



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD Y**  
**PLATAFORMA DE PRÁCTICAS DEL ROBOT KUKA KR 10 EN**  
**EL LABORATORIO DE PROCESO INDUSTRIAL DE LA EIECRI”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES.**

**AUTORAS: NANCY MARIBEL AMANGANDI AGUILAR**

**NANCY FABIOLA MENDOZA GUAMÁN**

**DIRECTOR: ING. FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO**

Riobamba - Ecuador

2021

**©2021, Nancy Maribel Amangandi Aguilar & Nancy Fabiola Mendoza Guamán**

Se permite la duplicación en fragmentos o total ya sea para fines académicos o cualquier procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Nancy Maribel Amangandi Aguilar & Nancy Fabiola Mendoza Guamán, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de diciembre de 2021

---

**Nancy Maribel Amangandi Aguilar**  
**C.I. 020241865-3**

---

**Nancy Fabiola Mendoza Guamán**  
**C.I. 060354801-7**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Dispositivo Tecnológico “IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD Y PLATAFORMA DE PRÁCTICAS DEL ROBOT KUKA KR 10 EN EL LABORATORIO DE PROCESO INDUSTRIAL DE LA EIECRI” , realizado por las señoritas **Nancy Fabiola Mendoza Guamán y Nancy Maribel Amangandi Aguilar**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Antonio Viteri <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	2021-12-07 .....
Ing. Fausto Ramiro Cabrera Aguayo <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	2021-12-07 .....
Ing. José Luis Tinajero <b>MIEMBRO TRIBUNAL</b>	2021-12-07 .....

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a Dios, a mis padres José y Joaquina quienes me han apoyado incondicionalmente, en mi educación y vida cotidiana, y a mis hermanos por brindarme su apoyo.

Nancy

Este trabajo va dedicado con mucho cariño a toda mi familia. Especialmente a mis padres Carlos y Rosario por estar a mi lado apoyándome incondicionalmente durante mi formación. A mi esposo y hermanos por brindarme su apoyo, afecto y cariño a lo largo de este camino.

Maribel

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, a mi familia quienes de una u otra manera han apoyado en la realización de mi trabajo de titulación, A mis amigos y amigas quienes siempre estuvieron para acompañarme en momentos buenos y malos. Un gran agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales

Nancy

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme, por ser la luz que guio mi camino y por darme la oportunidad de hacer posible mi meta.

A toda mi familia por su cariño, comprensión y apoyo incondicional, por estar conmigo en las buenas y malas.

Mis más sinceros agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad.

Maribel

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPITULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Automatización en la industria.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Robot en la industria .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1. Evolución de los robots en la industria .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Seguridad en la industria .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4. Sistema de seguridad en sistemas automatizados .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.1. Normas de seguridad para la utilización del robot industrial .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.2. Normativa americana ANSI/RIA R15.06-1992 .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4.3. Normas de seguridad para la instalación de un robot industrial.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4.4. Protocolos de seguridad en robots industriales .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.5. Sensores.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.5.1. Sensores de contacto .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.5.2. Sensores de proximidad.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.5.3. Sensores capacitivos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.5.4. Sensores inductivos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.5. Robótica.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5.1. Aplicaciones de robot industriales .....</b>	<b>15</b>
<b>1.6. Cinemática directa e inversa de robot. ....</b>	<b>16</b>
<b>1.6.1. Ejemplo cinemático directa .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6.2. Obtención del modelo cinemático inverso .....</b>	<b>24</b>
<b>1.7. Robot industrial KUKA KR 10 .....</b>	<b>25</b>
<b>1.7.1. Características de robot KUKA KR10 .....</b>	<b>25</b>
<b>1.7.2. Componentes del Robot KUKA .....</b>	<b>26</b>

1.7.3.	<i>Aplicaciones del robot KUKA KR10</i>	28
1.7.4.	<i>Programación del robot KUKA KR10</i>	28
1.7.5.	<i>Software de programación</i>	29
1.8.	<b>Smartpad</b>	31
1.8.1.	<i>Características del KUKA smartpad</i>	31
1.9.	<b>Otros softwares de programación KUKA</b>	31
1.9.1.	<i>Tipos de trayectoria del robot KUKA KR10</i>	32
1.9.1.1.	<i>Movimiento PTP</i>	32
1.9.1.2.	<i>Movimiento Lineal (LIN)</i>	33
1.9.1.3.	<i>Movimiento Circular</i>	33

## CAPITULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	34
2.1.	<b>Introducción</b>	34
2.2.	<b>Metodología</b>	35
2.3.	<b>Situación actual de seguridad de robot KUKA</b>	35
2.4.	<b>Requerimientos del sistema.</b>	36
2.5.	<b>Selección de material.</b>	37
2.5.1.	<i>Calculo dinámico para la construcción de la estructura de seguridad</i>	41
2.5.1.1.	<i>Análisis De Esfuerzo de la Jaula del Robot Kuka</i>	41
2.5.1.2.	<i>Análisis de la Estructura Mediante SOLIDWORKS</i>	41
2.5.2.	<b>Cálculo del centro de masa del soporte y del robot.</b>	46
2.5.3.	<i>Paredes de la estructura del sistema de seguridad</i>	51
2.5.4.	<i>Sensores Magnéticos</i>	51
2.5.5.	<i>Relé de estado sólido.</i>	51
2.5.6.	<i>Esp32-CAM módulo wifi.</i>	52
2.5.7.	<i>Breaker.</i>	54
2.5.8.	<i>Interfaz X11</i>	54
2.6.	<b>Diseño y Selección de Software y Hardware.</b>	55
2.6.1.	<i>Selección de software para el diseño del sistema de seguridad.</i>	55
2.6.2.	<i>Android Studio.</i>	59
2.6.3.	<i>Base de datos.</i>	59
2.6.4.	<i>Arduino</i>	59
2.6.5.	<i>RoboDK.</i>	60
2.6.6.	<i>Cade-Simu.</i>	60
2.7.	<b>Implementación de la estructura de sistema de seguridad</b>	61

<b>2.7.1.</b>	<b><i>Implementación de la placa de control</i></b> .....	62
<b>2.7.2.</b>	<b><i>Tablero de Control.</i></b> .....	63
<b>2.7.3.</b>	<b><i>Manual de usuario y guías de práctica.</i></b> .....	65

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS</b> .....	66
<b>3.1.</b>	<b>Implementación Y Validación Del Sistema De Seguridad</b> .....	66
<b>3.1.1.</b>	<b><i>Pruebas del sistema de seguridad</i></b> .....	66
<b>3.1.1.1.</b>	<b><i>Prueba de la interfaz x11.</i></b> .....	66
<b>3.1.1.2.</b>	<b><i>Prueba de la estructura mecánica</i></b> .....	68
<b>3.1.1.3.</b>	<b><i>Prueba de aplicación móvil.</i></b> .....	69
<b>3.1.1.4.</b>	<b><i>Prueba de control de la pinza del robot KUKA.</i></b> .....	71
<b>3.1.1.5.</b>	<b><i>Prueba de trayectorias</i></b> .....	71

### **CAPITULO IV**

<b>4.</b>	<b>Análisis de costos.</b> .....	72
-----------	----------------------------------	----

<b>CONCLUSIONES</b> .....	74
---------------------------	----

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	75
------------------------------	----

