



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “SISTEMA DE FORMACIÓN INGENIERIL DE ROBÓTICA  
INDUSTRIAL, BASADO EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y  
CONTROLADORES INDUSTRIALES EN RED”**

**AUTOR: MARIÑO SANDOVAL, JULIO CESAR**

**DIRECTOR: ING. ORZOCO BRITO, LUIS ALBERTO, MSc.**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**SISTEMA DE FORMACIÓN INGENIERIL DE ROBÓTICA INDUSTRIAL, BASADO EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y CONTROLADORES INDUSTRIALES EN RED**” fue realizado por el señor **Mariño Sandoval, Julio Cesar**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 8 Julio del 2019

Ing. Luis Alberto Orozco Brito, MSc.  
C.I: 1710443803



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Mariño Sandoval, Julio Cesar, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“SISTEMA DE FORMACIÓN INGENIERIL DE ROBÓTICA INDUSTRIAL, BASADO EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y CONTROLADORES INDUSTRIALES EN RED”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 8 Julio del 2019

A blue ink handwritten signature of Julio Cesar Mariño Sandoval, written over a horizontal dotted line.

Julio Cesar Mariño Sandoval  
C.I: 1725696148



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Mariño Sandoval, Julio Cesar, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“SISTEMA DE FORMACIÓN INGENIERIL DE ROBÓTICA INDUSTRIAL, BASADO EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y CONTROLADORES INDUSTRIALES EN RED”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 8 Julio de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Julio Cesar Mariño Sandoval', written over a horizontal dotted line.

Julio Cesar Mariño Sandoval  
C.I: 1725696148

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme en este largo camino.

Por llenarme de salud y de bendición.

A mi familia,

Mi abuelita Tere y mi madre Marisol,

Por todo su esfuerzo y dedicación, por enseñarme a ser una persona de bien.

A mis tíos,

Por todos sus consejos y apoyo incondicional en todo momento.

A mi abuelito

Que, desde el cielo me seguirá enseñando y guiando por el buen camino.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ponerme en el camino a esas personas grandiosas de las que he aprendido mucho, y sobre todo por darme esa fortaleza de seguir adelante.

A mi familia, mi abuelita, mi madre, son la razón por la que yo sigo adelante día a día, les quedo agradecido por todo el esfuerzo, por todo el apoyo que han tenido hacia mí.

A mis tíos, que yo les digo padres sustitutos por ser las personas que siempre me han jalado las orejas, y siempre han estado ahí apoyándome y guiándome.

A mi abuelito, que, aunque este en el cielo siempre le agradezco las enseñanzas de la vida que me dejo, por darme el ejemplo de que debo hacer en la vida.

A mis amigos por ser la familia que yo elegí, por estar en las buenas y en las malas, siempre apoyándome, Jesy, Leo, Luis, Fernando, Richard, Christian, Pao, Marlon, Brayan, Marco, gracias de todo corazón por todo.

Al Ing. Luis Orozco, por brindarme sus conocimientos, y ayudarme en todo momento, gracias por esta grandiosa oportunidad de aprendizaje sobre los robots, que fue una de las razones principales por la que yo decidí estudiar la carrera, le deseo lo mejor a lo largo de su vida personal y profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes .....	1
Justificación e Importancia.....	2
Alcance.....	3
Objetivos .....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	9
1.1 Definiciones.....	9
1.1.1 Automatización .....	9
1.1.2 Robótica .....	10
1.1.3 Robots Manipuladores.....	10
1.1.4 Descripción del Robot Industrial.....	10
1.1.5 Redes Industriales .....	11
1.2 Características de células robotizadas ESPE.....	12
1.2.1 Unidad de control KUKA KR C4 Compac.....	12
1.2.2 KUKA smartPAD .....	13
1.2.3 Manipulador KR 3 R540.....	15
1.2.4 PLC S7-1200 Siemens .....	18
1.2.5 Panel KTP 700 BASIC.....	19
1.2.6 Siemens CSM 1277.....	20
1.3 Programación KUKA .....	21
1.3.1 KUKA ROBOT LANGUAGE (KRL) .....	21

1.3.2	Simulación.....	23
1.4	Aplicativos con robots industriales.....	24
1.4.1	Soldadura por puntos.....	24
1.4.2	Corte.....	25
1.4.3	Aplicaciones de Materiales.....	26
1.4.4	Aplicaciones de embalaje.....	27
1.4.5	Aplicaciones Automotrices.....	28
1.5	Redes de comunicaciones industriales.....	29
1.5.1	Red de Factoría:.....	29
1.5.2	Red de Planta:.....	29
1.5.3	Red de Célula:.....	29
1.5.4	Bus de Campo:.....	29
1.6	Normativa de células robóticas.....	30
1.7	Métodos de aprendizaje.....	30
<b>CAPÍTULO II DISEÑO E INTEGRACIÓN DE CÉLULAS ROBOTIZADAS.....</b>		<b>32</b>
2.1.	Célula para introducción a PROFINET.....	33
2.1.1.	Diseño e implementación mecánico.....	34
2.1.2.	Diseño de red.....	36
2.1.3.	Diseño de programa.....	37
2.2.	Célula para embalaje automático de electrodomésticos.....	38
2.2.1.	Diseño e implementación mecánico.....	38
2.2.2.	Diseño eléctrico y electrónico.....	51
2.2.3.	Diseño red.....	53
2.2.4.	Diseño de programa para la célula de embalaje de electrodomésticos.....	54
2.3.	Célula para ensamblaje automotriz.....	55
2.3.1.	Diseño e integración mecánico.....	55
2.3.2.	Diseño eléctrico/ electrónico.....	66
2.3.3.	Diseño red.....	67
2.3.4.	Diseño de programa para ensamblaje automotriz.....	68
<b>CAPÍTULO III GUIAS DE PRÁCTICAS.....</b>		<b>69</b>
3.1.	Práctica 1: CONEXIÓN PROFINET (PLC-KUKA).....	70
3.1.1	Objetivo General.....	70
3.1.2	Objetivos Específicos.....	70

3.1.3	Alcance.....	70
3.1.4	Diseño.....	70
3.1.5	Ejecución de práctica de introducción a PROFINET.....	72
3.1.6	Resultados de aprendizaje esperados .....	73
3.2.	Práctica 2: Empaquetado de electrodomésticos (Lavadora), Sincronismo de Robots KUKA.....	74
3.2.1	Objetivo General .....	74
3.2.2	Objetivos Específicos .....	74
3.2.3	Alcance.....	74
3.2.4	Diseño.....	75
3.2.5	Ejecución de práctica de embalado automático de electrodomésticos.....	76
3.2.6	Resultado de aprendizaje esperado .....	82
3.3.	Práctica 3: Sistema básico SCADA de robots KUKA mediante KEPSEVER .....	83
3.3.1.	Objetivos General.....	83
3.3.2.	Objetivo Específico .....	83
3.3.3.	Alcance.....	83
3.3.4.	Diseño.....	84
3.3.5.	Ejecución de práctica de ensamblaje automotriz .....	86
3.3.6.	Resultados de Aprendizaje Esperados.....	89
CAPÍTULO IV EVALUACIÓN Y RESULTADO .....		90
4.1.	Evaluación de prácticas .....	90
4.3.1.	Cuestionario de evaluación de práctica 1 .....	90
4.3.2.	Cuestionario de evaluación de práctica 2 .....	91
4.3.3.	Cuestionario de evaluación de práctica 3 .....	91
4.2.	Resultados.....	92
4.4.1.	Solución del cuestionario de práctica de laboratorio 1 .....	92
4.4.2.	Solución del cuestionario de práctica de laboratorio 2 .....	94
4.4.3.	Solución del cuestionario de práctica de laboratorio 3 .....	95
4.4.4.	Tablas de resultados .....	97
4.3.	Análisis de resultados .....	99
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		100
5.1.	Conclusiones.....	100
5.2.	Recomendaciones .....	101

BIBLIOGRAFÍA.....103

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Robot industrial .....	11
<b>Figura 2.</b> SmartPAD.....	13
<b>Figura 3.</b> Robot KUKA KR3 R540.....	15
<b>Figura 4.</b> Forma de zona de trabajo.....	17
<b>Figura 5.</b> Centro de gravedad de carga.....	17
<b>Figura 6.</b> PLC S7-1200 .....	18
<b>Figura 7.</b> Panel KTP 700 BASIC .....	19
<b>Figura 8.</b> CSM 1277 .....	20
<b>Figura 9.</b> WorkVisual V4.0.30.....	21
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de programa con extensión “.src” .....	22
<b>Figura 11.</b> Ejemplo programa con extensión .dat .....	22
<b>Figura 12.</b> Apertura de Simulador KUKA .....	23
<b>Figura 13.</b> Simulador KUKA Sim Pro .....	23
<b>Figura 14.</b> Robot de soldadura por puntos .....	24
<b>Figura 15.</b> Corte por plasma.....	25
<b>Figura 16.</b> Proceso de pintado con Robots.....	26
<b>Figura 17.</b> Lavadora embalada.....	27
<b>Figura 18.</b> Proceso automotriz con robots.....	28
<b>Figura 19.</b> Soporte Marcador .....	34
<b>Figura 20.</b> Medida del base .....	35
<b>Figura 21.</b> Herramienta para marcador .....	35
<b>Figura 22.</b> Direcciones IP de equipos en práctica 1 .....	36
<b>Figura 23.</b> Módulos Tia Portal .....	36
<b>Figura 24.</b> Proceso de ejecución programa práctica 1.....	37
<b>Figura 25.</b> Diseño banda transportadora .....	38
<b>Figura 26.</b> Soporte de rodillos.....	39
<b>Figura 27.</b> Superficie de apoyo de la cinta.....	39
<b>Figura 28.</b> Soporte de la unión de mesa .....	40
<b>Figura 29.</b> Rodillos metálicos .....	40
<b>Figura 30.</b> Soporte de motor.....	41
<b>Figura 31.</b> Extremos de la mesa .....	41
<b>Figura 32.</b> Rodillo con los soportes de tornillo sin fin.....	42
<b>Figura 33.</b> Soportes de la mesa .....	42
<b>Figura 34.</b> Fabricación de banda transportadora .....	43
<b>Figura 35.</b> Instalación de la cinta .....	43
<b>Figura 36.</b> Fabricación de rodillos .....	44
<b>Figura 37.</b> Lavadora a escala.....	44
<b>Figura 38.</b> Lavadora a escala con sus protectores .....	45
<b>Figura 39.</b> Cobertor Lavadora .....	45
<b>Figura 40.</b> Parte posterior de cobertor de lavadora .....	46
<b>Figura 41.</b> Cobertor físico .....	46
<b>Figura 42.</b> Almacén de cobertores .....	47
<b>Figura 43.</b> Cobertores de lavadora a escala.....	47

<b>Figura 44.</b> Parte inferior almacén de cobertores .....	48
<b>Figura 45.</b> Almacén de cobertores de lavadora .....	48
<b>Figura 46.</b> Control manual de procesos.....	49
<b>Figura 47.</b> Tapa de control manual .....	49
<b>Figura 48.</b> Control manual .....	50
<b>Figura 49.</b> Botonera del control manual.....	50
<b>Figura 50.</b> Diseño electrónico PLC ubicado en panel F-07 .....	51
<b>Figura 51.</b> Motor banda transportadora.....	51
<b>Figura 52.</b> Diseño electrónico PLC ubicado en panel F-08 .....	52
<b>Figura 53.</b> Direcciones de IP de dispositivos práctica 2 .....	53
<b>Figura 54.</b> Conexión dispositivos en Tia Portal .....	53
<b>Figura 55.</b> Proceso de ejecución programa práctica 2.....	54
<b>Figura 56.</b> Banda transportadora .....	55
<b>Figura 57.</b> Almacén tipo árbol de parabrisas .....	56
<b>Figura 58.</b> Almacén tipo árbol .....	56
<b>Figura 59.</b> Base del soporte de lápiz .....	57
<b>Figura 60.</b> Simulador de herramienta de pegamento “soporte de lápiz”.....	57
<b>Figura 61.</b> Soporte de lápiz .....	58
<b>Figura 62.</b> Herramienta simulada de pegamento.....	58
<b>Figura 63.</b> Herramienta para recolección de parabrisas .....	59
<b>Figura 64.</b> Herramienta simulada de ventosas .....	59
<b>Figura 65.</b> Base de sensor capacitivo .....	60
<b>Figura 66.</b> Sensor capacitivo en el soporte.....	60
<b>Figura 67.</b> Base de automóvil a escala .....	61
<b>Figura 68.</b> Colocación de base en el automóvil .....	61
<b>Figura 69.</b> Chasis a escala de automóvil .....	62
<b>Figura 70.</b> Impresión de automóvil a escala.....	62
<b>Figura 71.</b> Parabrisas delantero .....	63
<b>Figura 72.</b> Parabrisas delantero .....	63
<b>Figura 73.</b> Parabrisas posterior.....	64
<b>Figura 74.</b> Parabrisas posterior.....	64
<b>Figura 75.</b> Llantas del automóvil a escala .....	65
<b>Figura 76.</b> Llanta física .....	65
<b>Figura 77.</b> Diseño PLC panel F-07 .....	66
<b>Figura 78.</b> Motor banda transportadora.....	66
<b>Figura 79.</b> Direcciones IP de dispositivos en práctica 3 .....	67
<b>Figura 80.</b> Bloques de dispositivos en Tia Portal.....	67
<b>Figura 81.</b> Proceso de ejecución programa práctica 3.....	68
<b>Figura 82.</b> Herramienta de marcador .....	72
<b>Figura 83.</b> Herramienta sobre el plano de trabajo .....	73
<b>Figura 84.</b> Medición de área de trabajo.....	76
<b>Figura 85.</b> Motor de banda transportadora.....	77
<b>Figura 86.</b> Medición de posicionamiento correcto de la lavadora sobre la banda .....	77
<b>Figura 87.</b> Conexión interna de los almacenes.....	78
<b>Figura 88.</b> Voltaje de la fuente variable .....	78

<b>Figura 89.</b> Posición de recolección de cobertor lado derecho.....	79
<b>Figura 90.</b> Posición de recolección de cobertor lado izquierdo .....	79
<b>Figura 91.</b> Medición de la altura lado derecho de la lavadora .....	80
<b>Figura 92.</b> Medición de la altura lado izquierdo de la lavadora.....	80
<b>Figura 93.</b> Medición puntos máximos de la zona de trabajo.....	81
<b>Figura 94.</b> Medición altura máxima de recolección de cobertores .....	81
<b>Figura 95.</b> Colocación de cobertores.....	82
<b>Figura 96.</b> Herramienta del robot .....	86
<b>Figura 97.</b> Herramienta de simulación de pegamento.....	86
<b>Figura 98.</b> Práctica 3 en funcionamiento.....	87
<b>Figura 99.</b> Colocación de pegamento y parabrisas delantero.....	87
<b>Figura 100.</b> Momento de sincronismo .....	88
<b>Figura 101.</b> Colocación de parabrisas posterior .....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Descripción del PC de control</i> .....	12
<b>Tabla 2.</b> <i>Características del SmartPAD</i> .....	14
<b>Tabla 3.</b> <i>Detalle de las articulaciones del robot KR3 R540</i> .....	15
<b>Tabla 4.</b> <i>Datos Técnicos</i> .....	16
<b>Tabla 5 .</b> <i>Datos de los ejes</i> .....	16
<b>Tabla 6.</b> <i>Características PLC S7-1200</i> .....	18
<b>Tabla 7.</b> <i>Características del panel KTP 700 BASIC</i> .....	19
<b>Tabla 8.</b> <i>Características CSM 1277 Siemens</i> .....	20
<b>Tabla 9.</b> <i>Normas</i> .....	30
<b>Tabla 10.</b> <i>Valores de Referencia</i> .....	71
<b>Tabla 11.</b> <i>Coordenadas resultantes</i> .....	72
<b>Tabla 12.</b> <i>Nota práctica 1</i> .....	98
<b>Tabla 13.</b> <i>Nota práctica 2</i> .....	98
<b>Tabla 14.</b> <i>Nota práctica 3</i> .....	99

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo crear prácticas de laboratorio para la enseñanza de los nuevos equipos adquiridos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en los laboratorios de robótica, son 7 celdas robóticas de propósito general, y en estas prácticas se seleccionaron 2 celdas para desarrollar celdas de propósito específico, tituladas como: introducción a PROFINET, embalaje automático de electrodomésticos y ensamblaje automatizado, se diseñó e integró prototipos de herramientas, piezas a escala, almacenes, cobertores, parabrisas, y una banda transportadora que cumpla con los requerimientos de los objetivos propuestos en cada práctica. Para el desarrollo de estas prácticas se realizaron conexiones de red a nivel industrial, con los equipos de control superior y a su vez con la ayuda de diferentes softwares uno de ellos WorkVisual que configuran los medios de comunicaciones. Se ejecutaron como medio de evaluación las prácticas con estudiantes del nivel de robótica, para evaluar y registrar si el método de aprendizaje fue el correcto, para esto se entregó cuestionarios de cada práctica y con un método de calificación se determinó resultados basados en las referencias de las soluciones de estos cuestionarios.

### **Palabras claves:**

- **CELDAS**
- **ROBÓTICAS**
- **WORKVISUAL**
- **PROFINET**

## **ABSTRACT**

The purpose of the present degree work is to create laboratory practices for the teaching of new equipment acquired by the University of the Armed Forces ESPE, in robotics laboratories, there are 7 robotic cells of general purpose, and in these practices 2 were selected. cells to develop cells of specific purpose, titled as: introduction to PROFINET, automatic packaging of household appliances and automotive assembly, was designed and integrated prototypes of tools, parts to scale, warehouses, covers, windshields, and a conveyor belt that meets the requirements of the objectives proposed in each practice. For the development of these practices network connections were made at the industrial level, with the superior control equipment and at the same time with the help of different software, one of them WorkVisual that configure the means of communications. The practices with students of the level of robotics were carried out as evaluation means to evaluate and register if the learning method was the correct one, for this questionnaires of each practice were given and with a method of qualification, results based on the references of the solutions of these questionnaires.

### **Keywords:**

- **CELLS**
- **ROBOTIC**
- **WORKVISUAL**
- **PROFINET**

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes**

La colaboración de los robots en los procesos productivos altamente automatizados representa sin lugar a duda un avance desde todos los puntos de vista posibles, por este motivo son cada vez más las industrias en todo el mundo que han implementado proyectos automáticos con robots (*Rivas Robotics: Automatización y robotica industrial, s/f*).

Utilizando los avances tecnológicos más actualizados que presenta la robótica, para mejorar la productividad de cualquier empresa.

Para la empresa alemana BMW en una línea de producción de 12KM, tiene implementado varios robots, para cumplir con el objetivo de ensamblar un vehículo en apenas 3 minutos (*Electrónica, 2013*).

Otro de los casos es el embalaje y envasado de un producto, que ha jugado un papel muy importante en la venta del mismo desde el principio de su historia. Los principales objetivos del envase y embalaje son transportar y conservar aquello que contienen, siendo éstas también las mayores prioridades actualmente (*Industriales, 2017*).

En Ecuador se ha incursionado en los últimos años con procesos robotizados, siendo esta una herramienta para realizar productos de excelente calidad y ser más competitivos en el mercado con la participación de profesionales que permitan cumplir este objetivo (*Utreras, 2013*).

Por tal objetivo, la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, adquirió nuevos equipos robóticos antropomórficos de la marca KUKA Robotics modelo: KR3 R540 y otros componentes

de automatización industrial (PLC, PANTALLA TOUCH, INDUSTRIAL SWITCH) en los laboratorios de robótica, destinados al aprendizaje de los estudiantes.

### **Justificación e Importancia**

Con el avance tecnológico el estudiante requiere obtener un conocimiento y práctica en uso de robots y maquinaria especializada, enfocados al desarrollo del ámbito industrial.

Con el proyecto se busca el aprendizaje más didáctico del estudiante y un enfoque a la actividad laboral, aplicando la nueva tecnología que demanda cada día más una alta actualización en su programación y manejo para el cual se requiere generar prácticas y simular los procesos de una manera más detallada.

Se busca un desarrollo de un aplicativo específico que determinen los alcances máximos en su funcionamiento, dando a conocer el proceso y beneficio que nos brinda las nuevas tecnologías incorporadas a los procesos industriales.

El proyecto tiene como objetivo diseñar prácticas de laboratorio utilizando manipuladores KUKA KR3 R540 para la cátedra de la robótica industrial, con la creación de simulaciones en aplicaciones reales, ya desarrolladas en empresas automatizadas por robots (Utreras, 2013).

El presente proyecto considera el proyecto de *“Diseño y elaboración de prácticas de laboratorio para robótica industrial utilizando manipuladores robóticos KUKA”* (Utreras, 2013). Realizado en el año 2013 por Utreras Aguilar Tania Vanessa en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE como una base para ampliarla de una mejor manera con aplicativos reales de la industria pero integrando robots y controladores en red, realizando una programación en modo experto del robot.

## **Alcance**

El enfoque del proyecto es generar conocimiento actualizado a los estudiantes con los nuevos equipos de laboratorio de robótica, incluyendo la generación de aplicativos reales de la industria, enfocado al ámbito de ensamble automotriz y embalaje automático de electrodomésticos.

Se realiza para este proceso un sistema de red industrial que permita intercomunicar los robots con los equipos industriales, manteniendo la robustez y fiabilidad requeridas.

Se busca generar un sistema de formación ingenieril mediante la realización de prácticas de laboratorio basadas en células robotizadas que incluyen 2 robots KUKA en trabajo sincronizado y varios equipos industriales:

En la primera práctica, se genera una guía para introducir al estudiante en las comunicaciones PROFINET de los controladores KUKA KRC4 Compac, impartiendo conocimiento sobre conexiones y configuraciones dentro del software de configuración WorkVisual, para cumplir con el objetivo de la práctica se establece un aplicativo simple con un robot KUKA KR3 R540 que consiste en crear polígonos de L lados y R radio, guiados por un equipo de control superior “PLC”

En la segunda práctica, se realiza un proceso de embalaje final de electrodomésticos con la integración de 2 robots, para el posicionamiento de cobertores laterales de embalaje. Con este propósito, se utiliza dos robots KUKA, dos PLCs, dos pantallas industriales para monitorizar aspectos del proceso, se diseña una banda transportadora que distribuya los electrodomésticos a escala del robot, se dimensiona la instrumentación, se diseña los cobertores y también se diseña los almacenes para los cobertores laterales.

