caso de que se volviera a presentar una situación en la que sea necesario trasladar el robot o alguna de las partes de la celda de trabajo, se recomienda hacer una documentación exhaustiva de todo el proceso, de modo a que el restablecimiento de operaciones pueda hacerse de manera mucho más rápida y sencilla.
- Por otro lado, se recomienda, de ser posible, hacer una prueba del remplazo del KUKA Power Pack (KPP) con otro sistema igual que se encuentre operativo y en buenas condiciones, y que pueda ser facilitado momentáneamente por una empresa o tercero. De este modo se evitan gastos innecesarios a la empresa Neumática R de darse el caso que sea otra la falla que se está presentando en la celda robotizada.
- También es recomendable hacer monitoreo constante de las baterías de la unidad de control. Si bien las que fueron instaladas en la fase dos de esta investigación son nuevas, el hecho de que sean genéricas puede generar errores en el funcionamiento del robot y su unidad de control. Es imperativo, por lo tanto, mantener una revisión continua de las mismas y del comportamiento de la CCU, de modo que se detecte a tiempo algún fallo con las primeras.

REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). **El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica**. (6ta. Edición). Editorial Episteme. Consultado en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Bueno, A. (s.f.). **Unidad didáctica: “Control y Robótica”**. Portal ESO. http://www.portaleso.com/web_robot_3/robot_indice.html
- Cardozo, A., Chávez, L. y Suárez, J. (noviembre de 2019). **Robot Despaletizador para Línea de Producción**. Repositorio de la Universidad Rafael Beloso Chacín. Consultado en: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0108969/Preliminares.pdf> y <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0108969/cap03.pdf>
- Castillo, C. y Rodríguez, A. (junio de 2017). **Incorporación de Señales Digitales Provenientes de Sensores de Presencia, Proximidad y Distancia en una Celda Robotizada con Fines de Entrenamiento y Capacitación**. Obtenido de la empresa Neumática R. <https://docs.google.com/document/d/18Om0CHI3p05wG4AM-V7HzFJoWilpLn-h/edit?usp=sharing&oid=112952519306510591036&rtpof=true&sd=true>
- Castillo, J. (2020). **Diseño de un proceso de paletizado mediante procesamiento de imágenes manipulado por el robot industrial Kuka, en la empresa Abiexsa, Puente Piedra, año 2019**. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de Perú. Consultado en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3424>
- CIC Consulting Informático. (23 de noviembre de 2022). **Industria 4.0, la cuarta revolución industrial y la inteligencia operacional**. <https://www.cic.es/industria-40-revolucion-industrial/>
- Dirección de Educación Técnica de la ciudad autónoma de Buenos Aires. (2020). **Morfología básica de un Robot Industrial. Parte 1**. Dirección General de Cultura y Educación de Buenos Aires. Consultado el 4 de diciembre de 2022 en: <https://cdn.continuemos estudiando.abc.gob.ar/uploads/e5644eb9-713f-45a0-9be2-552c4945bf33.pdf>

- Dirección de Educación Técnica de la ciudad autónoma de Buenos Aires. (2020). **Morfología básica de un Robot Industrial. Parte 2.** Dirección General de Cultura y Educación de Buenos Aires. Consultado el 14 de enero de 2023 en: <https://storage.dtelab.com.ar/cdn-uploads/e066a895-6005-4fbd-b3ac-6f5756af5a57.pdf>
- Editorial Etecé. (3 de agosto de 2020). **Robótica.** Concepto.de. <https://concepto.de/robotica/>
- García, A. (agosto de 2020). **Diseño y desarrollo de una celda de paletizado con un robot cartesiano controlado con KEBA.** Universitat Politècnica de València. Consultado en: <http://hdl.handle.net/10251/151963>
- Goetz, J. y LeCompte, M. (1988). **Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa.** Editorial Morata. Consultado en: <https://upeldem.files.wordpress.com/2018/03/libro-etnograf3ada-y-disec3blo-cualitativo-en-investigac3b3n-educatica-j-p-goetz-y-m-d-lecompte.pdf>
- IBM. (s.f.). **¿Qué es la Industria 4.0?** <https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0>
- KUKA Roboter. (2012). **KR QUANTEC extra.** KUKA Roboter GmbH. Augsburg, Alemania.
- Macchiavello, T. (s.f.). **Robótica.** Monografías. <https://www.monografias.com/trabajos31/robotica/robotica>
- Maloy, G. (9 de marzo de 2020). **¿Qué es un Sensor y Qué Hace?** Dewesoft. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor>
- MME. (2021). **¿Qué es paletizado, en qué consiste y cuáles son sus características?** <https://todoembalaje.com/paletizado-que-es-caracteristicas.html>
- Neobotik. (2020). **Pick and place, ¿qué es y cómo funciona?** <https://www.neobotik.com/pick-and-place/>
- Neumática R (2007). **Instalaciones de la división didáctica.** https://www.neumaticarotonda.com/didactica_instalaciones.php
- Palella, S. y Martins, F. (2012). **Metodología de la Investigación Cuantitativa.** Editorial FEDUPEL. Consultado el 21 de diciembre de 2022 en: <https://issuu.com/originaledy/docs/metodolog3ada-de-la-investigac3b3>
- Ramírez, T. (2012). **Cómo hacer un proyecto de investigación.** Editorial Panapo. Caracas, Venezuela.
- Real Academia Española. (s.f.). **Palé.** <https://dle.rae.es/pal%C3%A9>

- Real Academia Española. (s.f.). **Robótica**. Consultado el 2 de diciembre de 2022 en:
<https://dle.rae.es/rob%C3%B3tico>.
- Revista de Robots. (27 de diciembre de 2021). **Robótica. Qué es la robótica y para qué sirve**.
<https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/que-es-la-robotica/>
- Revista de Robots. (2 de noviembre de 2022). **Robots industriales. Qué es un robot industrial, tipos y ejemplos de robots**. <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robots-industriales-y-robotica-industrial/>
- Ripipsa S.A. (2019). **Automatización Industrial**. <https://ripipsacobots.com/automatizacion-industrial/>
- Ripipsa S.A. (2019). **Robots Industriales**. <https://ripipsacobots.com/robots-industriales/>
- Robotnik. (14 de marzo de 2022). **¿Qué es un robot industrial? Definición y características**.
<https://robotnik.eu/es/que-es-un-robot-industrial-definicion-y-caracteristicas/>
- Royo, I. (julio de 2018). **Esquemático eléctrico y programación de robot Yaskawa MOTOMAN MPL80II**. Biblioteca de la Universidad Carlos III de Madrid. Consultado en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/29211>
- Sabino, C. (1992). **El Proceso de Investigación**. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela. Consultado en: http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf
- Significados.com. (s.f.). **Manual**. Consultado el 14 de enero de 2023 en:
<https://www.significados.com/manual/>
- Universidad ORT. (s.f.). **Qué es la robótica y cuáles son sus principales usos**. Blog de Ingeniería.
<https://fi.ort.edu.uy/blog/que-es-la-robotica-y-cuales-son-sus-usos>
- Villafranca, D. (2002). **Metodología de la Investigación**. Editorial Fundaca. San Antonio de los Altos, Estado Miranda.