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b>	Tabla de parámetros de D-H.....	22
<b>Tabla 2-1.</b>	Datos de eje de robot KUKA KR 10 R900 SIXX .....	28
<b>Tabla 1-2.</b>	Especificaciones del robot.....	37
<b>Tabla 2-2.</b>	Partes del Smartpad .....	40
<b>Tabla 3-2.</b>	Partes de Smartpad con vista lateral .....	41
<b>Tabla 4-2.</b>	Cálculo de estabilidad.....	50
<b>Tabla 5-2.</b>	Características del relé de estado sólido .....	52
<b>Tabla 6-2.</b>	Características de ESP32-CAM.....	53
<b>Tabla 1-3.</b>	Conexión Interfaz x11 .....	66
<b>Tabla 2-3.</b>	Resultado de pruebas del KUKA con interfaz x11 y sensor magnético inactivos..	66
<b>Tabla 3-3.</b>	Resultado de pruebas del KUKA con interfaz X11 y sensor magnético activos.....	67
<b>Tabla 4-3.</b>	Resultados del sistema de seguridad en modo de servicio T1 .....	68
<b>Tabla 5-3.</b>	Resultados del sistema de seguridad en modo de servicio T2.....	69
<b>Tabla 6-3.</b>	Prueba de encendido y apagado de robot por medio de aplicación móvil.....	69
<b>Tabla 7-3.</b>	Prueba de mensaje de alerta de robot por medio de aplicación móvil.....	70
<b>Tabla 8-3.</b>	Prueba de pinza.....	71
<b>Tabla 1-4:</b>	Tabla de costos .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	La automatización: una convergencia de tecnologías .....	5
<b>Figura 2-1.</b>	Esquema antropomórfico .....	7
<b>Figura 3-1.</b>	Parada Suspendida .....	8
<b>Figura 4-1.</b>	Guía de mano. ....	9
<b>Figura 5-1.</b>	Control de velocidad. ....	9
<b>Figura 6-1.</b>	Fases del proceso para medir magnitud física y química.....	13
<b>Figura 7-1.</b>	Sensor de contacto basado en muelle.....	14
<b>Figura 8-1.</b>	Sensor capacitivo. ....	14
<b>Figura 9-1.</b>	Esquema de funcionamiento del sensor inductivo. ....	15
<b>Figura 10-1.</b>	Sensor inductivo.....	15
<b>Figura 11-1.</b>	Aplicaciones de robot en la industria.....	16
<b>Figura 12-1.</b>	Cinemática directa e inversa .....	16
<b>Figura 13-1.</b>	Interpretación geométrica de la matriz de transformación homogénea .....	17
<b>Figura 14-1.</b>	Cinemática de posición directa .....	17
<b>Figura 15-1.</b>	Brazo robótico.....	18
<b>Figura 16-1.</b>	Modelado cinemático directo robot ABB IRB 6400C.....	19
<b>Figura 17-1.</b>	Sistema de referencias.....	20
<b>Figura 18-1.</b>	Parámetros D-H. ....	21
<b>Figura 19-1.</b>	Cinemática de posición inversa.....	24
<b>Figura 20-1.</b>	Modelo cinemático inverso.....	24
<b>Figura 21-1.</b>	Robot industrial KUKA. ....	26
<b>Figura 22-1.</b>	Componentes del robot KUKA.....	27
<b>Figura 23-1.</b>	Espacio de trabajo del robot KUKA KR10 R900 SIXX.....	27
<b>Figura 24-1.</b>	Robot kuka en software ARCTECH.....	30
<b>Figura 25-1.</b>	Robot kuka en software HMI.....	30
<b>Figura 26-1.</b>	SMARTPAD KUKA.....	31
<b>Figura 27-1.</b>	RoboDK programación.....	32
<b>Figura 28-1.</b>	Movimiento punto a punto.....	33
<b>Figura 29-1.</b>	Movimiento lineal.....	33
<b>Figura 30-1.</b>	Movimiento circular.....	33
<b>Figura 1-2.</b>	Base e robot KUKA.....	36
<b>Figura 2-2.</b>	Controlador robot KUKA. ....	38
<b>Figura 3-2.</b>	Smartpad KUKA.....	39
<b>Figura 4-2.</b>	Vista Lateral Smartpad .....	40