Para la práctica, la Interfaz HMI de la pantalla contará con dos modos: modo operador y otro de administrador; el modo operador: tendrá restricción al uso de cualquier modificación de los parámetros del proceso, mientras el modo administrador contará con libre acceso a todos los parámetros que regulan la producción.

El primer robot juntamente con el segundo debe acceder a los cobertores laterales para ser ubicados en el electrodoméstico al mismo tiempo, una vez colocado los dos cobertores laterales, el proceso activara la banda transportadora para continuar con otro producto.

En la tercera práctica, se emulará un proceso de ensamblaje automotriz enfocado en una sección del proceso, que consiste en la colocación del parabrisas del automóvil acorde al proceso real. Con este propósito, se utilizará 2 robots KUKA, un PLC, una pantalla industrial para monitorizar aspectos del proceso, varios prototipos que emulen el automóvil y los parabrisas delantero y posterior a la escala del robot, se diseñará un efector final para manipulación de los parabrisas y una banda transportadora para vehículos a escala, se considerará el dimensionamiento de la instrumentación y se comprobará las especificaciones técnicas que presentan los robots.

La pantalla contará con dos modos: modo operador y otro de administrador; para el modo operador: se tendrá acceso solo a visualización del proceso de los robots y para el modo administrador: se podrá manipular los parámetros de producción que se procesará por lote; para entradas se utilizará botones físicos de inicio, parada, pausa, paro de emergencia, y un botón de resetear que inicialice el proceso nuevamente.

El primer robot emulara la colocación de pegamento industrial en los bordes del chasis donde va ubicado el parabrisas del automóvil y el segundo robot tiene un efector final con el que puede efectuar la colocación de los dos parabrisas tanto delantero como posterior.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Implementar un sistema de formación ingenieril de robótica industrial, basado en células robotizadas KUKA de ensamblaje automotriz y embalaje automático de electrodomésticos.

### **Objetivos Específicos**

- Implementar un sistema de red que interconecten los equipos robóticos y de control.
- Implementar una célula de ensamblaje automotriz, para emular la colocación del parabrisas de un automóvil, mediante el uso de células robotizadas KUKA, un PLC y una pantalla industrial.
- Implementar una célula de embalaje automático de electrodomésticos, para emular el posicionamiento de cobertores laterales de embalaje y tapa de cartón superior, mediante el uso de células robotizadas KUKA.

El contenido que se menciona en los capítulos, se resumen de la siguiente forma:

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

Investigación acerca de las definiciones de automatización, las características de las células robóticas KUKA adquiridas actualmente en los laboratorios de robótica. Además, se incluye la investigación sobre los aplicativos que se encuentran robotizados, la investigación en la zona automotriz y empaquetado de electrodomésticos, también se menciona los sistemas que permiten un control superior a los controladores KUKA KR3 R540 por medio de PROFINET, y el medio de visualización KTP 700 BASIC, estos sistemas y equipos robotizados se encuentran en ciertas normativas de las cuales se estará hablando en este capítulo.

## CAPÍTULO II

### DISEÑO E INTEGRACIÓN DE CÉLULAS ROBOTIZADAS

En este capítulo se detalla los diseños de la banda transportadora, de las herramientas y cada elemento que fue fabricado a escala e integrado a las 3 prácticas de introducción a PROFINET, embalaje automático de electrodomésticos y ensamblaje automotriz. Los elementos fueron diseñados en SolidWork, tomando como referencia las medidas de la zona de trabajo de las células robóticas, además en este capítulo se muestra procesos y detalles de la banda transportadora, de las herramientas y todos los elementos que ayudan a realizar los procesos de las 3 prácticas, para la fabricación de la banda transportadora se utilizó materiales de acero negro, un motor de 24 voltios, engranajes, cadenas, pernos de acero, y materiales varios, y para los otros elementos como son herramientas, y figuras a escala fueron construidos con material PLA en impresión 3D.

## CAPÍTULO III

### GUIAS DE PRÁCTICAS

El propósito de las prácticas es el orientar al estudiante en conceptos básicos de los robots manipuladores, y mediante la programación de estos equipos se busca cumplir con el desarrollo de procesos industriales simulados, además que el estudiante aprenda sobre estos equipos con la ayuda de las redes industrial al conectar dispositivos de control superior “PLC” en los controladores KUKA, cada práctica cuenta con diferente estructura de comunicación y tipo de ejecución.

## CAPÍTULO IV

### EVALUACIÓN Y RESULTADOS

La evaluación cuenta con los procesos desarrollados en los equipos KUKA KR3 R504 los dispositivos industriales PLC Siemens 1200 y los paneles KTP 700 BASIC todos conectados para conseguir el objetivo de simular procesos industriales actuales, las evaluaciones consiguientes al uso de estas prácticas se determinar con calificaciones que se encuentran especificadas por un rango, además para estas evaluaciones se utilizan estudiantes del nivel cursado que darán uso preliminar a las prácticas, y se medirán con parámetros de enseñanza, los resultados obtenidos se generalizarán y especificarán los factores que influyan o no sobre las prácticas resultantes.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el capítulo final se describirá las conclusiones y recomendaciones obtenidas en todo el proceso del diseño, construcción, programación e integración, así como todas las pruebas realizadas en el proyecto de investigación.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se investiga sobre las definiciones de automatización, robótica y redes industriales, también se detalla los diferentes procesos que se realizan con robots industriales, las características de los nuevos equipos robóticos, los detalles de la programación, las configuraciones de los equipos, además se detalla los tipos de redes, normativas que maneja el campo industrial, y los niveles o metodologías que se emplea para el aprendizaje del estudiante.

### 1.1 Definiciones

#### 1.1.1 Automatización

Se puede entender por automatización como la evolución en las industrias, en sistemas, elementos computarizados y nuevas tecnologías de control, las mismas que permiten tener un funcionamiento automático, una mayor monitorización en los diferentes procesos, incremento de productividad y optimización de personal.

En la industria se utiliza los sistemas de control, tales como computadoras o robots, y además las tecnologías informáticas para manejo de varios procesos y maquinarias en la industria para sustituir a la humanidad (Terry M. Brei, 2016).

En cuanto a la automatización industrial nace en el siglo XIX, pero en el siglo XX es cuando empieza a evolucionar y extenderse hacia el sector industrial con procesos básicos, hasta llegar a crear industrias automatizadas que permiten tener un mayor control en sus procesos (Ollero Baturone, 2001).

### **1.1.2 Robótica**

La robótica reúne a varias disciplinas entre ellas la ingeniería, que busca explorar en conocimientos científicos y también materializar el deseo humano, creando robots y máquinas que permitan realizar operaciones complejas para el desarrollo general en la industria.

Los robots en la actualidad son obras de ingeniería y desarrolladas para producir bienes y servicios. Por lo tanto, se define como máquinas que desarrollan una actividad que parte de los orígenes de la humanidad, y desde el inicio de la Edad Moderna se fundamenta en conocimientos científicos (Ollero Baturone, 2001).

### **1.1.3 Robots Manipuladores**

Los robots industriales y robots manipuladores se les puede definir como un manipulador funcional reprogramable, que cuenta con brazos articulados móviles, el mismo que está diseñado para el manejo y movimiento de piezas, instrumentos y que es capaz de mover materias primas, estos están programados para realizar diversos trabajos industriales (Ollero Baturone, 2001).

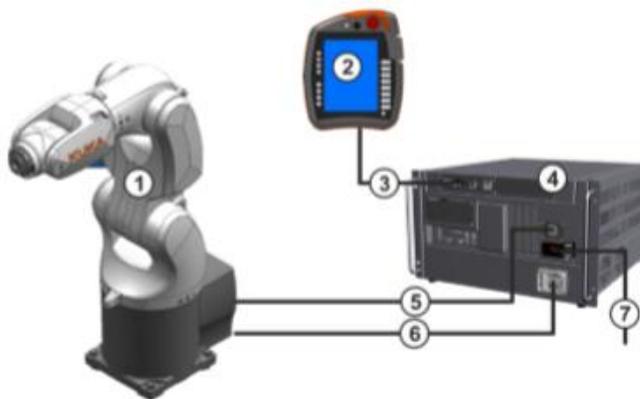
### **1.1.4 Descripción del Robot Industrial**

El robot industrial como muestra en la *Figura 1*, está diseñado para cumplir un proceso de manipulación, por lo tanto, hace uso de un conjunto de equipos y software distribuidos de la siguiente forma:

- Manipulador
- Cables de unión
- Unidad de control del robot
- Software

- Unidad manual de programación SmartPAD
- Opciones, accesorios

Fuente: (O. Instructions, 2012)



**Figura 1.** Robot industrial

Fuente: (KUKA, 2016)

### 1.1.5 Redes Industriales

Las redes industriales son los puntos de conexiones a una red de una forma más robusta, la cual se le llama “nodos” estos nos permiten tener conexiones de red en otros equipos industriales, mediante dispositivos físicos e inalámbricos de control, tales como:

- PC’S Industriales
- Sistemas de Control Distribuido
- Controladores
- Transductores y Actuadores
- Interfaces de Operador
- Módulos Inteligentes

Fuente: (ROJAS, 2005)

## 1.2 Características de células robotizadas ESPE

Para los laboratorios de robótica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se adquirieron celdas robotizadas KUKA que disponen de varios componentes que lo estructuran los cuales son: la unidad de control KUKA KR C4 Compac, el SmartPAD, y el brazo manipulador KR3 R540, el PLC Siemens 1200, el panel KTP 700 BASIC y el switch CSM 1277.

### 1.2.1 Unidad de control KUKA KR C4 Compac

La unidad de control del robot tiene el objetivo de ayudar en la programación del robot manipulador, además es ampliable y se puede incorporar en red, también se estructura de la siguiente manera: control en la sección de potencia, lógica de seguridad, panel de conexiones, entre otras.

El PC de control tiene funciones como son la creación, corrección, archivo y mantenimientos de programa, función de planificación de trayectorias, controlador de procesos, mandos de circuito en accionamientos y comunicación de periféricos externos.

Los detalles del PC de control están descritas en la *Tabla 1*.

**Tabla 1**

*Descripción del PC de control*

	Placa base
	Tarjeta de red LAN - Dual - NIC
	Módulos de almacenamiento
<b>Componentes</b>	Disipador de calor
	Disco duro
	Procesador
<b>Funciones</b>	Superficie de operación
	Creación, corrección, archivo y mantenimiento de programas
	Planificación de la trayectoria <b>CONTINÚA</b>

---

Mando de circuito de accionamientos

---

Control

---

Técnica de seguridad

---

Comunicación con los periféricos externos

---

Fuente: (O. Instructions, 2012)

### 1.2.2 KUKA SmartPAD

El smartPAD mostrado en la *Figura 2*, es la unidad manual principal de programación de robot industrial, tiene dimensiones detalladas en la *Tabla 2*.

El SmartPAD está dotado de todas las funciones de control de desplazamiento, indicaciones necesarias para obtener un buen manejo de programación del robot, dándole una orientación en tres o seis grados, cuenta con una pantalla táctil por lo que su uso se lo puede realizar con el dedo o un lápiz óptico (P. Instructions & Users, 2012).



**Figura 2.** SmartPAD

Fuente: (“Slider01.png (467×622)”, s/f)

**Tabla 2***Características del SmartPAD*

<b>Tensión de alimentación</b>	CC 20....27.1 V
<b>Dimensiones (n x l x profundidad)</b>	aprox. 24x29x5 $cm^3$
<b>Pantalla</b>	Pantalla táctil en color 600 x 800 puntos
<b>Tamaño de la pantalla</b>	8,4"
<b>Interfaces</b>	USB
<b>Peso</b>	1,1 kg
<b>Tipo de protección</b>	IP 54

Fuente: (O. Instructions, 2012)

### 1.2.3 Manipulador KR 3 R540

EL KR 3 R540 mostrado en la *Figura 3*, esta creado con un brazo cinemático de fundición de metal con interferencias reducidas permitiendo realizar movimientos flexibles en pequeños espacios, cada funcionalidad cuenta con un freno, en cuanto a los cables que conduce la corriente se encuentran ubicados debajo de cubiertas atornilladas, esto con el fin de protegerlos de cualquier filtración que pueda afectar a la corriente que emanan.

El manipulador está diseñado con 6 ejes detallado en la *Tabla 3*, y con rangos de desplazamiento mostrados en la *Tabla 5*.



**Figura 3.** Robot KUKA  
KR3 R540  
Fuente: (KUKA, 2016)

#### **Tabla 3**

*Detalle de las articulaciones del robot KR3 R540*

<b>Articulación</b>	<b>Detalle</b>
1	Muñeca central
2	Brazo
3	Brazo de oscilación
4	Columna giratoria
5	Instalación eléctrica
6	Base del robot

Fuente: (KUKA, 2016)

Los datos técnicos del Robot KUKA KR3 R540 se encuentra detallado en la *Tabla 4*.

**Tabla 4**

*Datos Técnicos*

<b>Alcance máximo</b>	541 mm
<b>Carga máxima</b>	3Kg
<b>Repetibilidad de posición (IOS 9283)</b>	±0,02
<b>Número de ejes</b>	6
<b>Posición de montaje</b>	Suelo; Techo; Pared
<b>Superficie de colocación</b>	179mm x 179 mm
<b>Peso</b>	aprox. 26,5 kg

Fuente: (KUKA Roboter GmbH, 2013)

**Tabla 5**

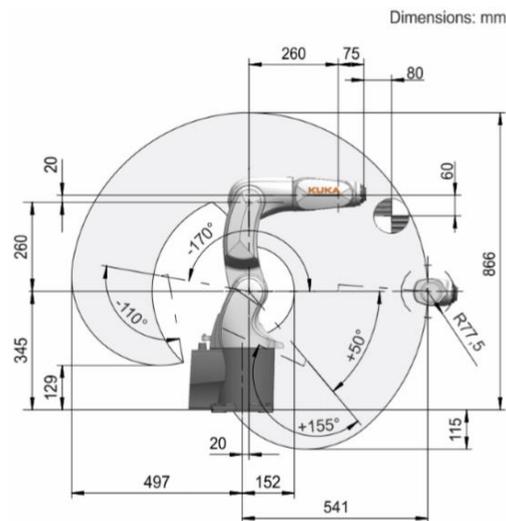
*Datos de los ejes*

<b>Rango de desplazamiento</b>
<b>A1</b> ±170°
<b>A2</b> -170° / 50°
<b>A3</b> -110° / 155°
<b>A4</b> ±175°
<b>A5</b> ±120°
<b>A6</b> ±350°

Fuente: (KUKA Roboter GmbH, 2013)

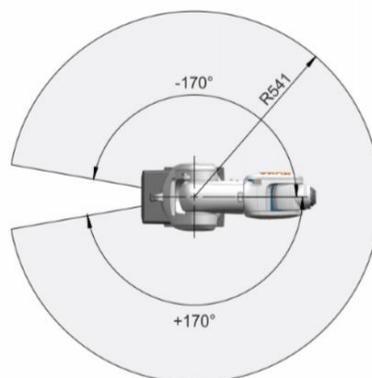
### 1.2.1.1 Zona de trabajo

En la *Figura 4* y *Figura 5* se observa el tamaño y la zona donde el KR3 R540 se desenvuelve para realizar sus movimientos, también se puede observar el eje de gravedad de carga (KUKA, 2016).



**Figura 4.** Forma de zona de trabajo

Fuente: (KUKA Roboter GmbH, 2013)



**Figura 5.** Centro de gravedad de carga

Fuente: (KUKA Roboter GmbH, 2013)

### 1.2.4 PLC S7-1200 Siemens

Es un equipo de con un controlador modulas SIMATIC S7 1200 que se muestra en la *Figura 6*, realiza tareas de control y automatización con una alta precisión en su ejecución.(*SIMATIC S7 - 1200 - El Futuro de la Industria - Siemens, s/f*)

La características de este equipo se encuentra detallada en la *Tabla 6*.

**Tabla 6**

*Características PLC S7-1200*

	Alta capacidad de procesamiento
	Interfaz Ethernet/PROFINET
	Entradas analógicas
Características	Bloques de funciones de control
	Programación mediante Software STEP 7 Basic V13

Fuente: (*SIMATIC S7 - 1200 - El Futuro de la Industria - Siemens, s/f*)



**Figura 6.** PLC S7-1200

Fuente: (“SIMATIC S7-1200 | Controladores SIMATIC | Siemens”, s/f)

### 1.2.5 Panel KTP 700 BASIC

El panel KTP 700 BASIC, mostrado en la *Figura 7*, es un equipo de monitorización y control, que accede al proceso programados del que se encuentre enlazado PLC.

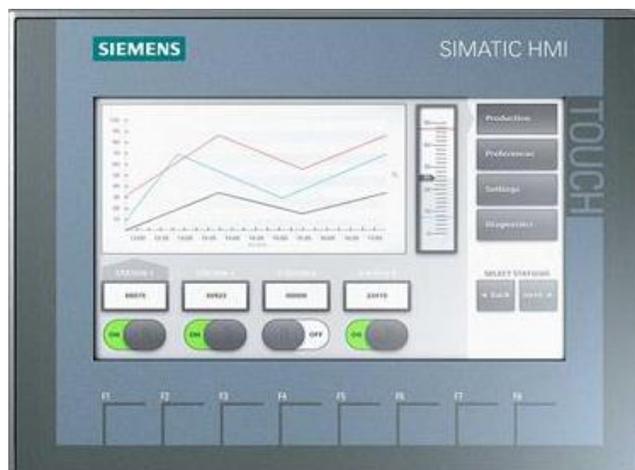
Las características de este equipo se detallan en la *Tabla 7*.

**Tabla 7**

*Características del panel KTP 700 BASIC*

	Operación de llave y teclado
	Interfaz Ethernet/PROFINET
Características	Configurable por Win CC V13
	contiene direcciones abiertas de software
	65536 colores

Fuente: (“6AV2123-2GB03-0AX0 - Industry Support Siemens”, s/f)



**Figura 7.** Panel KTP 700 BASIC

Fuente: (“6AV2123-2GB03-0AX0 - Industry Support Siemens”, s/f)

### 1.2.6 Siemens CSM 1277

El módulo CSM 1277 de la marca Siemens como muestra en la *Figura 8*, es un Switch que permite las conexiones de red a los diferentes dispositivos industriales.

Las características del dispositivo se encuentran detalladas en la *Tabla 8*.

**Tabla 8.**

*Características CSM 1277 Siemens*

	Conexión SIMATIC S7-1200
	4 puertos RJ45
Características	Diagnostico por LED
	MDI-X para 10/100 Mbit/s
	Alimentación 24 VDC

Fuente: (Ag, s/f)



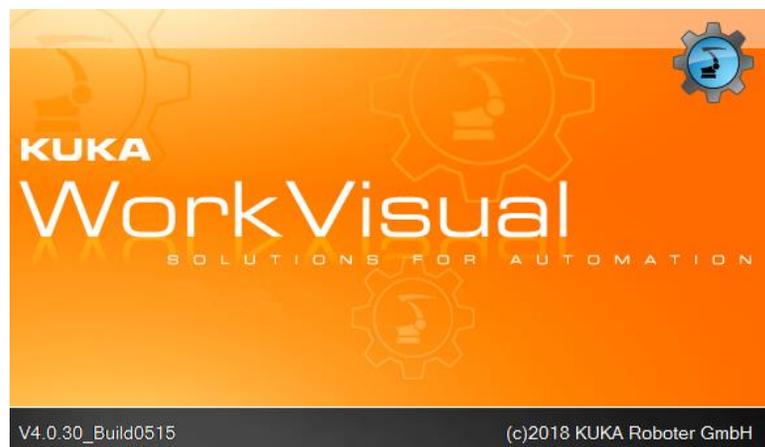
**Figura 8.** CSM 1277

Fuente: (Ag, s/f)

## 1.3 Programación KUKA

### 1.3.1 KUKA ROBOT LANGUAGE (KRL)

La programación KRL se la implementa por medio de dos ficheros de extensión \*.SRC y \*.DAT, el fichero DAT tiene datos específicos para el programa, el repertorio con la ampliación SRC tiene su propio código de programa. El programa KRL para ser creado tiene la asistencia de un software conocido como WorkVisual mostrado en la *Figura 9*, el mismo que ayuda con la creación de programas de un modo más avanzado y práctico (KUKA System Software, s/f).