<b>Figura 5-2.</b>	Modelo CAD jaula del robot KUKA .....	42
<b>Figura 6-2.</b>	Parámetros apoyo y esfuerzo de la estructura.....	42
<b>Figura 7-2.</b>	Mallado de la estructura jaula del robot KUKA. ....	43
<b>Figura 8-2.</b>	Análisis de esfuerzo de la estructura.....	43
<b>Figura 9-2.</b>	Análisis de deformación de la estructura. ....	45
<b>Figura 10-2.</b>	Factor coeficiente de seguridad.....	46
<b>Figura 11-2.</b>	Diagrama de cuerpo libre del robot.....	47
<b>Figura 12-2.</b>	Diagrama de cuerpo libre del soporte. ....	47
<b>Figura 13-2.</b>	Láminas de vidrio. ....	51
<b>Figura 14-2.</b>	Sensor magnético .....	51
<b>Figura 15-2.</b>	Relé de estado solido .....	52
<b>Figura 16-2.</b>	Conexión ESP32-CAN con el USB-serial.....	53
<b>Figura 17-2.</b>	Placa de esp32-CAM y borneras.....	54
<b>Figura 18-2.</b>	Breaker.....	54
<b>Figura 19-2.</b>	Interfaz X11. ....	55
<b>Figura 20-2.</b>	Diseño en SolidWorks de la estructura metálica.....	56
<b>Figura 21-2.</b>	Estructura de seguridad.....	56
<b>Figura 22-2.</b>	Medidas del plano frontal .....	57
<b>Figura 23-2.</b>	Vista superior de la estructura.....	57
<b>Figura 24-2.</b>	Vista lateral de la estructura de seguridad .....	58
<b>Figura 25-2.</b>	Vista Isometría de la estructura de seguridad. ....	58
<b>Figura 26-2.</b>	Interfaz de aplicación de sistema de seguridad KUKA. ....	59
<b>Figura 27-2.</b>	Simulación en RoboDK. ....	60
<b>Figura 28-2.</b>	Estructura del sistema de seguridad.....	61
<b>Figura 29-2.</b>	Estructura de seguridad.....	61
<b>Figura 30-2.</b>	Esquema de Funcionamiento X11. ....	62
<b>Figura 31-2.</b>	Placa de circuito impreso de la placa de control.....	63
<b>Figura 32-2.</b>	Placa de control.....	63
<b>Figura 33-2.</b>	Indicadores led.....	63
<b>Figura 34-2.</b>	Tablero de control.....	64
<b>Figura 35-2.</b>	Esquema de funcionamiento aplicación.....	64
<b>Figura 1-3.</b>	Mensaje de error en la parada de seguridad.....	67
<b>Figura 2-3.</b>	Restablecer errores.....	68
<b>Figura 3-3.</b>	Encendido de robot KUKA por medio de aplicación. ....	70
<b>Figura 4-1.</b>	Apagado del robot KUKA por medio de la aplicación.....	70

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1 .....	17
Ecuación 2-1 .....	18
Ecuación 3-1 .....	18
Ecuación 4-1 .....	18
Ecuación 5-1 .....	22
Ecuación 6-1 .....	22
Ecuación 7-1 .....	23
Ecuación 8-1 .....	23
Ecuación 9-1 .....	23
Ecuación 10-1 .....	23
Ecuación 11-1 .....	23
Ecuación 12-1 .....	23
Ecuación 13-1 .....	23
Ecuación 1-2. ....	44
Ecuación 2-2. ....	44
Ecuación 3-2. ....	45
Ecuación 4-2. ....	46
Ecuación 5-2. ....	48
Ecuación 6-2. ....	48
Ecuación 7-2. ....	48
Ecuación 8-2. ....	48
Ecuación 9-2. ....	49
Ecuación 10-2. ....	49
Ecuación 11-2. ....	49

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

.