**Figura 9.** WorkVisual V4.0.30  
Fuente: (KUKA System Software, s/f)

Ejemplo de un programa con extensión \*.SRC, como muestra la *Figura 10*

```

DEF EJEMPLO1 ( )
;FOLD INI;{%PE}
;FOLD BASISTECH INI
  GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
  INTERRUPT ON 3
  BAS (#INITMOV,0 )
;ENDFOLD (BASISTECH INI)
;FOLD USER INI
;Make your modifications here

;ENDFOLD (USER INI)
;ENDFOLD (INI)

;FOLD PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT;{%PE}%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%
VPTP,%P 1:PTP, 2:HOME, 3:, 5:100, 7:DEFAULT
$BWDSTART = FALSE
PDAT_ACT=PDEFAULT
FDAT_ACT=FHOME
BAS (#PTP_PARAMS,100 )
$H_POS=XHOME
PTP XHOME
;ENDFOLD

;FOLD PTP P1 Vel=100 % PDAT1 Tool[1] Base[0];{%PE}%R 8.3.48,%
MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P1, 3:, 5:100, 7:PDAT1
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT1
FDAT_ACT=FP1
BAS (#PTP_PARAMS,100)
PTP XP1
;ENDFOLD

;FOLD PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT;{%PE}%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%
VPTP,%P 1:PTP, 2:HOME, 3:, 5:100, 7:DEFAULT
$BWDSTART = FALSE
PDAT_ACT=PDEFAULT
FDAT_ACT=FHOME
BAS (#PTP_PARAMS,100 )
$H_POS=XHOME
PTP XHOME
;ENDFOLD

END

```

**Figura 10.** Ejemplo de programa con extensión \*.src

Ejemplo de un programa con extensión \*.DAT, como muestra la *Figura 11*

```

&ACCESS RVP
&REL 1
&PARAM EDITMASK = *
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
DEFDAT EJEMPLO1
;FOLD EXTERNAL DECLARATIONS;{%PE}%MKUKATPBASIS,%CEXT,%VCOMMON,%P
;FOLD BASISTECH EXT;{%PE}%MKUKATPBASIS,%CEXT,%VEXT,%P
EXT BAS (BAS_COMMAND :IN,REAL :IN )
DECL INT SUCCESS
;ENDFOLD (BASISTECH EXT)
;FOLD USER EXT;{%E}%MKUKATPUSER,%CEXT,%VEXT,%P
;Make your modifications here

;ENDFOLD (USER EXT)
;ENDFOLD (EXTERNAL DECLARATIONS)
DECL BASIS_SUGG_T LAST_BASIS={POINT1[] "P1
",POINT2[] "P1
",CP_PARAMS[] "CPDAT0
",PTP_PARAMS[] "PDAT1
",CONT[] "
",CP_VEL[] "2.0
",PTP_VEL[] "100
",SYNC_PARAMS[] "SYNCDAT
",SPL_NAME[] "S0
",A_PARAMS[] "ADAT0
"}
DECL E6POS XP1={X 340.251251,Y 389.012695,Z
386.100708,A -177.145874,B 60.8438873,C -176.773621,S 2,T 35,E1
0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL FDAT FP1={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE,POINT2[] "
",TQ_STATE FALSE}
DECL PDAT PPDAT1={VEL 100.000,ACC 100.000,APO_DIST
100.000,GEAR_JERK 50.0000,EXAX_IGN 0}
ENDDAT

```

**Figura 11.** Ejemplo programa con extensión \*.dat

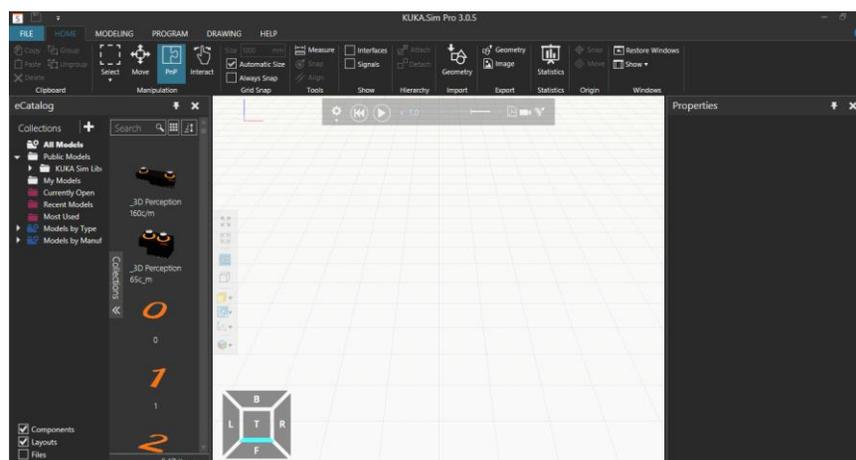
### 1.3.2 Simulación

El simulador KUKA SIM PRO mostrado en la *Figura 12*, permite programar robots fuera de línea mediante su software, este ayuda a diseñar varios procesos industriales, brindando mayor rapidez y eficiencia para la programación, ya que se puede transmitir por medio de WorkVisual.

Dispone de una plataforma didáctica y eficiente al momento de usarlo como muestra la *Figura 13*.



**Figura 12.** Apertura de Simulador KUKA  
Fuente: (KUKA, 2016)



**Figura 13.** Simulador KUKA Sim Pro  
Fuente: (KUKA, 2016)

## 1.4 Aplicativos con robots industriales

Los robots industriales han revolucionado la industria desde ya muchos años, empleando aplicativos simples como circuitos impresos hasta ya muy complejas como son las cirugías en operaciones, pero todo se ha desarrollado más en la zona automotriz por la presencia de trabajos más rápidos, eficientes y menores costos de producción. Entre otras aplicaciones tenemos:

### 1.4.1 Soldadura por puntos.

El robot de soldadura dispone de una herramienta como muestra la *Figura 14*, y este tipo de soldadura se basa en presión, temperatura y corriente eléctrica, la misma que les da resistencia a los objetos que se requiere soldar, este se limita a uno o varios puntos donde se unen las piezas, este tipo de soldadura se la utiliza generalmente en la industria automovilística y cuenta con varias ventajas que permiten tener tiempos de ciclos más rápidos en unión de diferentes materiales (“Soldadura por puntos | KUKA AG”, s/f).



**Figura 14.** Robot de soldadura por puntos

Fuente: (“Robots de soldadura por puntos - robots industriales usados | Eurobots”, s/f)

### 1.4.2 Corte

Una vez programado e integrado a un sistema del robot, este brinda un elemento ideal para llevar la herramienta que realiza el corte, permitiendo cortar con mayor precisión, siempre y cuando exista un diseño realizado desde el ordenador. Existen varios tipos de corte no mecánico, esto depende del material que se vaya a cortar.

El corte de materiales mediante el robot mostrado en la *Figura 15*, es una aplicación reciente que cuenta con notable interés (“Aplicaciones de los robots”, s/f).



***Figura 15.*** Corte por plasma  
Fuente: (“Robot de corte por plasma -  
Cortadoras por plasma - Logismarket.ar”, s/f)

### 1.4.3 Aplicaciones de Materiales

Esta aplicación de materiales depende mucho de la empresa que lo va diseñar, uno de los usos más comunes es el de aplicación de pintura en la zona industrial mostrado en la *Figura 16*, este le brindará una mayor protección de acuerdo como lo fabriquen en lo metalizado (“Aplicaciones de los robots”, s/f).



**Figura 16.** Proceso de pintado con Robots  
Fuente: (“Robot de pintura - ABB/Motoman/Fanuc -  
Pintado - Logismarket.ar”, s/f)

#### 1.4.4 Aplicaciones de embalaje

Con la implementación de los robots industriales en el aplicativo de empaquetado y embalaje se obtiene beneficios en cuanto a producción con los parámetros de eficiencia y costos reducidos. Uno de los procesos más destacados es el uso de empaquetado como son por cajas o por empaques de espuma flex como muestra la *Figura 17*.

Las razones principales por las que fallan técnicas convencionales en la aplicación de embalaje y empaquetado tradicionales, es porque en la actualidad la asistencia de robots en el empaque y embalaje es más flexible y repetible, esto aumenta la productividad y se desecha los problemas ergonómicos (Squires, s/f).



**Figura 17.** Lavadora embalada

Fuente: (MANICA, s/f)

### 1.4.5 Aplicaciones Automotrices

Los mercados actualmente se encuentran en procesos automáticos en su mayor parte lo que lleva a que las industrias automotrices se enfoquen en la automatización por Robots (Merodio, 2018).

En los procesos de fabricación en la industria automotriz suele tener trabajos de índole pesados y peligrosos, por lo que requiere de un nivel alto de precisión y estándares altos, las máquinas pueden evitar la mayor parte de fallas e imprecisión que genera la mano de obra.

Las mayores industrias automotrices mostrado en la *Figura 18*, tienen procesos automatizados con robots, para fabricar los automóviles, las industria se subdivide en sectores como son: pintura, ensamblaje, soldadura, colocación de pegamento, colocación de parabrisas, instrumentación, entre otros.



**Figura 18.** Proceso automotriz con robots

Fuente: (“Robots industriales FANUC para una automatización más inteligente”, s/f)

## **1.5 Redes de comunicaciones industriales**

Las redes industriales en la pirámide de automatización se encuentran en el nivel de campo, su objetivo es la intercomunicación de equipos industriales, estos sistemas de comunicación deben ser robustos y tener fiabilidad ante las comunicaciones en tiempo real ya que en la industria conlleva trabajar en procesos con zonas ambientales hostiles y zonas de niveles electromagnético altos (Rosado Muñoz, 2009).

### **1.5.1 Red de Factoría:**

Este tipo de red está diseñada para ser utilizada en varios campos como redes de oficina, contabilidad, administración entre otras, las transmisiones en los procesos que realiza es con una respuesta de tiempo de demora que no es significativa (Rosado Muñoz, 2009).

### **1.5.2 Red de Planta:**

Esta red nos permite interconectar módulos y células entre sí, este tipo de red nos permite transmitir varios tipos de mensajes, detectando errores y corrigiéndolos; se emplea para el enlace de funciones de planta (Rosado Muñoz, 2009).

### **1.5.3 Red de Célula:**

Este tipo de red sirven para mecanismos de control, son de alta fiabilidad, y manejan el tráfico de eventos discretos (Rosado Muñoz, 2009).

### **1.5.4 Bus de Campo:**

Este permite suplir el cableado, ya que simplifica la instalación de máquinas industriales. Se debe tomar en cuenta que debe ser de bajo coste, tiempo real, ayuda a interconectar dispositivos siendo este un control central con conexiones descentralizadas, permitiendo tener controladores inteligentes (Rosado Muñoz, 2009).

## 1.6 Normativa de células robóticas

En la utilización de procesos con los robots industriales se debe tener en cuenta normativas de seguridad ya sea por fabricación o por dispositivos auxiliares a emergencia, para esto se crearon normativas que debe cumplir tanto los fabricantes como los instaladores, las normativas que cumple para los KR3 R540 se encuentra detallado en la *Tabla 9*.

**Tabla 9**

*Normas*

<b>Nombre/salida</b>	<b>Definición</b>
2006/42/CE:2006	Directiva relativa a las máquinas
2014/30/UE:2014	Directiva sobre compatibilidad electromagnética
2014/68/UE:2014	Directiva sobre equipos a presión
EN ISO 13850:2015	Seguridad de máquinas
EN ISO 13849-1:2015	Seguridad de máquinas
EN ISO 13849-2:2012	Seguridad de máquinas
EN ISO 12100:2010	Seguridad de máquinas
EN ISO 10218-1:2011	Robots industriales - requisitos de seguridad
EN 614-1:2006 + A1:2009	Seguridad de máquinas
EN 61000-6-2:2005	Compatibilidad electromagnética (CEM)
EN 61000-6-4:2007 + A1:2011	Compatibilidad electromagnética (CEM)
EN 60204-1:2006/A1:2009	Seguridad de máquinas

Fuente: (O. Instructions, 2010)

## 1.7 Métodos de aprendizaje

En los métodos de aprendizaje se puede encontrar varios tipos, esto depende de como el estudiante pueda acogerlo de mejor manera, dentro de estos siempre debe existir la participación tanto del profesor como del estudiante para que exista una mayor interacción metodológica y el alumno pueda mejorar su rendimiento.

En cuanto al aprendizaje dentro de un laboratorio debe existir precisión y seguimiento del profesor ya que este aprendizaje es de investigación hipotética y los alumnos están para probar y

diseñar un experimento que sea apropiado, en ocasiones este también puede ser dirigido por un estudiante.

Para las prácticas de laboratorio puede ser una serie de experimentos diarios especificados por el profesor o también puede ser un conjunto de investigaciones con guías para que el estudiante desarrolle la hipótesis a probar, el estudiante elige los métodos y diseña cada experimento de una manera apropiada, la supervisión de investigación particular, puede ser orientada por el profesor y otra dirigida por el estudiante (Diwan & Pilagallo, 2012).

Tomando otra orientación de diferentes escenarios donde se da lugar a las actividades que se van a realizar por el profesorado y el alumnado en el transcurso del aprendizaje (Díaz, 2005).

Se plantea clasificar cada método con una referencia del carácter personal en las formas presenciales y no presenciales.

El aprendizaje relacionado a las prácticas y utilizado es el aprendizaje basado en problemas (ABP), que es una estrategia en la que pequeños grupos de trabajo buscan una solución ante un problema planteado, y son guiados por el tutor (Diwan & Pilagallo, 2012).

## CAPÍTULO II

### DISEÑO E INTEGRACIÓN DE CÉLULAS ROBOTIZADAS

La universidad de las Fuerzas Armadas adquirió nuevos equipos para el laboratorio de robótica tales como: PLCs 1200 Siemens, Paneles KTP 700 Basic, tableros de control, células robóticas de propósito general KUKA KR3 R540, y con el objetivo de brindar un mayor aprendizaje a los estudiantes, se planteó este tema de investigación para diseñar 3 prácticas de laboratorio, adaptando dos células de propósito general a unas de propósito específico, las cuales se han denominado: célula de introducción a PROFINET, célula para embalaje automático de electrodomésticos y célula para ensamblaje automotriz.

Para el desarrollo de estas prácticas se requirió diseñar, fabricar e integrar elementos y equipos a las células, el proceso de diseño se realizó en varios softwares, Considerando las mediciones de las áreas de trabajo de los robots.

En este capítulo se divide cada práctica en subtemas tales como: Diseño mecánico que es el diseño e integración de las diferentes piezas que se requieren en las celdas robóticas para cumplir el objetivo de las prácticas, el diseño eléctrico/electrónico que muestra los esquemas de control y de potencia de cada práctica, el diseño de red que describe la topología y direccionamiento de cada dispositivo en la red industrial, y los diseños de los programas que se desarrollan en cada célula robótica.

Para la integración se utilizaron diferentes materiales en la construcción de la piezas y elementos mecánicos, y para el diseño se utilizaron los softwares tales como: SolidWork, Blender y Cura, este último software se utiliza en la conversión de extensión, ya que los elementos pequeños

como herramientas, almacenes y objetos a escala, fueron realizadas con material PLA en una impresora 3D.

Para el desarrollo de las prácticas de laboratorio, se requirió el diseño de un prototipo de banda transportadora. La banda fue diseñada en SolidWork y fabricada con tubo cuadrado de metal Negro, suelda Tick, Pintura, tornillo sin fin, cinta PVC, y trabajos en torno, además se diseñó un sistema de actuación formado por un motor eléctrico de 24 VDC, un sistema de transmisión de cadena, 2 ruedas dentadas, una fuente de poder, y la habilitación por PLC.

Para el diseño electrónico se utilizaron los diagramas de los PLCs 1200 Siemens a los que se le conectaron fines de carrera ubicados en los almacenes de la célula de embalaje automático de electrodomésticos y a la célula de ensamblaje automotriz, además del sensor de proximidad capacitivo que se ubica sobre la banda transportadora.

En el diseño de red de las tres prácticas se propuso una topología de árbol ya que se ocupan varios switch para establecer la comunicación.

También se detalla cada diseño con la descripción y objetivo que cumple en los procesos.

### **2.1. Célula para introducción a PROFINET**

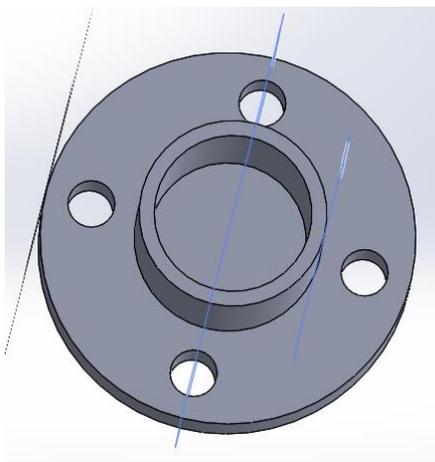
La práctica de la célula para introducción a PROFINET, tiene como objetivo enseñar al estudiante sobre los procesos de conexión de PROFINET entre el PLC 1200 Siemens y el controlador KUKA KRC4 Compac, para esto requirió una aplicación del robot KUKA KR3 R540, que realiza trazos automáticos de polígonos inscritos, para este proceso se crearon los siguientes diseños

### 2.1.1. Diseño e implementación mecánico

Para la práctica de la célula de introducción a PROFINET se requirió una herramienta que da soporte a un marcador para que dibuje los trazos de los polígonos

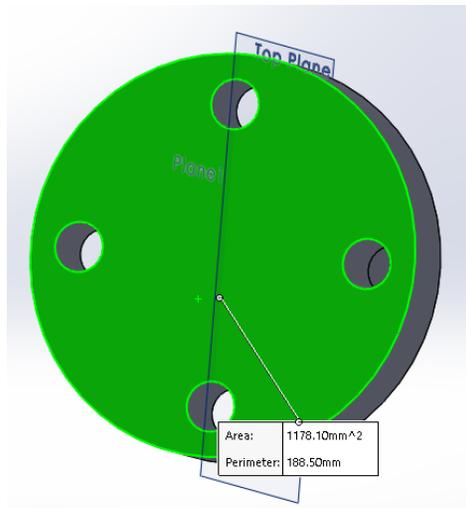
#### 2.1.1.1. Herramienta para el marcador

El diseño de soporte del marcador se muestra en la *Figura 19*, con las medidas de los marcadores de diámetro de 1.8 cm y 1.6cm, se fabricaron dos de estos soportes en material PLA con los diámetros indicados.



**Figura 19.** Soporte Marcador

La base del soporte va sujeta con 4 tornillos largos, a un trapezoide de acrílico de 8 x 5 x 1 cm, la base del soporte del marcador se dimensionó con las medidas del acrílico, con un diámetro de 4cm, como muestra la *Figura 20*.



**Figura 20.** Medida del base

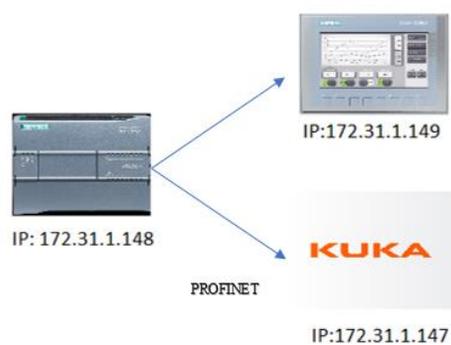
EL soporte de marcador mostrado en la *Figura 19*, se fabricó en material PLA y se integró al acrílico, formando una herramienta para colocar el marcador en el robot KUKA KR3 R540 como se muestra en la *Figura 21*.



**Figura 21.** Herramienta para marcador

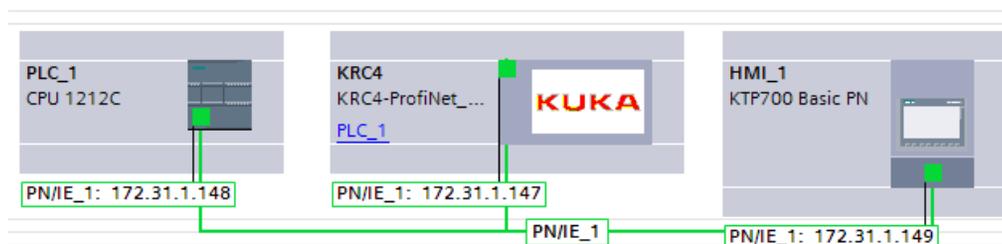
### 2.1.2. Diseño de red

El diseño de red consta de 3 equipos un KTP 700 BASIC, un controlador KUKA KRC4 Compac, y un PLC 1200 SIEMENS con direcciones de 172.31.1.X como muestra la *Figura 22* , conectados por medio de una red PROFINET en topología tipo árbol.



**Figura 22.** Direcciones IP de equipos en práctica 1

Para la programación del PLC, se agrega los diferentes módulos en una sola conexión como se muestra en la *Figura 23*.



**Figura 23.** Módulos Tia Portal

### 2.1.3. Diseño de programa

El proceso de la programación para la celda de introducción a PROFINET se encuentra detallada en la *Figura 24*.



**Figura 24.** Proceso de ejecución programa práctica 1

## 2.2. Célula para embalaje automático de electrodomésticos

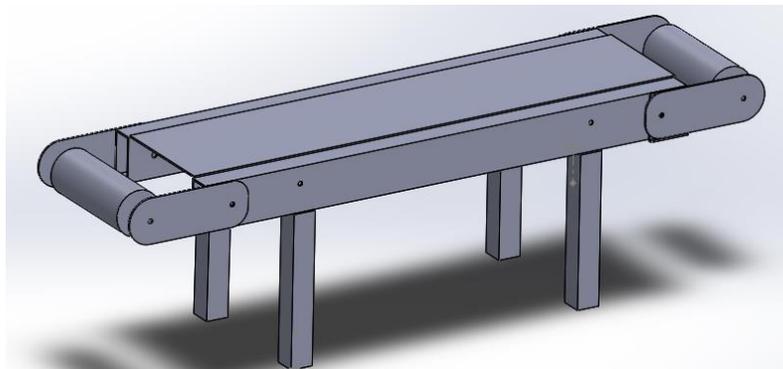
La práctica de la célula de embalaje automático de electrodomésticos tiene como objetivo el sincronismo de dos robots KUKA KR3 R540 por medio de una comunicación S7 en dos PLCs, por lo que el aplicativo requiere una banda transportadora que transporte el producto y se detenga con un sensor de proximidad, posteriormente se activen los robots y coloquen dos cobertores almacenados en los laterales de una lavadora a escala, para cumplir el objetivo se crearon los siguientes diseños.

### 2.2.1. Diseño e implementación mecánico

En el diseño mecánico de la célula de embalaje de electrodomésticos se requirió varias herramientas y elementos a escala los cuales son detallados de la siguiente forma:

#### 2.2.1.1. Banda transportadora

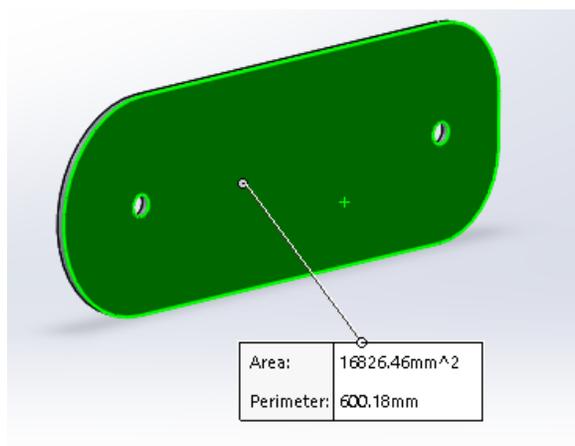
Se diseñó un banda transportadora como muestra la *Figura 25*, en el software SolidWork, para este proceso de diseño se subdividió por piezas.



*Figura 25.* Diseño banda transportadora

### 2.2.1.2. Partes de la banda transportadora

La primera pieza diseñada de la banda transportadora es el soporte de los rodillos como muestra la *Figura 26*, este soporte tiene un perímetro de 60.01 cm, se fabricaron dos de estas piezas con metal negro, uno de los orificios va atornillado a la parte superior de la banda y por medio de las dos placas y el rodillo atraviesa un tornillo sin fin de 32 cm de largo.



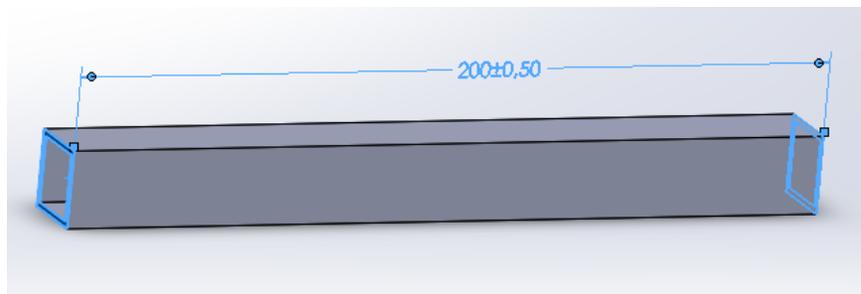
**Figura 26.** Soporte de rodillos

La segunda pieza es una plancha de metal negro de 91 x 20 x 2 cm como muestra la *Figura 27*, que tiene como objetivo ser el soporte de la cinta de PVC.



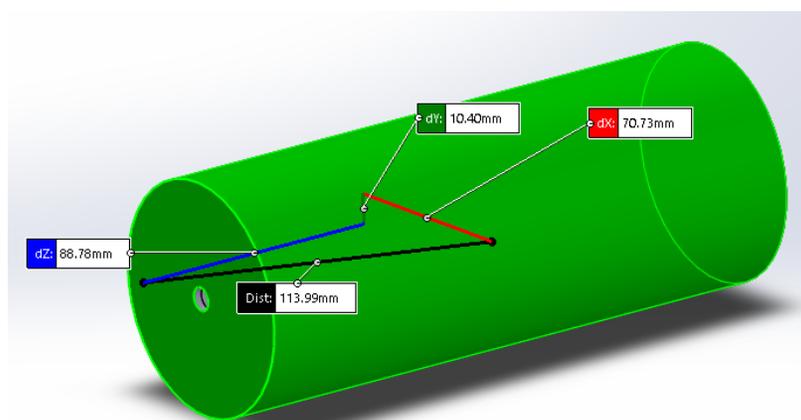
**Figura 27.** Superficie de apoyo de la cinta

Los soportes de mesa son fabricadas con tubo cuadro de 4cm de lado en metal negro de 20 cm de largo como muestra la *Figura 28*, estas piezas tienen el objetivo de unir los extremos de la mesa para la colocación del soporte de la cinta mostrado en la *Figura 27*.



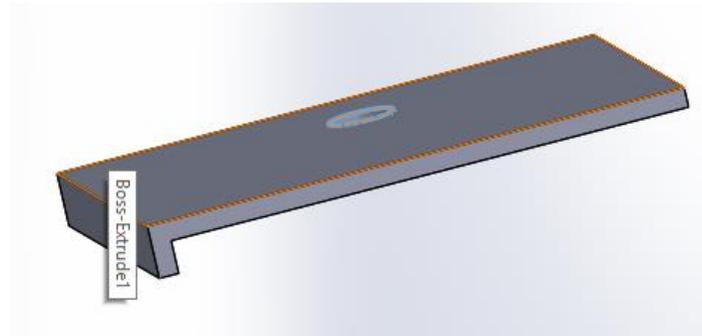
**Figura 28.** Soporte de la unión de mesa

Para el funcionamiento de la banda transportadora se requiere de rodillos que desplacen una cinta PVC, por tal motivo se diseñó el rodillo que se muestra en la *Figura 29*, y se fabricó con proceso de torneado, el material utilizado es un tubo de metal negro de 6 cm de diámetro y 20 cm de largo, con una diferencia de ángulos en la pared del tubo para que la cinta PVC no se desplace de su centro.



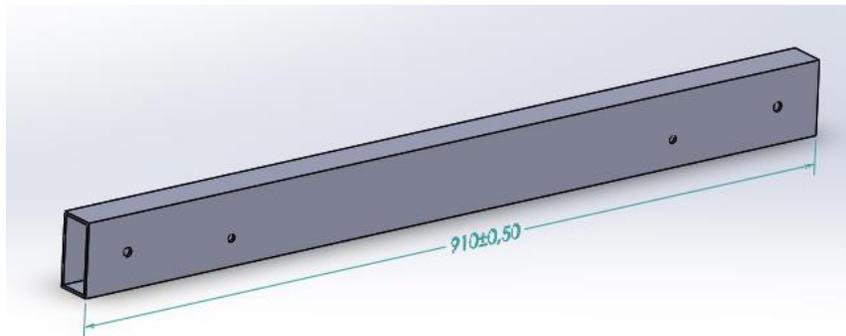
**Figura 29.** Rodillos metálicos

La banda transportadora requiere de un motor que genere el movimiento de los rodillos mostrado en la *Figura 29*, por este motivo se diseña una base como muestra la *Figura 30*, que sujete el motor, en un soporte de la banda transportadora, esta base está fabricada con metal negro y tiene dimensiones de 10 x 10 x 0.2 cm.



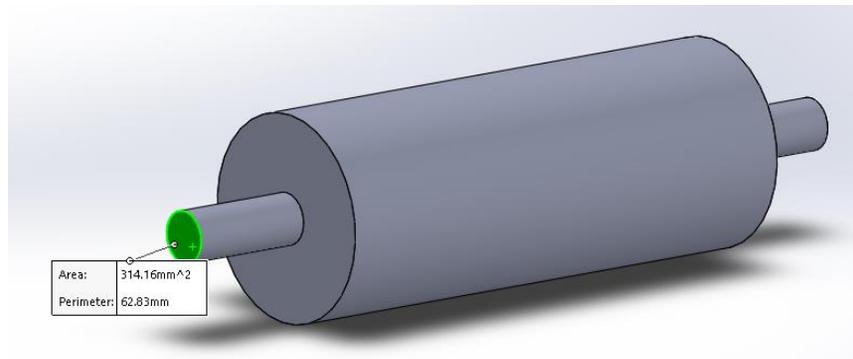
**Figura 30.** Soporte de motor

Las guías externas mostrados en la *Figura 31*, son los laterales de la mesa de la banda y es la base para el apoyo de la cinta mostrados en la *Figura 27*, es fabricados con tubo rectangular metálico negro de 6 x 4 cm y 91 cm de largo.



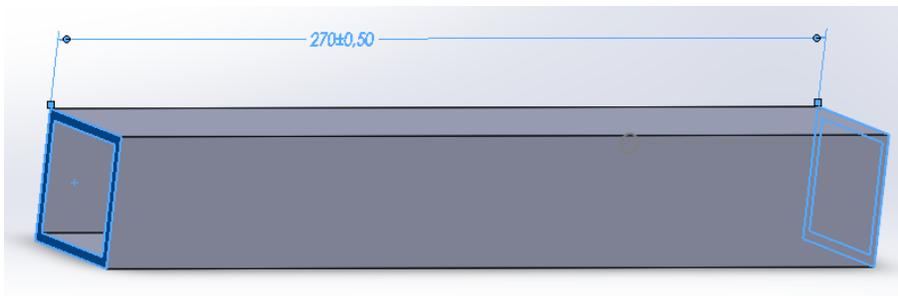
**Figura 31.** Extremos de la mesa

Se utiliza un tornillo sin fin de acero inoxidable de 1.27 cm de diámetro y 32 cm de largo para unir a los soportes de rodillo de la *Figura 26*, con el rodillo mostrado en la *Figura 29*, el tornillo sin fin atraviesa el centro del rodillo como muestra la *Figura 32*.



**Figura 32.** Rodillo con los soportes de tornillo sin fin

Para unir los extremos de la mesa se diseñaron soportes de la base, estos están diseñados con la medida de 27 cm, como muestra la *Figura 33*, para la fabricación se utilizó tubo cuadrado de metal negro de 4 cm de lado.



**Figura 33.** Soportes de la mesa

La unión de todas las piezas diseñadas y fabricadas se las realizo con suelda TIG como se muestra en la *Figura 34*.



***Figura 34.*** Fabricación de banda transportadora

Las dimensiones de la banda terminaron siendo de 100 x 28 cm y 34 cm de alto, la altura se puede variar por tornillos ubicados en los filos de los soportes de la mesa, por este motivo se verificó las dimensiones establecidas para la cinta de PVC termo sellada como se muestra en la *Figura 35*.



***Figura 35.*** Instalación de la cinta

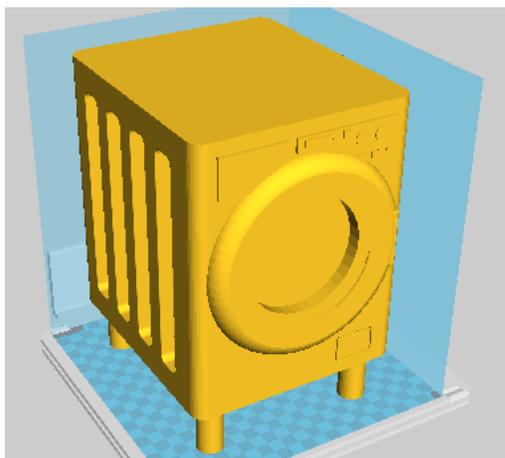
Se realizó un trabajo de torneado con variación de ángulo en las paredes del cilindro y además se colocó el tornillo sin fin como muestra la *Figura 36*.



*Figura 36.* Fabricación de rodillos

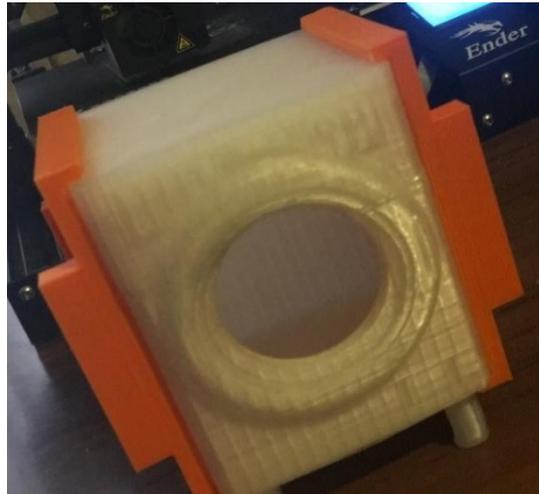
### **2.2.1.3. Prototipo de lavadora a escala**

El producto que se propone manipular en la práctica 2, es una lavadora a escala como muestra la *Figura 37*, que fue diseñada con las medidas 9.4 x 10 x 14 cm.



*Figura 37.* Lavadora a escala

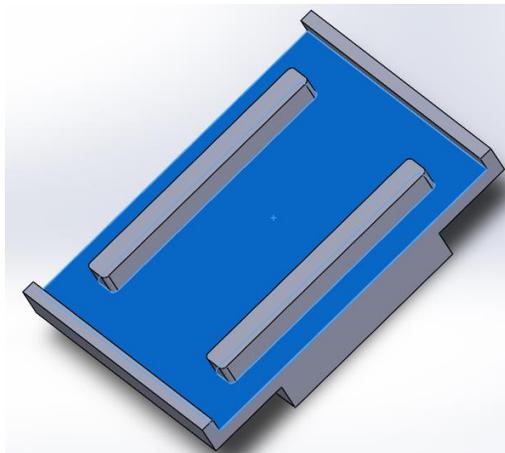
La lavadora a escala fue fabricada en una impresora 3D con el material PLA de color transparente, como muestra la *Figura 38*.



*Figura 38.* Lavadora a escala con sus protectores

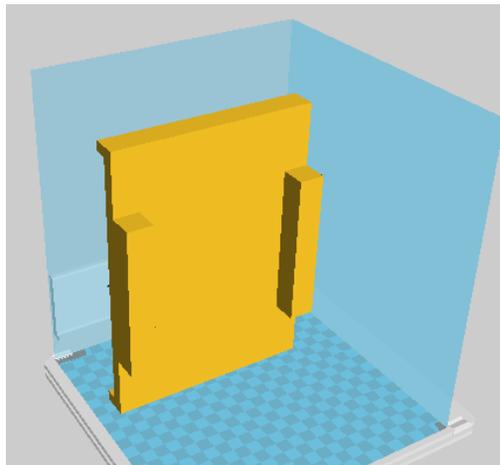
#### 2.2.1.4. Cobertor de lavadora a escala

El cobertor mostrado en la *Figura 39*, está diseñado a la medida exacta de la lavadora con filos superiores sobre salidos y ganchos internos para sujeción de la pieza.



*Figura 39.* Cobertor Lavadora

La parte posterior del cobertor como muestra la *Figura 40*, tiene soportes de 8.9 cm en los extremos para efectué la recolección de la pieza con la pinza del robot KUKA KR3 R540.



**Figura 40.** Parte posterior de cobertor de lavadora

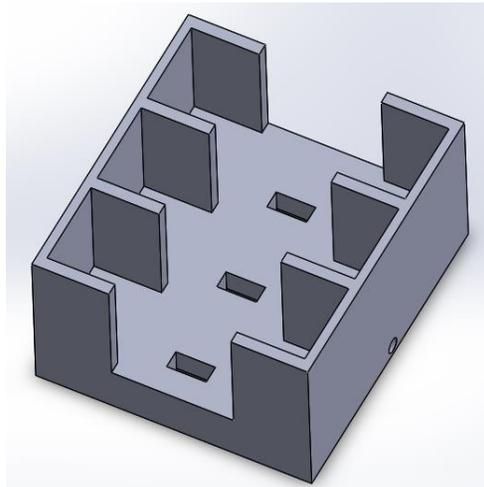
La fabricación del cobertor de lavadora a escala se realizó en PLA color naranja como muestra la *Figura 41*.



**Figura 41.** Cobertor físico

### 2.2.1.5. Almacén de cobertores

El almacén de los cobertores está diseñado con las medidas 10.1 x 9.5 x 5.4 cm tiene espacio para 3 cobertores como muestra la *Figura 42*, con orificios para colocar fines de carrera de 1.3 x 0.6 cm.



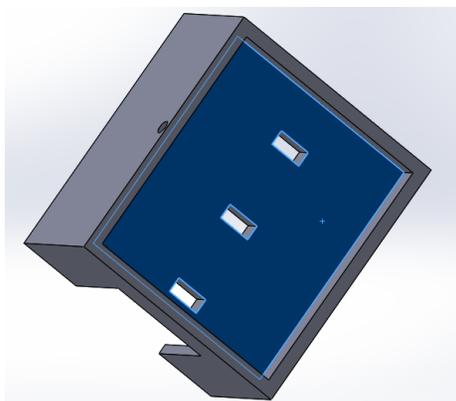
**Figura 42.** Almacén de cobertores

Se fabricaron dos almacenes con material PLA transparente, cada almacén cuenta con espacio de 3 cobertores como se muestra en la *Figura 43*.



**Figura 43.** Cobertores de lavadora a escala

La parte inferior del almacén de los cobertores tiene una altura de 0.8 cm como muestra la *Figura 44*, que genera espacio para el cableado UTP de los fines de carrera colocados en la parte intermedia.



**Figura 44.** Parte inferior almacén de cobertores

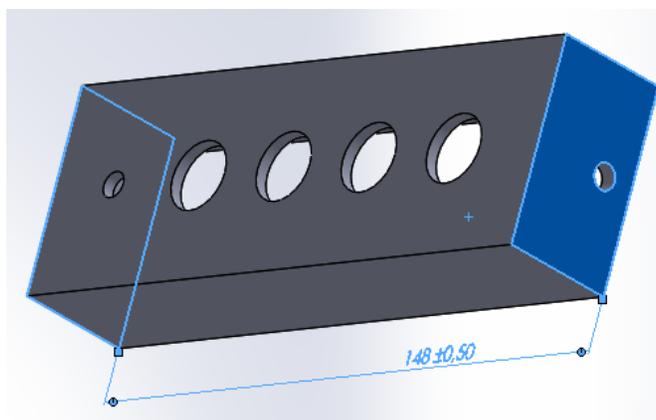
Cada almacén cuenta con fines de carrera, como indica la *Figura 45*, para la ubicación de cada cobertor.



**Figura 45.** Almacén de cobertores de lavadora

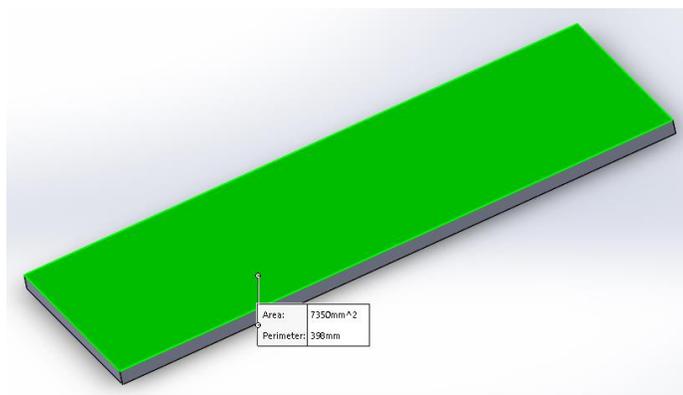
### 2.2.1.6. Base para control manual

La base para control manual se diseñó con 14.8 cm de largo x 4.8 cm de ancho como se muestra en la *Figura 46*, para introducir pulsadores de 1.6 cm de diámetro y un switch de 3 estados.



**Figura 46.** Control manual de procesos

La tapa del control está diseñada con los parámetros de la caja de control 14.8 x 4.8 cm, como muestra en la *Figura 47*, el objetivo de esta tapa es la protección de los cableados internos del mismo.



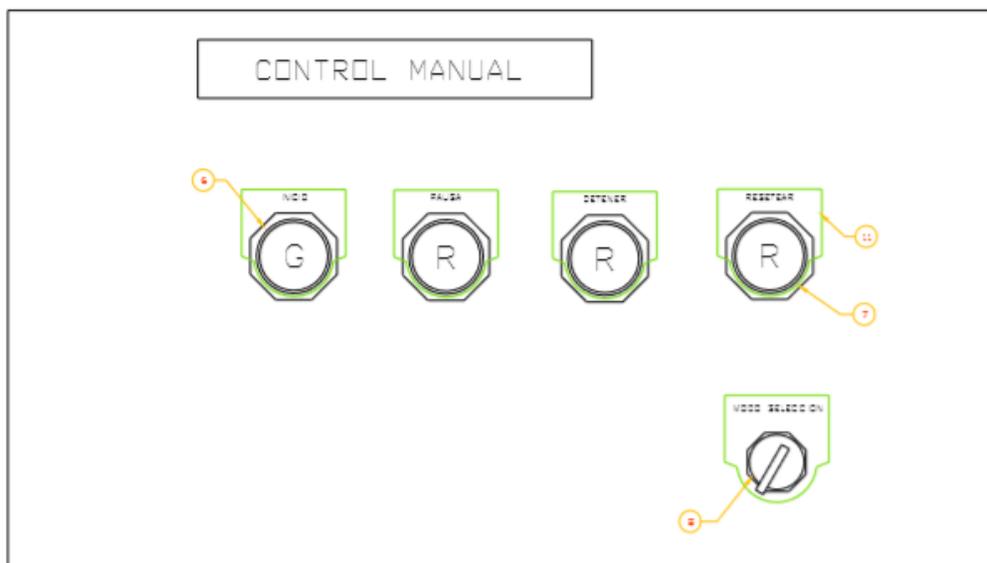
**Figura 47.** Tapa de control manual

La fabricación del control manual se realizó con PLA color transparente y se colocó botoneras de 1 cm de diámetro y un switch de 3 estados, como se muestra en la *Figura 48*.



**Figura 48.** Control manual

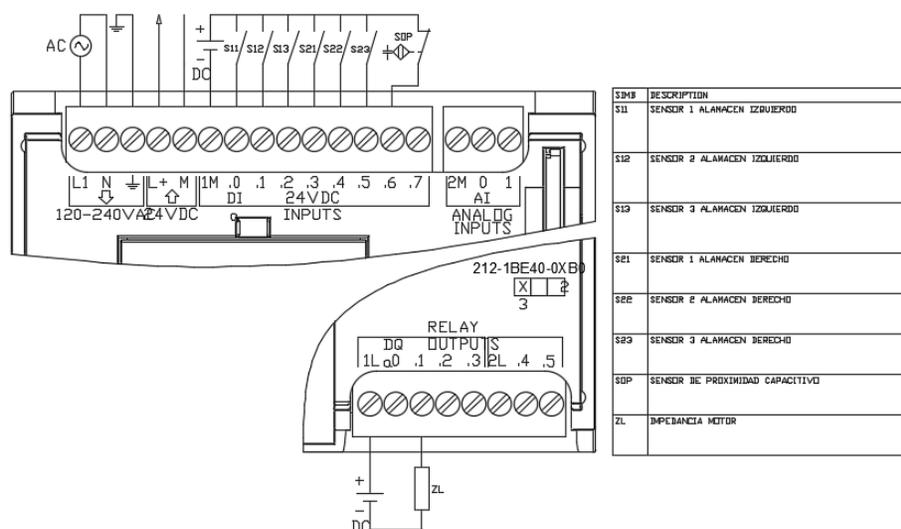
El esquema que muestra en la *Figura 49*, refleja la descripción de cada botón utilizado en el control manual.



**Figura 49.** Botonera del control manual

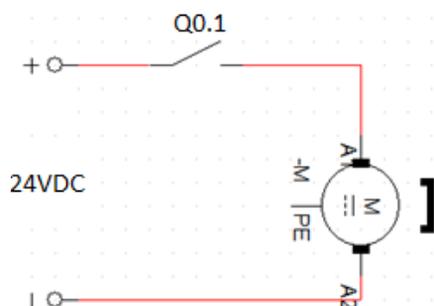
## 2.2.2. Diseño eléctrico y electrónico

El esquema de control mostrado en la *Figura 50*, detalla la estructura de conexiones de entradas y salidas del PLC ubicado en el panel F-07, este tiene 6 fines de carrera de los almacenes de cobertores, un sensor de proximidad, y la salida correspondiente a la activación del motor de 24VDC.