**ANEXO A:** ELABORACIÓN DE LA PLACA PARA EL TABLERO DE CONTROL

**ANEXO B:** TABLERO DE CONTROL

**ANEXO C:** PUERTO X11

**ANEXO D:** ESTRUCTURA DE SEGURIDAD

**ANEXO E:** MANEJO DEL ROBOT.

**ANEXO F:** REVISIÓN DE TABLERO DE SEGURIDAD.

**ANEXO G:** PROGRAMACIÓN DE ROBOT

**ANEXO H:** MANUAL DE PRÁCTICAS

## RESUMEN

Se implementó un sistema de seguridad y plataforma de prácticas para el robot KUKA KR 10, para este proceso se dispuso de dos etapas claves como: Hardware que corresponde al proceso de diseño y ensamblaje de una estructura metálica, utilizando el Software SolidWorks, con el cual se modeló y realizó el estudio de fuerzas y pesos a las cuales está expuesta la estructura de seguridad, para la implementación de la estructura se utilizó ángulos de acero, placa de fibropanel de densidad media (MDF) de 9mm para la mesa y vidrio para las paredes. En la etapa de Software se utilizó un sistema de seguridad denominado protocolo x11 propio de robot KUKA. Dicho protocolo funciona conectando un sensor magnético a los pines 3 y 4 del conector x11, dichos sensores van adheridos a las puertas de la estructura, enviando señales cuando estas estén abiertas o cerradas, el protocolo de seguridad se accionará cuando la puerta de la cabina esté abierta o alguien lo abra durante el proceso de programación o ejecución provocando que el robot se detenga, mostrando un mensaje de error al Smartpad. Además, se implementó una aplicación móvil en Android Studio que permite tener el control de la accesibilidad de las personas que utilizan el dispositivo, controlando el proceso desde el encendido hasta la puesta en marcha del robot. Para la validación del sistema de seguridad se realizaron pruebas de acierto y error, obteniendo como resultado el cumplimiento de lo propuesto, también se realizaron pruebas de trayectoria utilizando la herramienta del robot, y en base a ello se realizó el manual y guía de prácticas. En conclusión, la implementación de este sistema de seguridad busca resguardar la seguridad de docentes y alumnos al momento de manipular el robot. Se recomienda tomar todas las precauciones al momento de manipular este tipo de sistemas autónomos y la realización de más proyectos para aprovechar al máximo la capacidad del robot.

**Palabra clave:** <ROBÓTICA>, <SISTEMAS AUTÓNOMOS>, <ROBOT INDUSTRIAL>, <SISTEMA DE SEGURIDAD>, <COMUNICACIÓN HOMBRE MAQUINA>, <PROTOCOLO X11>, <MANUAL DE PRÁCTICAS>, <EJECUCIÓN DE TRAYECTORIAS>.

## ABSTRACT

A safety system and training platform was implemented for the KUKA KR 10 robot; two key stages were available for this process, such as: Hardware that corresponds to the process of design and assembly of a metallic structure, using SolidWorks Software, with which the study of forces and weights, to which the security of the structure is exposed, was modeled and carried out. For the implementation of the structure, there were used steel angles, a 9mm medium density fibro panel plate (MDF) for the table, and glass for the walls. In the Software stage, a security system called the KUKA robot's own x11 protocol was used. This protocol works by connecting a magnetic sensor to pins 3 and 4 of the x11 connector, these sensors are attached to the doors of the structure, sending signals when they are open or closed, the security protocol will be activated when the cabin door is open or someone opens it during the programming or execution process causing the robot to stop, displaying an error message to the Smartpad. In addition, a mobile application in Android Studio was implemented which allows to have control of the accessibility of the people who use the device, controlling the process from power-up to start-up of the robot. For the validation of the security system, success and error tests were carried out, having as a result the fulfillment of the proposal. Additionally, tests of trajectory using the robot tool were carried out, and based on this, the manual and guide of practices was elaborated. In conclusion, the implementation of this security system seeks to protect the safety of teachers and students when handling the robot. It is recommended to be cautious when handling this type of autonomous systems as well as the execution of more projects to make the most of the robot's capacity.

**Keywords:** <ROBOTICS>, <AUTONOMOUS SYSTEMS>, <INDUSTRIAL ROBOT>, <SECURITY SYSTEM>, <HUMAN MACHINE COMMUATION>, <PROTOCOL X11>, <PRACTICE MANUAL>, <EXECUTION OF TRAJECTORIES>.



Firmado digitalmente por:  
NELLY MARGARITA  
PADILLA PADILLA

## **INTRODUCCIÓN**

Según el estudio realizado por la International Federation of Robotics (IFR), en el 2018, las instalaciones de robots industriales en todo el mundo aumentaron un 6% hasta 422.271 unidades, por un valor de 16.500 millones de dólares (sin software ni periféricos) en distintos sectores como el automovilístico, electrónico, plástico, químico, alimenticio, entre otros.