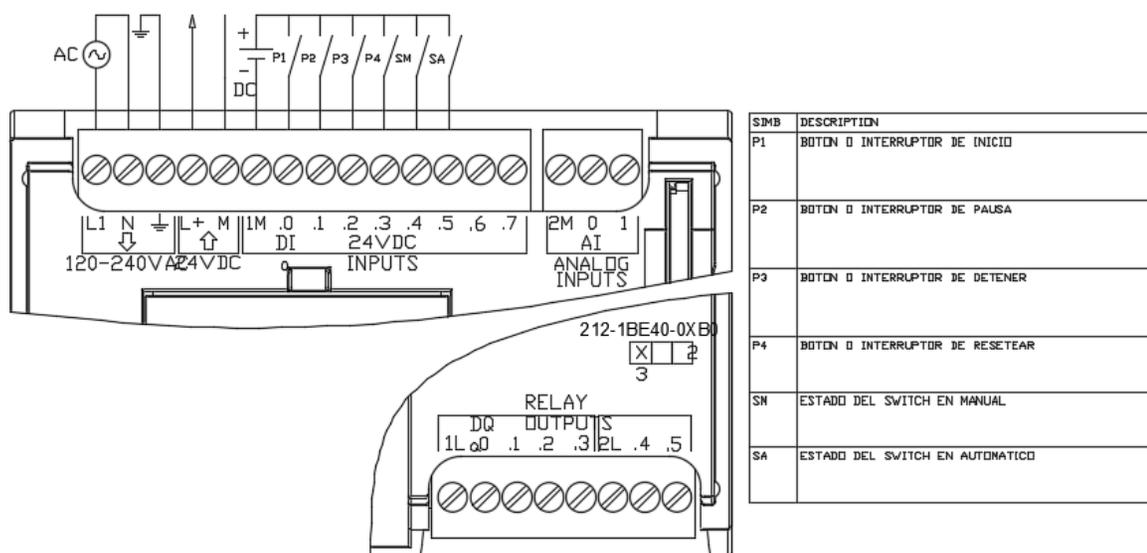
**Figura 50.** Diseño electrónico PLC ubicado en panel F-07

El esquema de potencia mostrado en la *Figura 51*, refleja la conexión de una fuente de DC externa al PLC con el cierre del interruptor por medio de relé del PLC para alimentar el motor de 24VDC de la banda transportadora.



**Figura 51.** Motor banda transportadora

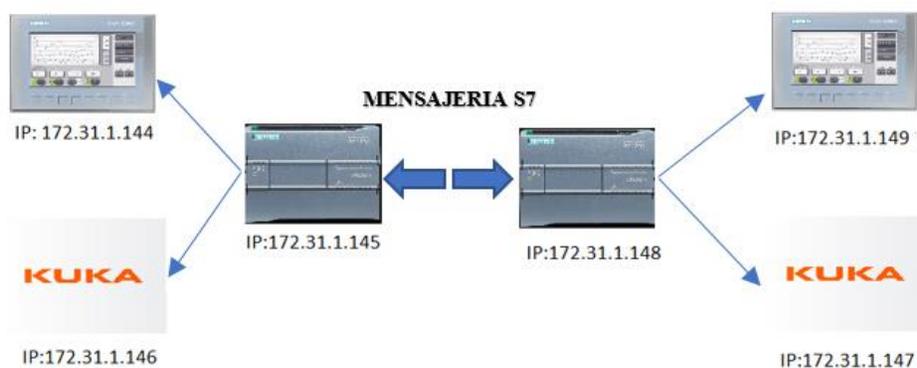
El esquema de control mostrado en la *Figura 52*, se encuentra la estructura de entradas y salidas del PLC ubicado en el panel F-08, para las entradas tenemos los pulsadores INICIO, PAUSA, DETENER, RESETEO, estados MANUAL y AUTOMATICO.



**Figura 52.** Diseño electrónico PLC ubicado en panel F-08

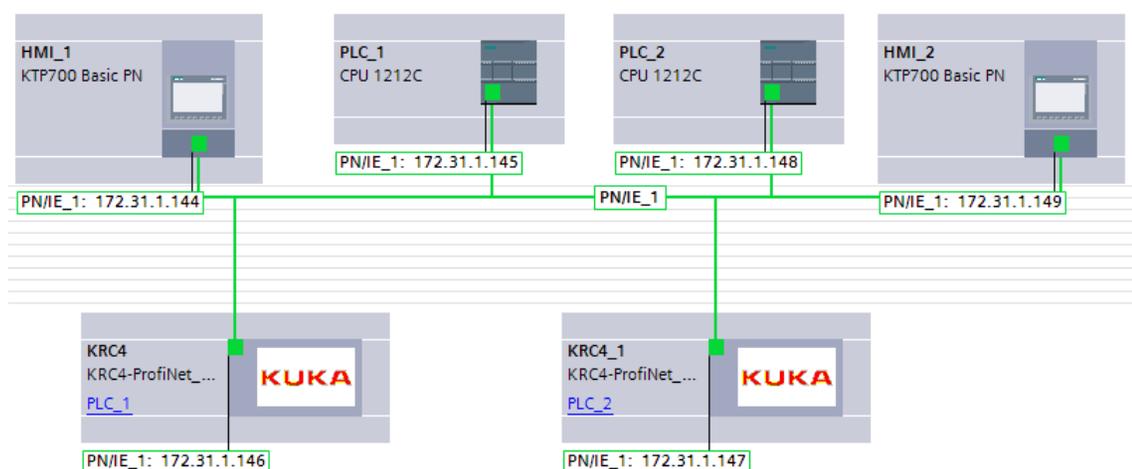
### 2.2.3. Diseño red

El diseño de red consta de 6 equipos dos paneles KTP 700 BASIC, dos controlador KUKA, y dos PLC 1200 SIEMENS con direcciones de 172.31.1.X como muestra la *Figura 53*, conectados por medio de una red PROFINET, los PLC utilizan envío de datos por mensajería S7 con los bloque PUT y GET .



**Figura 53.** Direcciones de IP de dispositivos práctica 2

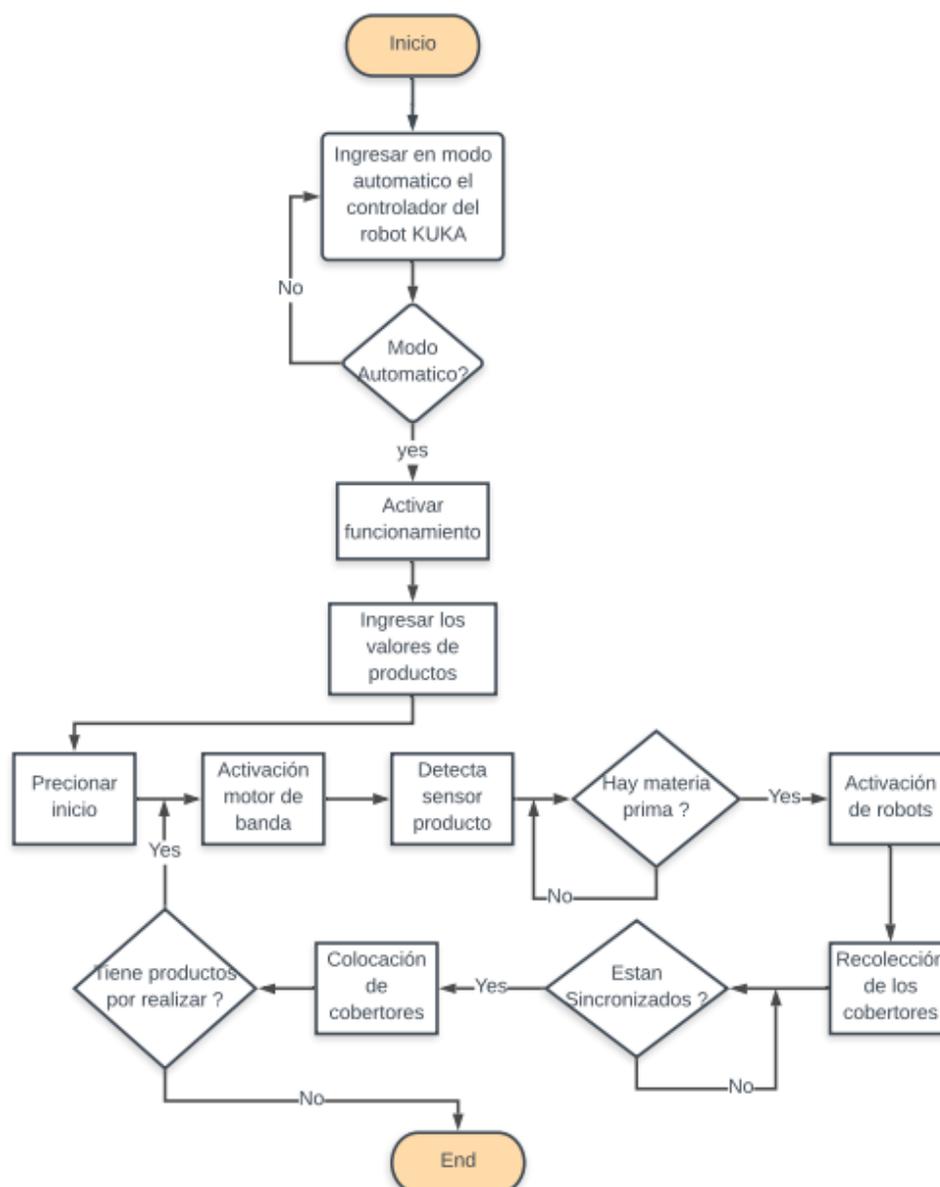
En el PLC se conecta todos los bloques de los módulos en una topología tipo árbol como se muestra en la *Figura 54*.



**Figura 54.** Conexión dispositivos en Tia Portal

### 2.2.4. Diseño de programa para la célula de embalaje de electrodomésticos

El proceso de la programación para la celda de embalaje de electrodomésticos se encuentra detallada en la *Figura 55*.



**Figura 55.** Proceso de ejecución programa práctica 2

### 2.3. Célula para ensamblaje automotriz

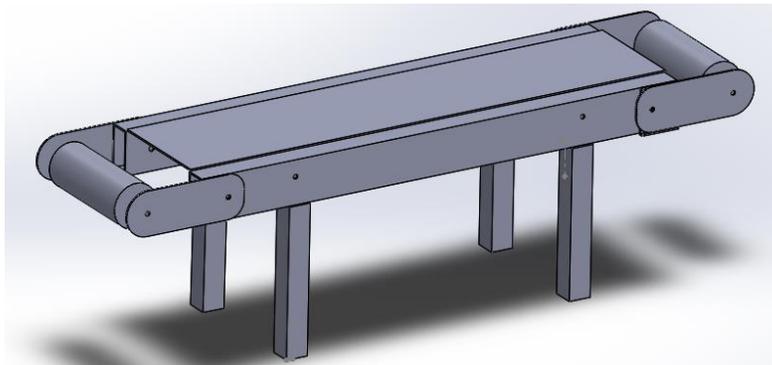
La práctica de la célula de ensamblaje automotriz tiene como objetivo la ejecución de los programas del robot KUKA KR3 R540 mediante automático externo (por medio de un controlador superior “PLC”), por lo que el aplicativo requiere una banda transportadora que transporte el vehículo a escala y se detenga con un sensor de proximidad, posteriormente se activen los robots y emulen la colocación de pegamento para la fijación de los parabrisas delantero y posterior. Con este objetivo se crearon los siguientes componentes.

#### 2.3.1. Diseño e integración mecánico

En el diseño mecánico de la célula de ensamblaje automotriz se requirió varias herramientas y elementos a escala los cuales son detallados de la siguiente forma:

##### 2.3.1.1. Banda transportadora

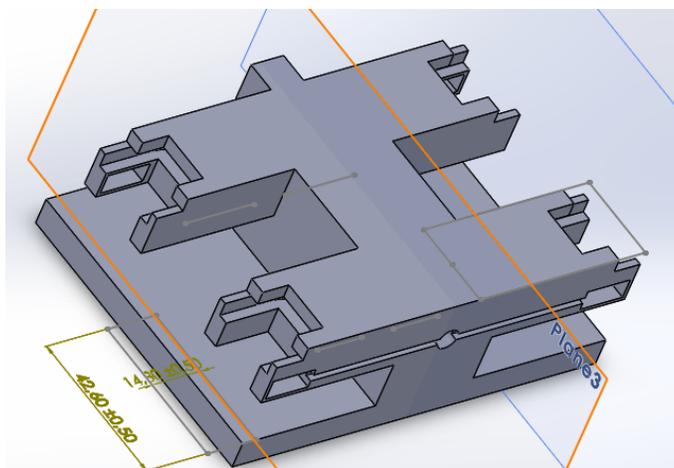
El diseño de la banda transportadora como se muestra en la *Figura 56*, está dividido por piezas y están descritas en el Diseño e implementación mecánico de la práctica Célula para embalaje automático de electrodomésticos, ya que está diseñado para el uso de ambas prácticas.



*Figura 56.* Banda transportadora

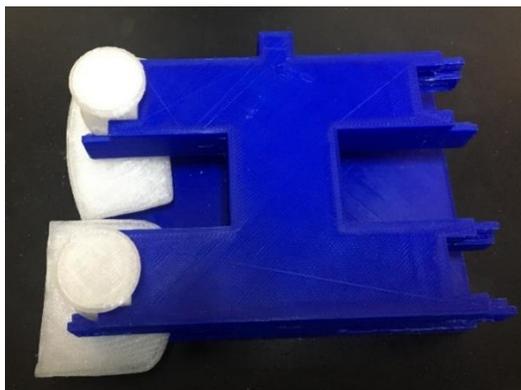
### 2.3.1.2. Almacén de parabrisas

El almacén de los parabrisas mostrado en la *Figura 57*, fue diseñado con medidas 11.1 x 8.3 x 3.8cm, con el objetivo de sostener los parabrisas por los brazos donde van los fines de carrera, los fines de carrera sirven para la ubicación de los parabrisas delanteros y posteriores en el PLC, los cuatro brazos disponen del mismo dimensionamiento.



*Figura 57.* Almacén tipo árbol de parabrisas

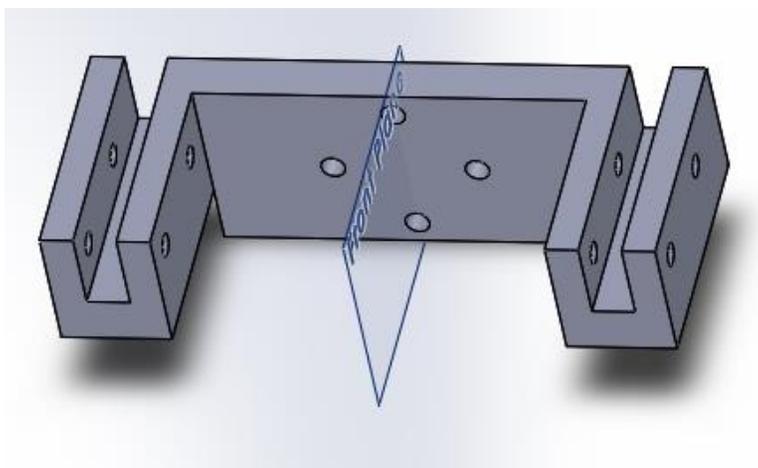
El almacén es de tipo árbol, y fue fabricado con material PLA en color azul, el almacén se encuentra colocado sobre la mesa de la celda robótica, como se muestra en la *Figura 58*.



*Figura 58.* Almacén tipo árbol

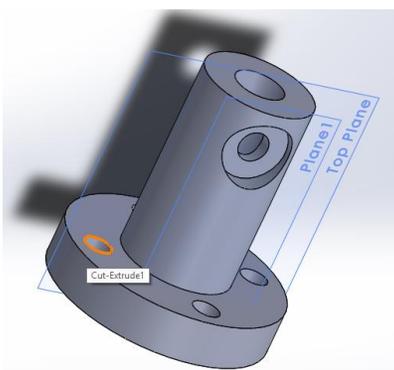
### 2.3.1.3. Herramienta de simulación en la colocación de pegamento

Se diseñó una base que complementa al soporte de herramienta simulada para pegamento “punta de lápiz”, mostrado en la *Figura 59*, está diseñada con las medidas 12.8 cm de extremos y 5.3 cm de altura, esta pieza es colocada en la herramienta de KUKA en modo de apertura.



**Figura 59.** Base del soporte de lápiz

El soporte de lápiz mostrado en la *Figura 60*, está diseñado con un ingreso para un tornillo de ajuste en la colocación fija, además de una base de 4 cm de diámetro con 4 orificios de 0.5 cm para acoplar mediante tornillos a la base de la herramienta mostrado en la *Figura 59*.



**Figura 60.** Simulador de herramienta de pegamento “soporte de lápiz”

Se fabricó el soporte de un lápiz como se muestra en la *Figura 61*, en material PLA color negro el objetivo de este soporte es emular el trazo de los filos del parabrisas en el automóvil a escala.



**Figura 61.** Soporte de lápiz

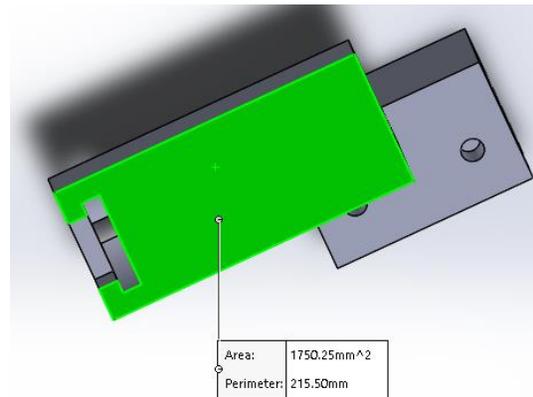
Se integró las piezas diseñadas del soporte de lápiz y base de soporte de lápiz como muestra la *Figura 62*, para emular la trayectoria de una herramienta de colocación de pegamento.



**Figura 62.** Herramienta simulada de pegamento

#### 2.3.1.4. Herramienta de recolección de parabrisas

Se diseñó un herramienta para acoplar a la efector del robot KUKA, con un perímetro lateral de 21.5 cm y de 6.5 cm de alto, mostrado en la *Figura 63*, que tiene como objetivo recoger los parabrisas.



*Figura 63.* Herramienta para recolección de parabrisas

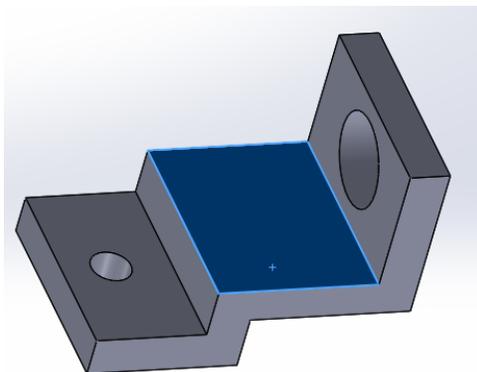
La herramienta para recoger parabrisas fue fabricada con PLA naranja, dispone de orificios laterales para introducir tornillos largos, para integrar a la pinza de KUKA, como muestra en la *Figura 64*.



*Figura 64.* Herramienta simulada de ventosas

### 2.3.1.5. Soporte de sensor capacitivo

La base de sensor de proximidad capacitivo mostrado en la *Figura 65*, se diseñó con un estilo de escalera a una altura referencial de 3cm para no obstaculizar la cinta.



*Figura 65.* Base de sensor capacitivo

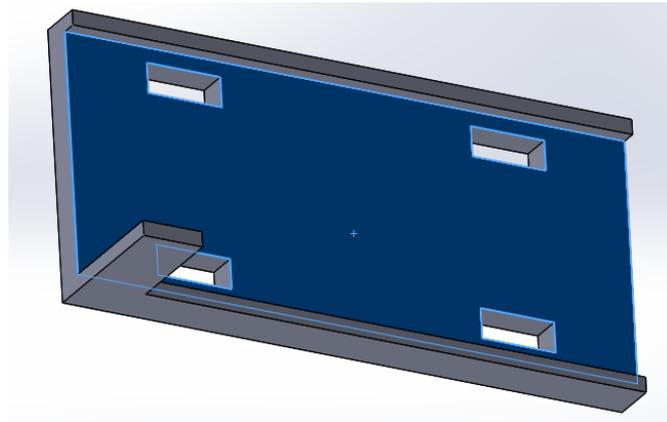
La fabricación del soporte del sensor capacitivo se realizó en PLA transparente, y se integró sobre la mesa de la banda, como se muestra en la *Figura 66*.



*Figura 66.* Sensor capacitivo en el soporte

### 2.3.1.6. Base de automóvil a escala

La base de automóvil a escala mostrado en la *Figura 67*, se diseñó con las medidas 19 x 9 cm y el gancho de detección del sensor tiene un alto de 5 cm, esta base sirve para ubicar el automóvil y dejarlo en un medio fijo y que se coloque a la medida de las guías de la banda transportadora.



*Figura 67.* Base de automóvil a escala

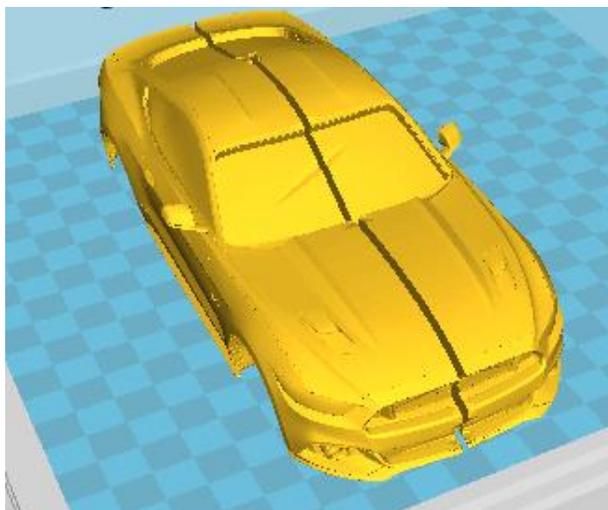
Se fabricó la base fija en PLA color azul, como muestra la *Figura 68*.



*Figura 68.* Colocación de base en el automóvil

### 2.3.1.7. Automóvil a escala

El diseño del automóvil a escala mostrado en la *Figura 69*, presenta las características para los acoples de los parabrisas de una forma didáctica.



*Figura 69.* Chasis a escala de automóvil

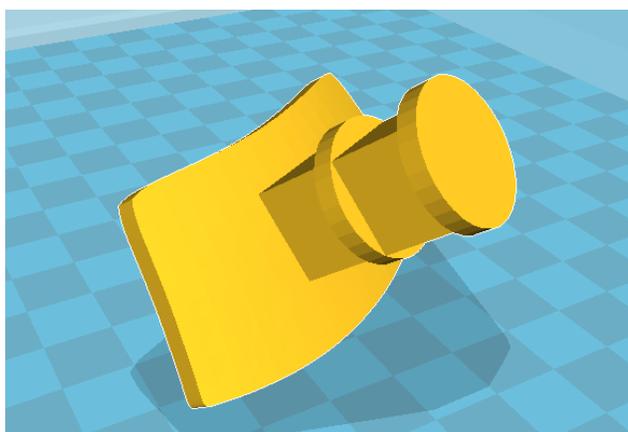
Se fabricó un automóvil a escala con material PLA en color negro, como se muestra en la *Figura 70*.



*Figura 70.* Impresión de automóvil a escala

### 2.3.1.8. Parabrisas delantero y posterior

Se diseñó los parabrisas delantero mostrado en la *Figura 71*, con un acople externo de doble sección la parte inferior de la extensión tiene de lado 1 cm, y es para ubicar en el almacén mostrado en la *Figura 57* y la parte superior es para la recolección con diámetro de 1.41 cm, mostrado en la *Figura 60*.



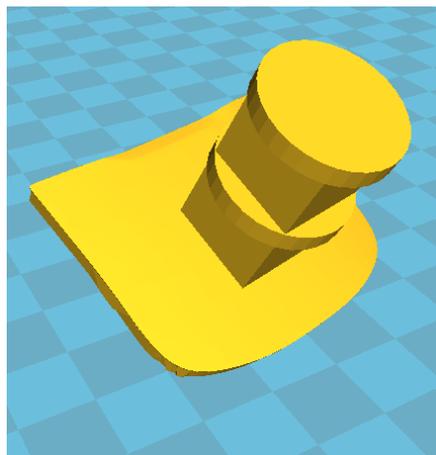
*Figura 71.* Parabrisas delantero

Se fabricó el parabrisas delantero con material PLA de color transparente, como muestra la *Figura 72*.



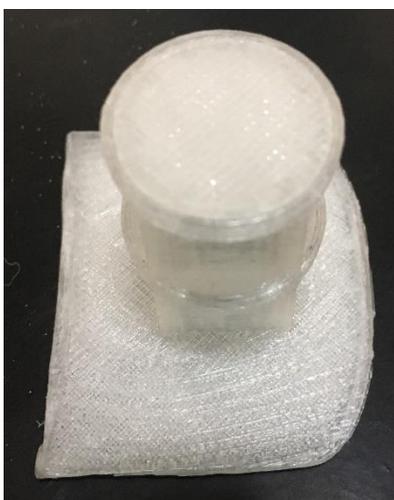
*Figura 72.* Parabrisas delantero

Se diseñó los parabrisas posterior mostrado en la *Figura 73*, con un acople externo de doble sección la parte inferior de la extensión tiene de lado 1 cm, y es para ubicar en el almacén mostrado en la *Figura 57* y la parte superior es para la recolección con diámetro de 1.41 cm, mostrado en la *Figura 60*.



***Figura 73.*** Parabrisas posterior

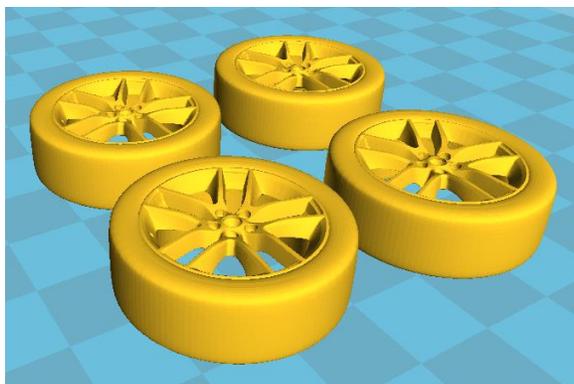
Se fabricó el parabrisas posterior con material PLA de color transparente, como muestra la *Figura 74*.



***Figura 74.*** Parabrisas posterior

### 2.3.1.9. Neumáticos de automóvil a escala

El diseño de llantas de 2.7 cm de diámetro, mostrado en la *Figura 75*, se realiza por motivo de un intermedio entre el chasis y la sujeción a la base del automóvil.



*Figura 75.* Llantas del automóvil a escala

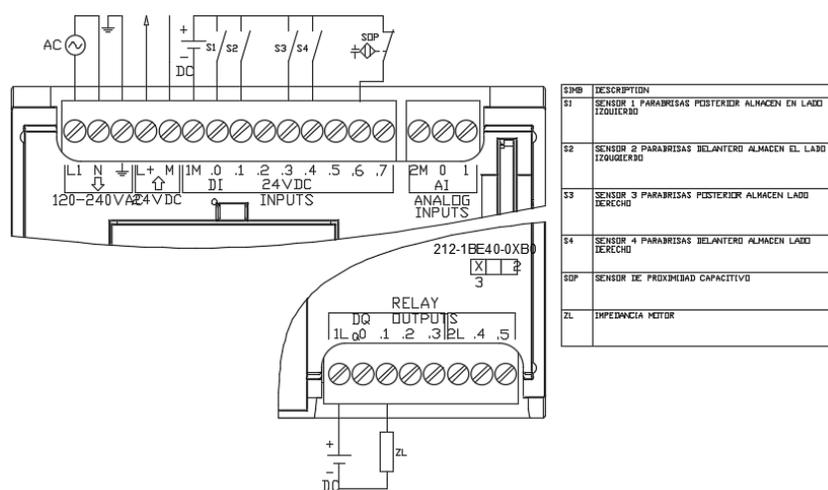
Se fabricó las llantas con material PLA color transparente mostrado en la *Figura 76*, fue necesario para la unión entre el chasis y la base del auto.



*Figura 76.* Llanta física

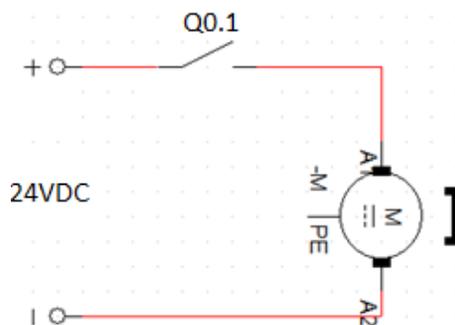
### 2.3.2. Diseño eléctrico/ electrónico

El esquema mostrado en la *Figura 77*, se encuentra la estructura de conexiones de entradas y salidas del PLC ubicado en el panel F-07, este tiene 4 fines de carrera del almacén de parabrisas, un sensor de proximidad, y la salida correspondiente a la activación del motor de 24V.



*Figura 77.* Diseño PLC panel F-07

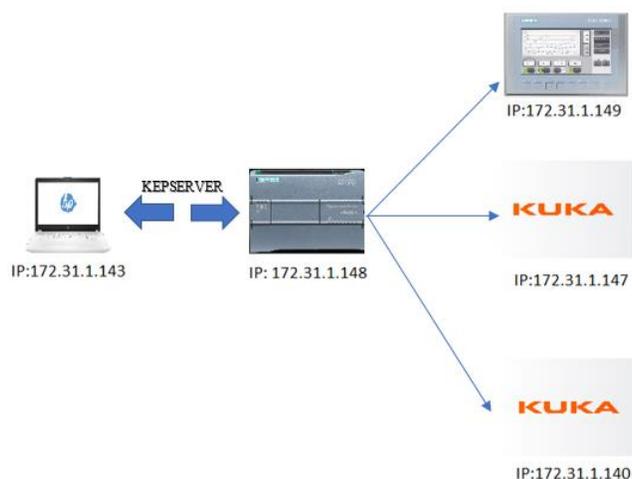
El esquema de potencia mostrado en la *Figura 78*, refleja la conexión de una fuente de DC externa al PLC con el cierre del interruptor por medio de relé del PLC para alimentar el motor de 24VDC de la banda transportadora.



*Figura 78.* Motor banda transportadora

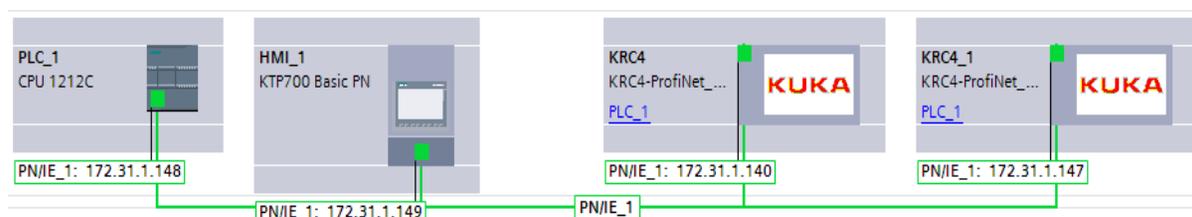
### 2.3.3. Diseño red

El diseño de red consta de 5 equipos un paneles KTP 700 BASIC, dos controlador KUKA, y un PLC 1200 SIEMENS y un PC con direcciones de 172.31.1.X como muestra la *Figura 79*, conectados por medio de una red PROFINET, entre el PC y el PLC se realiza un envío de datos por KEPSERVER .



**Figura 79.** Direcciones IP de dispositivos en práctica 3

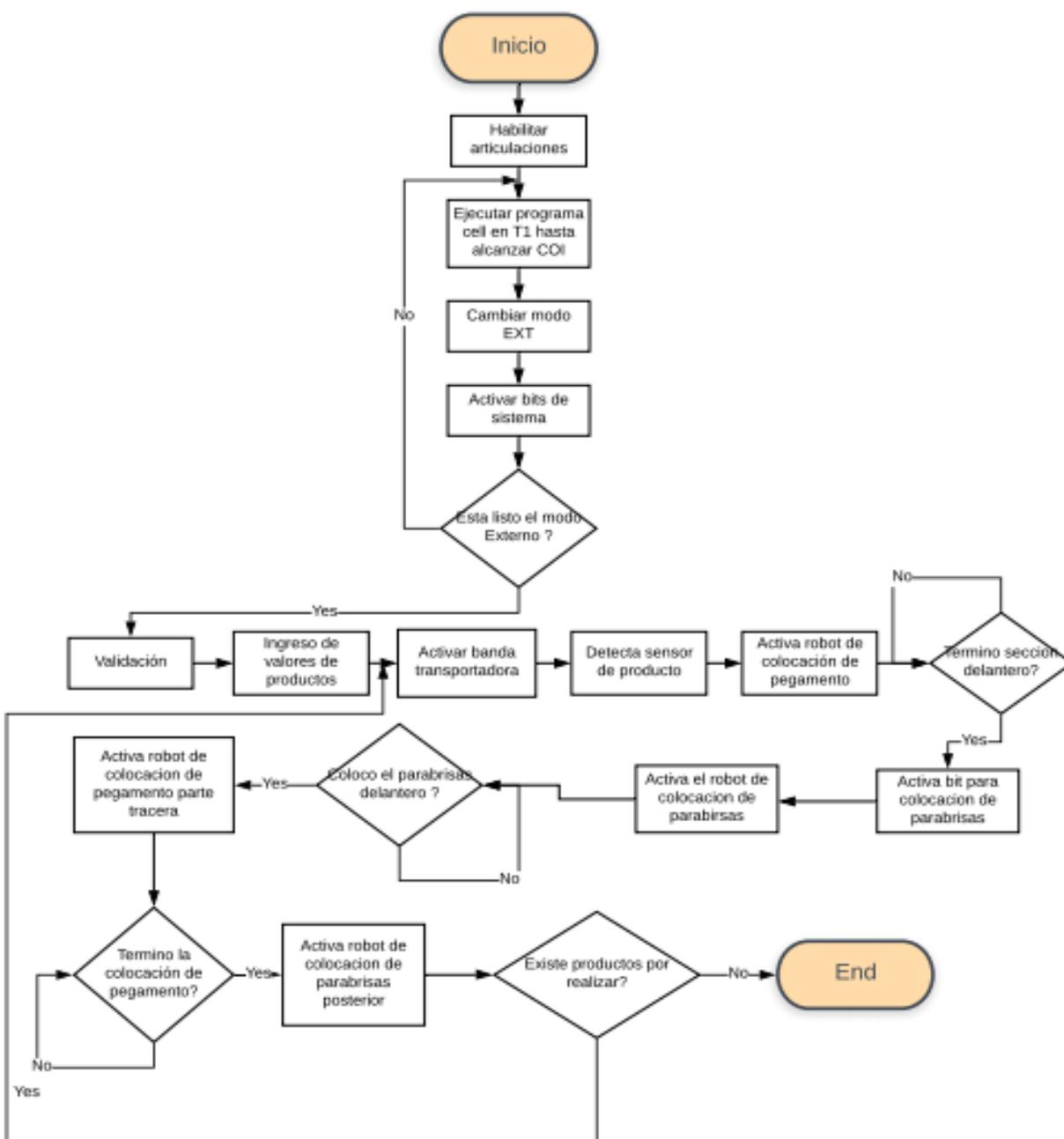
En el PLC se conecta todos los bloques de los módulos en una topología tipo árbol como se muestra en la *Figura 80*.



**Figura 80.** Bloques de dispositivos en Tia Portal

### 2.3.4. Diseño de programa para ensamblaje automotriz

El proceso de la programación para la celda de ensamblaje automotriz se encuentra detallada en la *Figura 81*.



*Figura 81.* Proceso de ejecución programa práctica 3

## **CAPÍTULO III**

### **GUIAS DE PRÁCTICAS**

El propósito de las prácticas de laboratorio es orientar a los estudiantes con conceptos básicos sobre los robots manipuladores y también sobre las redes industriales, guiando al estudiante paso a paso en la programación del movimiento de los robots KUKA KR3 R540 con uso de aplicativos reales enfocados en recursos de red.

Cada práctica de laboratorio propuesta contempla los siguientes aspectos:

- Tiempo de ejecución de la práctica en el laboratorio: 2 horas
- Material entregado al estudiante: 1 guía preparatoria, 1 guía para la práctica en el laboratorio.
- Material entregado al docente: programas, configuraciones que deben realizar los estudiantes.

Las prácticas consisten en trabajar con el estudiante en dos métodos de aprendizaje, el método de aprendizaje orientado a proyectos y el aprendizaje por cooperación grupos de trabajo de 2 o 3 estudiantes, detallados en el Título 1.7: Métodos de aprendizaje, ya que los estudiantes disponen de una sola estación de estos procesos y se les entrega estas guías como ejemplos de códigos y algoritmos para que visualicen el trabajo al ejecutar; cada práctica es jerárquica y orientada a llevar al estudiante paso a paso con niveles de aprendizaje.

Otro objetivo que se tiene en el uso de estas prácticas es orientar al estudiante con métodos para automatizar procesos industriales referidos a la optimización y al sincronismo de equipos por medio de redes.

### **3.1. Práctica 1: CONEXIÓN PROFINET (PLC-KUKA)**

#### **3.1.1 Objetivo General**

- Orientar al estudiante con la conexión básica de PROFINET entre el PLC Siemens - 1200 y KUKA KR 3 - R540

#### **3.1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar entradas/salidas físicas del Robot KUKA
- Configurar PROFINET en WorkVisual
- Establecer el enlazamiento entradas/salidas PROFINET - WorkVisual
- Configurar el PLC - 1200 en red con bloque de configuración KUKA en TIA PORTAL
- Configurar herramienta y base del robot
- Simular en KUKA Sim Pro 3.0 polígonos inscritos de 3, 5, 7, 9, 11 lados de radio 5 cm
- Generar el código “. Src” y “. Dat” desde KUKA Sim Pro 3.0 y cargarlo en WorkVisual.

#### **3.1.3 Alcance**

En el desarrollo de la primera práctica se busca que el estudiante se familiarice con las diferentes comunicaciones de KUKA, las entradas/salidas físicas y digitales, además de las diferentes configuraciones de los softwares WorkVisual y Tia Portal para que establezcan una comunicación entre KUKA Y PLC Siemens 1200.

#### **3.1.4 Diseño**

Generar un programa KRL en modo experto que realice polígonos con radio R y lados L los que serán ingresados desde el Touch Panel (Siemens), implementando una conexión PROFINET entre el PLC Siemens – 1200 y controlador KUKA KR C4.

Primero se debe configurar base y herramienta para obtener un punto céntrico de referencia en el plano de trabajo, ver anexo. BASE HERRAMIENTA

Para los datos de cada punto de coordenada del polígono se utiliza las fórmulas paramétricas de circunferencia, como se muestra en la Ecuación 1, Ecuación 2 y la Ecuación 3.

$$X = R \cos(\alpha/L) \quad (1)$$

$$Y = R \sin(\alpha/L) \quad (2)$$

$$\forall L \neq 0 \quad (3)$$

Referencia de valores círculo inscrito, y número de lados del polígono

**Tabla 10**

*Valores de Referencia*

<b>Radio</b>	<b>Lado</b>
4	12

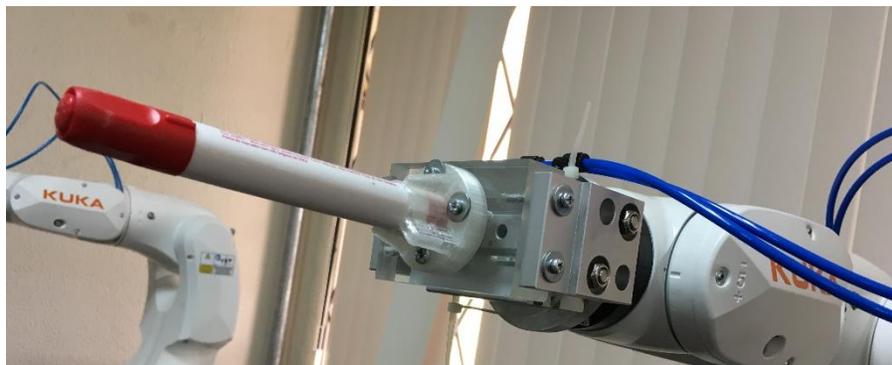
En la *Tabla 11* se tiene valores resultantes de los cálculos con la *Ecuación 1* y *Ecuación 2*, utilizando los valores de la *Tabla 10*.

**Tabla 11***Coordenadas resultantes*

Número de lado	Ang $\alpha$	X	Y
1	0,524	3,464	2,000
2	1,047	2,000	3,464
3	1,571	0,000	4,000
4	2,094	-2,000	3,464
5	2,618	-3,464	2,000
6	3,142	-4,000	0,000
7	3,665	-3,464	-2,000
8	4,189	-2,000	-3,464
9	4,712	-0,001	-4,000
10	5,236	1,999	-3,464
11	5,759	3,464	-2,001
12	6,283	4,000	-0,001

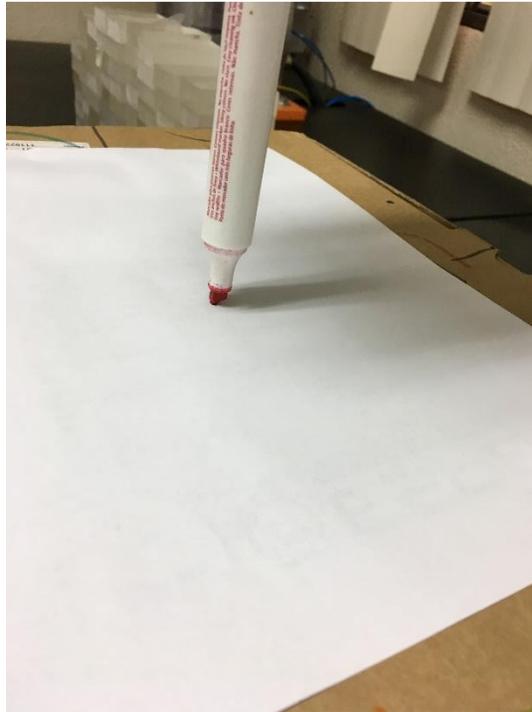
### 3.1.5 Ejecución de práctica de introducción a PROFINET

Se introduce el marcador en la herramienta colocado en el robot KUKA KR3 R540 como muestra en la *Figura 82*, para usar en los trazos sobre el área de trabajo.



**Figura 82.** Herramienta de marcador

Ingresando ya el número de los lados y el radio, el robot ejecuta la programación de forma automática dirigiéndose al área de trabajo como muestra la *Figura 83*, y realiza el polígono con los parámetros ingresados por teclado.



*Figura 83.* Herramienta sobre el plano de trabajo

### **3.1.6 Resultados de aprendizaje esperados**

- Maneja con éxito el envío de variables desde Touch Panel Siemens al controlador de Robot KUKA KR C4 por medio de una red PROFINET.
- Identifica bits de envío y recepción en robot KUKA KR C4 y PLC SIEMENS -1200
- Configura los sistemas de referencia TOOL y BASE de manera numérica desde WorkVisual
- Comprueba la precisión con la configuración de Base - Herramienta

## **3.2. Práctica 2: Empaquetado de electrodomésticos (Lavadora), Sincronismo de Robots KUKA.**

### **3.2.1 Objetivo General**

- Orientar al estudiante en el sincronismo de dos robots KUKA KR3 R540 controlados por los PLCs 1200 Siemens mediante comunicación S7.

### **3.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar entradas/salidas requeridas para los dos Robots KUKA KR3 R540
- Configurar la red PROFINET de los robots KUKA KR3 R540 interconectando cada bit de la red mediante WorkVisual.
- Desarrollar dos HMIs para los dispositivos KTP 700 Basic que permita configurar y visualizar el proceso de los Robots
- Realizar la comunicación S7 entre los dos PLCs 1200 Siemens
- Sincronizar los dos Robots KUKA para que cumplan el proceso de empaquetado
- Simular una estación de empaquetado de electrodomésticos en KUKA SIM PRO

### **3.2.3 Alcance**

En la segunda práctica se busca que el estudiante maneje la sincronización de dos robots por medio de la configuración de variables y bits de PROFINET en el robot KUKA, además, persigue el conocimiento sobre la configuración para el acceso de asistencia remota con el PLC (modo automático), generando una sincronización de los robots con bits de salida en 2 PLCs 1200 Siemens, también se busca que el estudiante fomente el uso de redes industriales aplicando en esta práctica los bloques de transmisión y recepción de datos PUT y GET de la mensajería S7 de los PLCs.

### 3.2.4 Diseño

Realizar el proceso de empaquetado de lavadora utilizando dos robots KUKA KR3 R540, para los cuales se tendrá en cuenta el sincronismo de ambos robots en la colocación de dos empaques por cada unidad.

El sistema tiene dos almacenes de 6 empaques de capacidad, estos disponen de fines de carrera que al activarse le indica al PLC la ubicación de cada empaque, los dos almacenes deben estar conectados a las entradas del PLC 1200 ubicado en el “PANEL F-07”. Para el primer almacén las direcciones de las entradas del PLC son I0.0, I0.1, I0.2, para el segundo almacén las direcciones de las entradas son I0.3, I0.4, I0.5, además se dispone de un sensor de proximidad capacitivo Allen Bradley que estará ubicado sobre la banda transportadora y conectado a la entrada del PLC ubicado en el “PANEL F-07” con la dirección I0.6, este sensor detecta el producto, detiene la banda transportadora después y activa el funcionamiento de ambos robots.

El proceso consta de una banda transportadora conectada con una fuente variable externa, el motor de la banda se activa con la salida a relay del PLC ubicado en el “PANEL F-07” con dirección Q0.1, la banda debe ir a una velocidad constante de 0.05714 m/s (2m en 35 segundos).

La parada de la banda debe realizarse con un temporizador de flanco negativo, el cual dispondrá del tiempo necesario para que el producto pase el sensor y no se obstaculice con el robot.

El sistema consta de dos HMIs en los paneles KTP 700 BASIC, El primer HMI ubicado en el “PANEL F-07” presenta las ventanas de administrador para editar bits de activación “*activar funcionamiento*”, cantidad de productos a realizar “Ingreso de número de productos” y dos ventanas “*ROBOT 1*” y “*ROBOT 2*” que tienen los botones de control y muestran los bits de los

sensores que se encuentran ubicados en ambos almacenes con los tags de “Sensor 1”, “Sensor 2”, y “Sensor 3”, la tag del funcionamiento de la banda es “*activación*” y la detección de producto es “*sensor capacitivo*”,

El segundo HMI ubicado en el “PANEL F-08” consta de dos ventanas de “ROBOT 1” y “ROBOT 2” los cuales muestran los mismos datos del HMI 1 ubicado en el “PANEL F-07”.

Además, consta de una botonera física conectada al primer PLC “PANEL F-08”, la botonera tiene 4 pulsadores (INICIO, DETENER, PAUSAR, RESETEAR) y un botón de estados los cuales se utiliza como (AUTOMATICO Y MANUAL).

Las comunicaciones deben realizarse por medio de PROFINET entre el PLC y el controlador KUKA, para la transferencia de datos entre PLCs utilizar los bloques PUT y GET pertenecientes a la mensajería S7.

### 3.2.5 Ejecución de práctica de embalado automático de electrodomésticos

Se midió la zona de trabajo como muestra la *Figura 84*, para tener referencia de máximos alcances de los robots KUKA KR3 R540.



*Figura 84.* Medición de área de trabajo

El motor de la banda mostrado en la *Figura 85*, con cambio de velocidades y alimentación de 24 V.



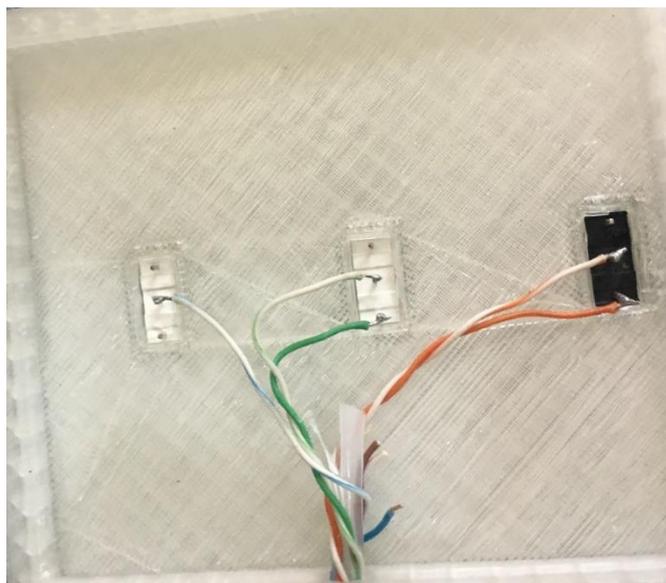
**Figura 85.** Motor de banda Transportadora

Se midió con la ayuda del robot la altura y estabilidad de la banda transportadora, como muestra la *Figura 86*.



**Figura 86.** Medición de posicionamiento correcto de la lavadora sobre la banda

Se realizó conexiones con cable UTP en los fines de carrera de almacenes para cobertores como se muestra en la *Figura 87*



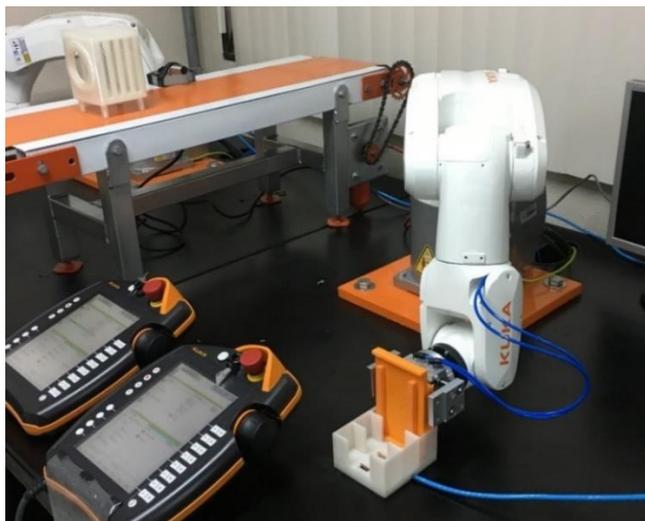
**Figura 87.** Conexión interna de los almacenes

La banda transportadora debe moverse a una velocidad de 0.05714 m/s por lo que se ingresa 11 V en la fuente variable como muestra la *Figura 88*.



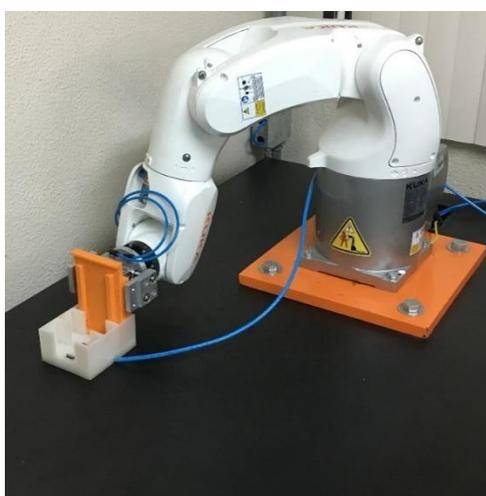
**Figura 88.** Voltaje de la fuente variable

Se mide con “posición real” en el Touch Pad la posición de recolección con el robot del lado derecho, como se muestra en la *Figura 89*.



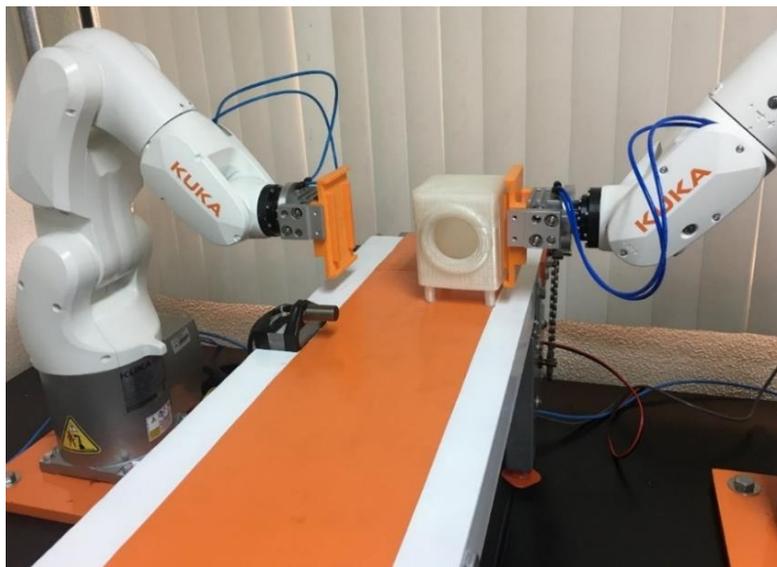
**Figura 89.** Posición de recolección de cobertor lado derecho

Se mide con “posición real” del Touch Pad la posición de recolección con el robot del lado izquierdo, como se muestra en la *Figura 90*.



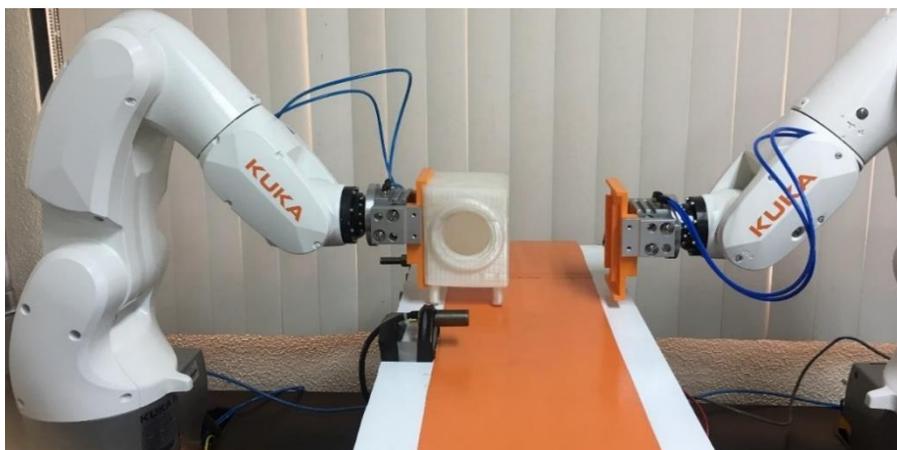
**Figura 90.** Posición de recolección de cobertor lado izquierdo

Se mide con “posición real” del Touch Pad la altura correcta de colocación de cobertor con el robot del lado derecho y con el cobertor, como se muestra en la *Figura 91*.



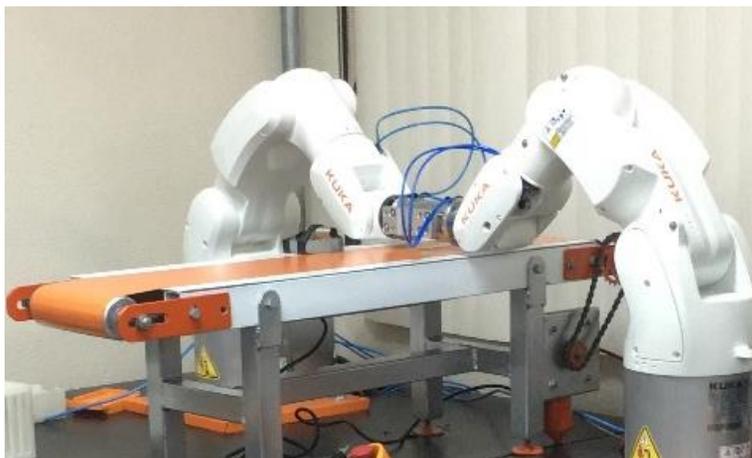
**Figura 91.** Medición de la altura lado derecho de la lavadora

Se mide con “posición real” del Touch Pad la altura correcta de colocación de cobertor con el robot del lado izquierdo y con el cobertor, como se muestra en la *Figura 92*.



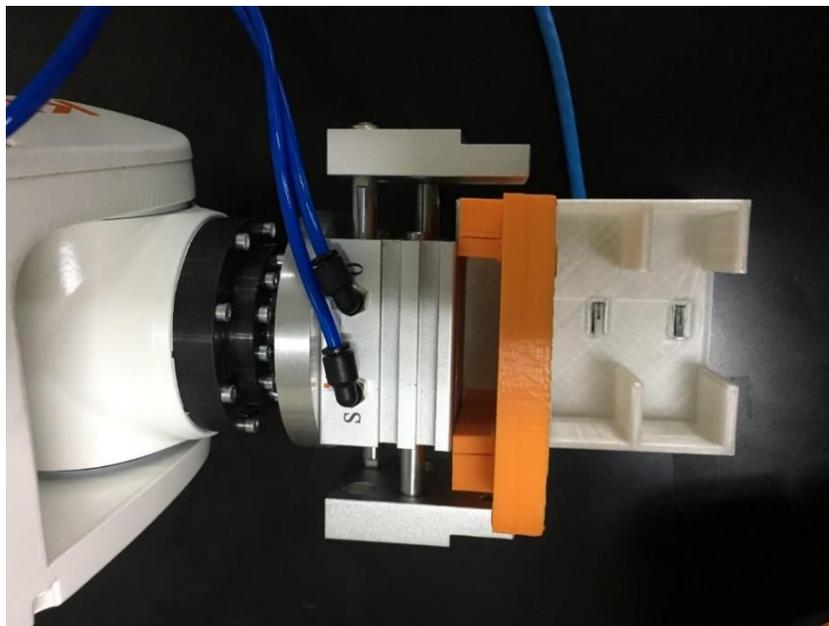
**Figura 92.** Medición de la altura lado izquierdo de la lavadora

Se mide con “posición real” del Touch Pad la altura correcta de colocación y posiciones máximas de alcance, como se muestra en la *Figura 93*.



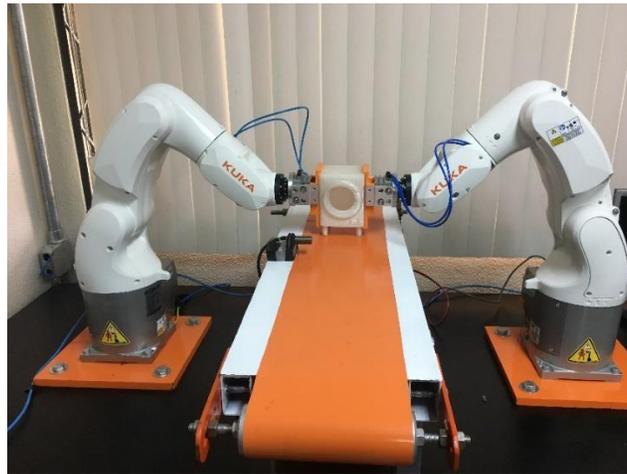
**Figura 93.** Medición puntos máximos de la zona de trabajo

Se mide con “posición real” del Touch Pad la altura del recolección del cobertor con ambos robot y con el cobertor en el almacén, como se muestra en la *Figura 94*.



**Figura 94.** Medición altura máxima de recolección de cobertores

Instalado todos los módulos y programado todos los equipos realiza un proceso exitoso con la colocación de los cobertores sobre la lavadora a escala, como muestra la *Figura 95*.



*Figura 95.* Colocación de cobertores

### 3.2.6 Resultado de aprendizaje esperado

- Aplica correctamente el uso de bits para crear sincronismo en los robots KUKA KR3 R540
- Crea una conexión de red industrial de topología árbol para la comunicación e interpretación de ambos robots por medio de los PLCs
- Maneja correctamente los tiempos de parada de la banda transportadora interpretando los momentos de inercia que suceden en la misma.
- Realiza dos interfaces humanas maquina (HMI) coordinando ambigüedades de programación en varios equipos.
- Aplica los conocimientos de manejo de manipuladores, para coordinar la manera más eficiente los procesos reales.
- Obtiene el conocimiento sobre la precisión que se debe manejar al cambiar un proceso estático a un proceso dinámico.

### **3.3.Práctica 3: Sistema básico SCADA de robots KUKA mediante KEPSEVER**

#### **3.3.1. Objetivos General**

- Desarrollar el proceso de colocación de parabrisas en automóviles a escala, controlando los Robots KUKA KR3 R540 en modo Automático Externo

#### **3.3.2. Objetivo Específico**

- Realizar el proceso del sistema en modo automático externo con el PLC Siemens 1200 en el Robot KUKA KR3 R540
- Establecer una comunicación para el HMI del computador por medio de KEPSEVER
- Realizar un HMI en KTP700 Basic
- Realizar un HMI básico en Wonderware InTouch
- Sincronizar los Robots
- Identificar todas las variables y bits de sistemas para el estado Automático Externo
- Realizar la programación en modo experto en desde WorkVisual
- Analizar los puntos de acercamiento para la colocación de pegamento y parabrisas en el automóvil.
- Simular un proceso de colocación de parabrisas de automóvil

#### **3.3.3. Alcance**

En la tercera práctica se busca que el estudiante programe los puntos de colocación de los parabrisas de un automóvil, utilizando la herramienta que simula la ventosa, también los puntos que rodean el filo de los parabrisas en el automóvil a escala creando una función de seguimiento con la herramienta que simula la colocación de pegamento, el seguimiento debe mantener la uniformidad, para este proceso debe utilizar dos robots en trabajo colaborativo, además que

desarrolle un sistema de monitorización desde un PC enlazando cada byte del PLC por medio de KEPSERVER, también que el estudiante ejecute los robots en modo automático externo para esto debe asociar de una manera organizada los bits de entrada/salida de automático externo por medio de PROFINET.

#### **3.3.4. Diseño**

Realizar un proceso de colocación de parabrisas delantero y posterior de un automóvil a escala, y la colocación de pegamento sobre los bordes del auto.

El proceso consiste en utilizar dos robots KUKA KR3 R540, El robot del panel F-08 es el encargado de colocar pegamento, para esto se dispone de una herramienta que simula la punta de la herramienta de “colocación de pegamento”, con esta herramienta se realiza los trazos de seguimiento a la trayectoria de los bordes de los parabrisas en el auto, y el robot del panel F-07 se encarga de colocar los parabrisas, este robot tiene una herramienta tipo pinza para simular la ventosa ya que el auto cuenta con parabrisas con extensión de sujeción de los mismos.

El proceso consta de una banda transportadora conectada con una fuente variable externa, el motor de la banda se activa con la salida a relay del PLC ubicado en el “PANEL F-07” con dirección Q0.1, la banda debe ir a una velocidad constante de 0.051945 m/s, La parada de la banda debe realizarse con un temporizador de flanco negativo, además dispone de un sensor de proximidad capacitivo Allen Bradley que estará ubicado sobre la banda transportadora y conectado a la entrada del PLC ubicado en el “PANEL F-07” con la dirección I0.6, este sensor detecta el producto y detiene la banda transportadora después activa el funcionamiento de ambos robots.

La estación de colocación de parabrisas cuenta con un almacén tipo árbol con las direcciones del PLC I0.0 I0.1 I0.3 I0.4, en el cual están sujetos los parabrisas, cada rama cuenta con un fin de carrera que determina si el parabrisas se encuentra en el almacén.

Generar en el código escalera del PLC las diversas condiciones del almacén con las cuales pueda trabajar la estación.

Los dos robots deben tener sincronismo debido a que requiere un trabajo colaborativo, además realizar la conexión PROFINET desde un PLC 1200 SIEMENS hacia dos controladores KUKA, con una HMI en el panel F-07 y un HMI en una computadora, la conexión del HMI del computador realizar por medio de KEPSERVER

El HMI del panel KTP 700 BASIC debe contener 4 pantallas una inicial de ingreso de usuario, la segunda de configuración del robot en el panel F-08, la tercera de configuración del robot en el panel F-07, la última de monitorización, funcionamiento de banda, sensores de proximidad, existencia de parabrisas, funcionamiento de robots, además de los botones de control INICIO, PAUSA, DETENER, Y RESETEO.

El proceso de los dos robots realizar por el modo de ejecución automático externo, este es el uso de un mando superior "PLC".

### 3.3.5. Ejecución de práctica de ensamblaje automatizado

Se colocan las herramientas con su extensión hacia la mesa de trabajo como muestra la *Figura 96*.



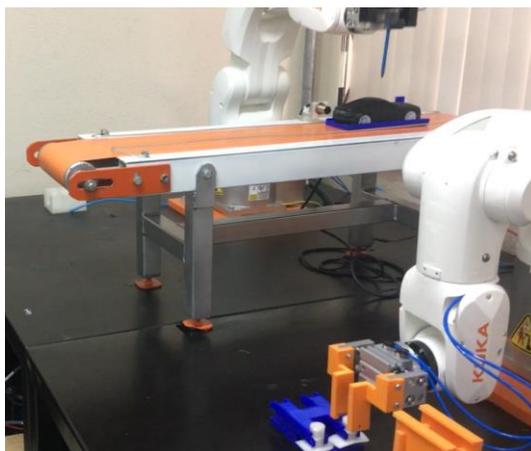
*Figura 96.* Herramienta del robot

La herramienta que se creó para la simulación de colocación de pegamento como muestra la *Figura 97*, se utiliza para efectuar un trazo sobre los bordes de la ubicación de los parabrisas.



*Figura 97.* Herramienta de simulación de pegamento

Una vez instalado y programado se procede a la ejecución de todos equipos como se muestra en la *Figura 98*.



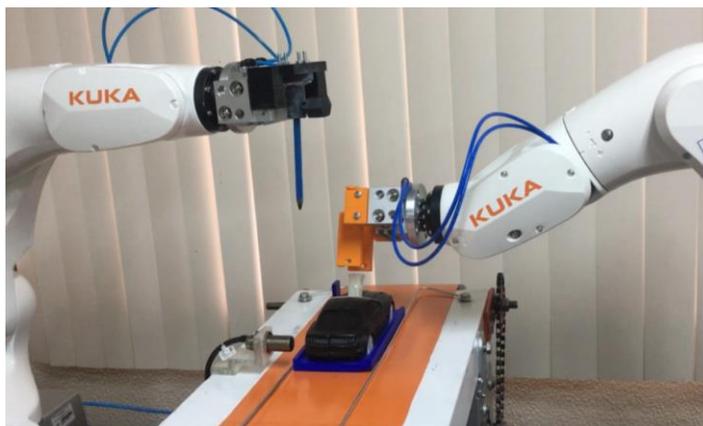
**Figura 98.** Práctica 3 en funcionamiento

Los robots trabajan en una forma colaborativa al poner pegamento y colocar los parabrisas como se muestra en la *Figura 99*.



**Figura 99.** Colocación de pegamento y parabrisas delantero

El punto de sincronismo como muestra la *Figura 100*, mientras coloca el parabrisas delantero espera la herramienta de pegamento.



*Figura 100.* Momento de sincronismo

Culmina el proceso con la colocación del parabrisas posterior como muestra la *Figura 101*.



*Figura 101.* Colocación de parabrisas posterior

### **3.3.6. Resultados de Aprendizaje Esperados**

- Aplica de manera eficiente el uso de recursos informáticos por medio de los enlaces PROFINET del robot KUKA
- Ubica las direcciones correctamente en Tia Portal de las entradas/salidas del robot conectadas por medio de PROFINET
- Obtiene el conocimiento sobre el uso de automático externo y el uso que se le da a cada uno de los bits relacionados
- Realiza el proceso de colocación de parabrisas con bits de sincronismo en el trabajo colaborativo de los robots
- Aplica conocimientos de redes industriales utilizando plataformas externas “KEPSERVER”
- Configura correctamente el proceso de paso a paso en el arranque para automático externo.

## CAPÍTULO IV

### EVALUACIÓN Y RESULTADO

Las evaluaciones y resultados se realizaron por medio de las ejecuciones de las prácticas con estudiantes de octavo nivel de la carrera de ingeniería en Electrónica, Automatización y Control, para determinar el conocimiento adquirido se les entregó cuestionarios teóricos que responden a parámetros que determinan si su conocimiento adquirido es bueno, los resultados son analizados a una ponderación detallada en tablas.

#### 4.1. Evaluación de prácticas

Después de las ejecuciones de las prácticas con los estudiantes se les realizó evaluaciones teóricas para medir el nivel de conocimiento que adquirieron al realizar estas prácticas, se efectuó una evaluación por cada práctica y están detalladas de la siguiente manera:

##### 4.3.1. Cuestionario de evaluación de práctica 1

- ¿Qué parámetros binarios son de uso ETHERCAT?
- ¿Qué línea de código se debe cambiar para tener solo polígonos de lados pares?
- ¿Cómo realizar una configuración de herramienta tipo numérica?
- ¿Cuál es la diferencia entre un módulo experto y un módulo de programación?
- ¿Qué uso se les da a las variables de tipo Signal?
- ¿Por qué se usa una variable tipo POS en este programa?
- ¿Qué otras posibilidades de conexiones existen entre el PLC y el controlador KUKA?
- ¿De qué manera se podría conectar el controlador KUKA con un PLC Allen Bradley?

#### 4.3.2. Cuestionario de evaluación de práctica 2

- ¿En el programa 1 y programa 2, que bits son los bits de sincronización?
- ¿Los bits de sincronización trabajan en el PLC?, si es así en cual y explique cómo es el proceso.
- ¿Cuántos bytes se envían por medio de la comunicación S7 e indique para que es cada byte?
- ¿Qué bloques se utiliza en comunicación S7, especifique cada uno?
- ¿Por qué se debe utilizar 11V en el motor de la banda, que ocurre con el proceso si aumenta su voltaje?
- ¿En el enunciado se menciona un temporizador de flanco negativo para detener la banda, que tiempo está colocado en el programa?
- ¿Si altera el tiempo de detención de la banda que parámetros debe modificar en los programas de los robots?
- ¿Los bloques de comunicación S7 utilizan un reloj si desea transmitir a 0,5 segundos que reloj debo utilizar?

#### 4.3.3. Cuestionario de evaluación de práctica 3

- ¿En el programa 1 y programa 2, que bits son los bits de sincronización?
- ¿Por qué se requiere sincronización en los dos robots, explique?
- ¿Si se cambia un temporizador de flanco negativo a uno positivo que ocurre con el proceso?
- ¿Si los dos robots están desincronizados que peligro se tiene ante el proceso?
- ¿Cuál es la diferencia entre modo de ejecución automático externo (EXT) y automático (AUT)?
- ¿Cuál es el bit de modo automático externo que valida el arranque del proceso de los robots?
- ¿Cuáles son los bits de salida en modo de ejecución automático externo para que el robot esté

listo para el proceso?

- ¿Explique que es COI?
- ¿Explique con sus palabras los pasos que se debe seguir para configurar automático externo?

## 4.2. Resultados

Los resultados se basan mediante las evaluaciones comparadas con las referencias de las soluciones de cada evaluación, y se le realizaron unas tablas de calificaciones con respecto a un rango entre 0 y 5 muy mal acertado y respuesta correcta respectivamente.

### 4.4.1. Solución del cuestionario de práctica de laboratorio 1

- **¿Qué parámetros binarios son de uso ETHERCAT?**

Los parámetros binarios enlazados al medio físico del panel por medio de Work Visual para las entradas son:

\$IN [1] ----- Inputs.Input 0 hasta \$IN [16] ----- Inputs.Input 15 con direcciones desde la 320 hasta la 335 respectivamente.

y para las salidas son:

\$OUT [1] ----- Outputs.Output 0 hasta \$OUT [16] ---- Outputs.Output 15 con direcciones desde 12576 hasta 12591 respectivamente.

- **¿Qué línea de código se debe cambiar para tener solo polígonos de lados pares?**

Primero se debe realizar una división para 2 de la variable que contiene el número de lados y posteriormente ingresar en una variable el residuo.

Dentro del ciclo FOR se debe introducir una condición de IF que realice una comparación de la variable de residuo = 0 si es verdad ejecuta y si no repite le proceso.

- **¿Cómo realizar una configuración de herramienta tipo numérica?**

Existen dos maneras para configurar una herramienta tipo numérica, la primera es mediante el smartPAD yendo a CONFIGURACION/ PUESTA EN SERVICIO/MEDIR/HERRAMIENTA/ENTRADA NUMERICA, se introduce los valores en X Y Z A B C manualmente, la segunda es mediante WorkVisual en dar clic en abrir gestión de base y herramienta ubicado en la barra de herramientas e introducir manualmente los valores de X Y Z A B C en cualquier sección disponible.

- **¿Cuál es la diferencia entre un módulo experto y un módulo de programación?**

En el módulo experto se genera solo el nombre de la función del programa y el módulo de programación se genera con los parámetros de inicialización además del acercamiento a HOME.

- **¿Qué uso se les da a las variables de tipo Signal?**

Signal agrupa desde uno o más bits de entrada o salida para formar un dato tipo entero.

- **¿Por qué se usa una variable tipo POS en este programa?**

Se utiliza por que se introduce desde el PLC las coordenadas X Y en forma separa y para ejecutar con una instrucción PTP se requiere unir X Y Z A B C en un tipo de variable POS.

- **¿Qué otras posibilidades de conexiones existen entre el PLC y el controlador KUKA?**

Existen posibilidades por ETHERCAT siempre y cuando el PLC disponga de un módulo ETHERCAT, otra posibilidad de comunicación es por entradas y salidas físicas, pero se limitan a las entradas y salidas que dispongan estos dispositivos.

- **¿De qué manera se podría conectar el controlador KUKA con un PLC Allen Bradley?**

Siempre y cuando tengan módulos compatibles se puede realizar comunicación por automático externo, y las más sencilla por entradas / salidas físicas.

#### **4.4.2. Solución del cuestionario de práctica de laboratorio 2**

- **¿En el programa 1 y programa 2, que bits son los bits de sincronización?**

En el robot KUKA es la entrada \$IN [28] y salida \$OUT [28], para el PLC son las direcciones %I2.3 y %Q 2.3.

- **¿Los bits de sincronización trabajan en el PLC?, si es así en cual y explique cómo es el proceso**

Si trabajan en el PLC ya que reciben un bit de ambos robots en la entrada %I2.3 y se comparan en el PLC y el PLC devuelve una respuesta a los robots por medio de las salidas %Q 2.3.

- **¿Cuántos bytes se envían por medio de la comunicación S7 e indique para que es cada byte?**

En el bloque PUT dos bytes en las direcciones M3.0 para uso de sensores y 5.0 para uso de marcas de ejecución además dos tipos INT en las direcciones M7.0 para la variable de entrada de productos y M13.0 para el contador de número de productos, para el bloque GET cuatro bytes en las direcciones M4.0 para las entradas del control manual, M6.0 son de uso de marcas y sincronización, M10.0 y M16.0 no disponen de uso.

- **¿Qué bloques se utiliza en comunicación S7, especifique cada uno?**

PUT que es el medio de transmisión de datos al segundo PLC.

GET es el medio de recepción de datos del segundo PLC.

- **¿Por qué se debe utilizar 11V en el motor de la banda, que ocurre con el proceso si aumenta su voltaje?**

Al tener un mayor voltaje en el motor ejerce una mayor velocidad, al tener una mayor velocidad ejerce inercia en la banda y tendría un error de precisión al detener la banda y el producto quedaría más lejos o más cerca del punto establecido a la colocación de cobertores, para solución se requeriría de un control del motor de la banda.

- **¿En el enunciado se menciona un temporizador de flanco negativo para detener la banda, que tiempo está colocado en el programa?**

Tiene un tiempo de 300 ms.

- **¿Si altera el tiempo de detención de la banda que parámetros debe modificar en los programas de los robots?**

Se debe modificar los parámetros de la base del robot.

- **¿Los bloques de comunicación S7 utilizan un reloj si deseo que transmita a 0,5 segundos que reloj debo utilizar?**

Debo utilizar un reloj de 2HZ.

#### **4.4.3. Solución del cuestionario de práctica de laboratorio 3**

- **¿En el programa 1 y programa 2, que bits son los bits de sincronización?**

En la práctica los robots KUKA son las entradas \$IN [18], \$IN [19] y salida \$OUT [18], para el PLC son las direcciones %I3.1, %Q 3.1, %Q3. 2 y el segundo controlador para el PLC seria %I11.1, %Q11.1 y %Q11.2.

- **¿Por qué se requiere sincronización en los dos robots, explique?**

Porque es un proceso colaborativo y al trabajar con un cruce de volumen de trabajo entre robots se debe considerar las condiciones para que no colisionen.

- **¿Si se cambia un temporizador de flanco negativo a uno positivo que ocurre con el proceso?**

Se debe considerar el aumentar el tiempo de detención de la banda transportadora.

- **¿Si los dos robots están desincronizados que peligro se tiene ante el proceso?**

Al trabajar en forma colaborativa y sobre un cruce de volúmenes de trabajo pueden ocasionar una colisión, por tal motivo se debe considerar un trabajo con precaución.

- **¿Cuál es la diferencia entre modo de ejecución automático externo (EXT) y automático (AUT)?**

En automático externo tengo un mayor rango de monitorización y a su vez mayor control sobre los bits directos de sistema, en automático externo requiero de mayores recursos para un control óptimo.

- **¿Cuál es el bit de modo automático externo que valida el arranque del proceso de los robots?**

PGNO\_VALID es el bit que autoriza que el ingreso del número de programa y el estado automático externo está correcto.

- **¿Cuáles son los bits de salida en modo de ejecución automático externo para que el robot esté listo para el proceso?**

ALARM\_STOP, APPL\_RUN, ALARM\_STOP, USER\_SAF, I\_O\_ACTCONF, ON PATCH, IN HOME, PRO\_ACT.

- **¿Explique que es COI?**

Es un desplazamiento de coincidencia, el robot al iniciar la ejecución verifica que se encuentra en un punto inicial de donde va a partir a realizar las siguientes líneas de programación

- **¿Explique con sus palabras los pasos que se debe seguir para configurar automático externo?**

1. En el programa “*cell*” declarar y también ingresar la función en el caso necesario
2. Habilitar las articulaciones con el bit MOVE\_ENABLE
3. Seleccionar el programa “*cell*”
4. Ejecutar el programa “*cell*” en modo T1 hasta alcanzar COI
5. Cambiar el modo de ejecución a EXT (Automático externo)
6. Activar el bit I\_O\_ACT
7. Activar el bit EXT\_START
8. Activar el bit PGNO\_VALID

#### **4.4.4. Tablas de resultados**

Para las tablas de resultados, se planteó una evaluación por cada práctica, y se escogió a 3 estudiantes de octavo nivel de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control, quienes realizaron las prácticas, y concluyeron resolviendo las evaluaciones.

Para las calificaciones, se utilizó el modelo de solución de las preguntas que se les iba a realizar a los estudiantes, como una referencia.

La forma de calificación se establece por un rango de 0 a 5, siendo 0 incorrecto, 1 mal, pero tiene el enfoque, 2 regular, 3 bueno, 4 muy bueno, 5 excelente, estas calificaciones están detalladas en la *Tabla 12*, *Tabla 13* y *Tabla 14*, respectivamente.

**Tabla 12**

*Nota práctica 1*

PRÁCTICA 1	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3
PREGUNTA 1	0	4	4
PREGUNTA 2	5	5	4
PREGUNTA 3	4	5	4
PREGUNTA 4	4	4	5
PREGUNTA 5	3	5	5
PREGUNTA 6	4	3	5
PREGUNTA 7	5	4	4
PREGUNTA 8	5	5	4
TOTAL	30	35	35

**Tabla 13**

*Nota práctica 2*

PRÁCTICA 2	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3
PREGUNTA 1	4	5	5
PREGUNTA 2	5	4	5
PREGUNTA 3	5	5	5
PREGUNTA 4	5	5	5
PREGUNTA 5	5	5	5
PREGUNTA 6	5	5	5
PREGUNTA 7	4	1	5
PREGUNTA 8	3	5	4
TOTAL	36	35	39

**Tabla 14***Nota práctica 3*

PRÁCTICA 3	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3
PREGUNTA 1	5	5	5
PREGUNTA 2	3	5	5
PREGUNTA 3	5	3	4
PREGUNTA 4	5	5	4
PREGUNTA 5	5	5	0
PREGUNTA 6	3	5	5
PREGUNTA 7	0	5	5
PREGUNTA 8	5	5	5
PREGUNTA 9	5	5	5
TOTAL	36	43	38

**4.3. Análisis de resultados**

La *Tabla 12* muestra un rango un poco bajo en la evaluación debido a que es la primera práctica y el estudiante no ha trabajado en esa área sin embargo, se toma como un rango aceptable sobre el conocimiento adquirido en la práctica de introducción a PROFINET.

La *Tabla 13* muestra un rango mucho mejor a la anterior práctica debido a que el estudiante ya tuvo un primer conocimiento sobre las conexiones y la manipulación de los robots en red.

La *Tabla 14* muestra un rango muy bueno sin embargo se observa que en ciertas preguntas pudieron haber confundido al estudiante sobre el conocimiento adquirido.

Las tres tablas y los tiempos en lo que realizaron los estudiantes si son aptos para trabajar tomando en cuenta las observaciones de un análisis previo a realizar estas prácticas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se implementaron células robóticas de propósito específico, denominadas: introducción a PROFINET, embalaje de electrodomésticos y ensamblaje automotriz, implementadas con: 2 robots KUKA KR3 R540, 2 PLCS 1200 SIEMENS, 2 KTP 700 BASIC, además de los equipos y elementos a escala diseñados e integrados para cumplir con el desarrollo de los sistemas.
- Se desarrolló una célula de propósito específico de introducción a PROFINET, que guío a los estudiantes a establecer las configuraciones básicas de PROFINET entre el controlador KUKA KR C4 y el PLC Siemens 1200.
- Se desarrolló una célula de propósito específico de embalaje automático de electrodomésticos, que realiza la colocación de dos cobertores diseñados y fabricados en material PLA sobre una lavadora a escala, este proceso se lo realizo con dos robos KUKA KR3 R540 de manera sincronizada, por medio de equipos de control superior.
- Se desarrolló una célula de propósito específico de ensamblaje automotriz, que emula la colocación de pegamento, y la sujeción de parabrisas, sobre un automóvil a escala fabricado en material PLA, además se desarrolló la monitorización y control por medio de interfaces graficas en el PC, manejando de forma ordenada el modo de ejecución automático externo.
- Se realizaron las prácticas con el uso de los 4 tipos de ejecución de programa T1, T2, AUT, EXT, y se observó la diferencia de cada uno.

- Se implementó la comunicación de los equipos robóticos y de control superior, mediante redes industriales tomando en cuenta la topología árbol, además para las tres prácticas se realizó las comunicaciones por medio de diferentes softwares.
- Se diseñó y configuro las comunicaciones mediante redes industriales, comunicando las células robóticas KUKA KR3 540, por medio de dispositivos de control superior “PLC 1200 Siemens”, en topología árbol.
- Se configuró con el software de Work Visual los parámetros de PROFINET en los controladores KUKA KRC4 Compac.
- Se realizaron tablas de calificaciones sobre las evaluaciones que realizaron los estudiantes de 8vo Nivel de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control, concluyendo que el aprendizaje sobre las prácticas es bueno, dentro de los límites de calificaciones establecidos.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda dimensionar la banda transportadora, mediante el área de trabajo de los robots KUKA KR3 R540, ya que considerando el tamaño de los robots no disponen de un amplio alcance.
- Se recomienda realizar la validación de los bits de sincronismo en los dispositivos de control superior ya que son los principales dispositivos que se encuentran controlando las células KUKA KR3 R540.
- Se recomienda utilizar la velocidad del modo de ejecución automático “AUT” y automático externo “EXT” como un medio de prueba en 5 por ciento de la velocidad total, y después de la ejecución de las pruebas, subir a un 10 por ciento, considerando que son prácticas de

simulación no requieren de gran velocidad, al exceder este margen de velocidad puede resultar peligroso para la integridad de los estudiantes y equipos.

- Se recomienda investigar sobre el uso adecuado del modo de ejecución EXT “Automático externo”.
- Se recomienda utilizar cables de categoría 5 o 6 certificado, ya que se simula un trabajo industrial real.
- Se recomienda el uso de seguridades ante posibles desconexiones de la red, por seguridad de los equipos robóticos.
- Se recomienda utilizar el reloj de mayor frecuencia de transmisión y recepción.

## BIBLIOGRAFÍA

- 6AV2123-2GB03-0AX0 - Industry Support Siemens. (s/f). Recuperado el 7 de julio de 2019, de <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/302298?pdtdi=pi&dl=en&lc=en-WW>
- Ag, S. (s/f). *SIMATIC NET S7-1200 Compact Switch Module CSM 1277*. 1–33.
- Aplicaciones de los robots. (s/f). Recuperado el 23 de junio de 2019, de [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/aplicaciones.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/aplicaciones.htm)
- Díaz, M. de M. (director). (2005). *Modalidades de enseñanza*.
- Diwan, P., & Pilagallo, O. (2012). Imigrantes: esperança em terra nova. *Coleção Folha : fotos antigas do Brasil*, 35–56. <https://doi.org/http://revistas.um.es/educatio/article/view/152>
- Electrónica, C. D. E. I. (2013). *Interfaz de control para un brazo robot articulado basado en software de desarrollo integral*.
- Industriales, E. D. E. I. (2017). *Diseño de Embalaje en Espumas Plásticas para Electrodomésticos de Línea Blanca*.
- Instructions, O. (2010). *Kr C4*. 1–125.
- Instructions, O. (2012). *KR C4 compact*.
- Instructions, P., & Users, E. (2012). *KUKA System Software 8 . 2*.
- KUKA. (2016). *Kr 3 Agilus. 2*. Recuperado de <https://www.kuka.com/en-gb/products/robotics-systems/industrial-robots/kr-3-agilus>
- KUKA Roboter GmbH. (2013). *KR 3 R540*. Recuperado de [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/.../0000270971\\_es.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/.../0000270971_es.pdf)
- KUKA System Software. (s/f). *SOFTWARE KR C . Programación por el experto*.
- MANICA. (s/f). MANICA - Manufacturas de anime. Recuperado el 1 de julio de 2019, de <https://www.manica.com.ve/empaque-embalaje/embalajes-comerciales/>
- Merodio, J. (2018). *Aplicación de la Inteligencia Artificial en el Marketing*. 1–50. Recuperado de <https://www.juanmerodio.com/inteligencia-artificial-marketing-digital/>
- Ollero Baturone, A. (2001). *Robótica*.
- Rivas Robotics: Automatización y robotica industrial*. (s/f). Recuperado de <https://rivasrobotics.com/automatizacion-y-robotica-industrial/>
- Robot de corte por plasma - Cortadoras por plasma - Logismarket.ar. (s/f). Recuperado el 23 de junio de 2019, de <https://www.logismarket.com.ar/patagonia-cnc-machines/robot-de-corte-por-plasma/2019394724-1449391090-p.html>
- Robot de pintura - ABB/Motoman/Fanuc - Pintado - Logismarket.ar. (s/f). Recuperado el 23 de

junio de 2019, de <https://www.logismarket.com.ar/patagonia-cnc-machines/robot-de-pintura/2019399118-1449391394-p.html>

Robots de soldadura por puntos - robots industriales usados | Eurobots. (s/f). Recuperado el 23 de junio de 2019, de <https://www.eurobots.com.ar/puntos-subc-9-es.html>

Robots industriales FANUC para una automatización más inteligente. (s/f). Recuperado el 1 de julio de 2019, de <https://www.fanuc.eu/es/es/robots>

ROJAS, O. A. (2005). *Software para Aplicaciones Industriales*. 150. Recuperado de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/SW>

Rosado Muñoz, A. (2009). *Sistemas Industriales Distribuidos: Redes de Comunicación Industrial*. 39–60. Recuperado de [https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3\\_rev0.pdf](https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf)

SIMATIC S7-1200 | Controladores SIMATIC | Siemens. (s/f). Recuperado el 7 de julio de 2019, de <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

*SIMATIC S7 - 1200 - El Futuro de la Industria - Siemens*. (s/f). Recuperado de [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/controlador\\_basico\\_s71200/pages/s7-1200.aspx](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/controlador_basico_s71200/pages/s7-1200.aspx)

Slider01.png (467×622). (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2019, de <https://www.orangeapps.de/images/Slider01.png>

Soldadura por puntos | KUKA AG. (s/f). Recuperado el 23 de junio de 2019, de <https://www.kuka.com/es-es/tecnologías/tecnologías-de-procesamiento/2016/07/soldadura-por-puntos>

Squires, P. (s/f). Cuándo emplear robots en el empaque y embalaje de piezas : *Plastics Technology México*. Recuperado el 1 de julio de 2019, de <https://www.pt-mexico.com/articulos/cundo-emplear-robots-en-el-empaque-y-embalaje-de-piezas>

Terry M. Brei. (2016). What is Industrial Automation? - Sure Controls. Recuperado el 22 de junio de 2019, de Thundera Multimedia website: <https://www.surecontrols.com/what-is-industrial-automation/>

Utreras, T. V. (2013). *Diseño y elaboración de prácticas de laboratorio para robótica industrial utilizando manipuladores robóticos KUKA*. 2(SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-16-2 / ISSN 1314-2704), 1–39.