Con el paso del tiempo se ha podido evidenciar el creciente impacto que tiene el campo de la robótica en la industria que conjuntamente con la automatización permiten mejorar los procesos productivos y efectuar tareas con mayor exactitud, precisión y eficacia. En países industrializados una amplia gama de robots son empleados en operaciones de manufactura, tal es el caso de los robots de fresado, equipos tecnológicos de última generación, que permiten realizar trabajos muy precisos y eficaces. Así también en América latina, países como México, Argentina y Chile acoplan robots industriales a sus procesos de fabricación. En el caso del Ecuador, los robots industriales están siendo incluidos en los procesos de fabricación, así como en los sectores: Agropecuario, agroindustrial, biotecnología, construcción naviera, metalmecánica, entre otros campos estratégicos.

El uso de nuevas tecnologías en el entorno industrial representa una ventaja en el mercado pues mejora la competitividad, la productividad y la capacitación de los operadores, por esta razón la importancia de realizar inversiones en el desarrollo de la robótica y automatización vienen de la mano con la capacitación del personal para que este sea capaz de manipular el equipo y alcanzar beneficios como: reducción de tiempo, reducción costos, mayores estándares de calidad y seguridad.

Con base en lo mencionado anteriormente, se puede evidenciar que existen múltiples beneficios que dispone la implementación de la robótica, sin embargo, es muy importante tomar en cuenta el aspecto de seguridad y los riesgos que se pueden presentar en un entorno de trabajo compartido entre máquinas y personas, pues pueden suscitarse accidentes de mayor o menor escala.

Es por esta razón, que el presente estudio se enfoca en la implementación de un sistema de seguridad para el brazo robótico de la empresa KUKA, el cual que puede causar accidentes graves al realizar el movimiento de desplazamiento con o sin carga.

La empresa KUKA, la cual se creó en 1898, inició orientada a la iluminación doméstica y productos derivados, actualmente debido a los avances tecnológicos KUKA se concentra en dar soluciones para la automatización de los procesos de fabricación industrial.

Uno de sus productos es el robot KUKA KR 10, el cual es un brazo robótico o manipulador programable que posee 6 grados de libertad, capaz de ejecutar movimientos similares al de un brazo humano, tales como tareas de paletizado, pick and place, determinación de sistema de referencia entre otros. Este tipo de robot tienen una alta versatilidad debido a que pueden crearse distintas aplicaciones a través de su programación.

El robot KUKA KR10 analizado, se encuentra ubicado en el laboratorio industrial de EIECRI (Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales) de la ESPOCH y uno de los principales problemas identificados al momento de realizar prácticas en el laboratorio es la falta de seguridad, debido a que no cuenta con una base estable y un sistema de seguridad que permita proteger la integridad física del docente y los alumnos al momento de realizar prácticas. En cuanto a la base, ésta presenta alta inestabilidad lo cual provoca vibraciones inusuales al manipular el robot, generando fallas al sistema y daños físicos al equipo. Adicionalmente no existe un manual y guía de prácticas para la correcta manipulación del robot.

Estas deficiencias han limitado a que los estudiantes reciban clases únicamente de forma teórica dificultando su óptimo aprendizaje y desarrollo de capacidades y habilidades. Además, pone en riesgo la seguridad de los participantes.

Con el fin de brindar una solución a la problemática identificada se planteó como objetivo principal del trabajo investigativo implementar un sistema de seguridad y una plataforma de prácticas del robot KUKA KR 10 en el laboratorio de proceso industrial de la EIECRI, sistema que constará de una estructura metálica con paredes de vidrio diseñada acorde a las dimensiones del robot, el cual será introducido en la plataforma y se colocarán sensores para que detecte el estado de la puerta de tal forma que si la estructura está abierta, el robot se bloquee y no proceda a realizar la tarea asignada por el programador, esta estructura tendrá la finalidad de cuidar la integridad de la persona que lo manipule.

Además, con el objetivo de mejorar el manejo del sistema, se implementará una plataforma de prácticas con su respectivo manual y guía de prácticas para el robot KUKA KR10. Dichos documentos contendrán aspectos como la cinemática del robot y la programación de cada una de las trayectorias que incluye el programa KUKA y de esta manera el estudiante será capaz de

aplicar todos sus conocimientos realizando prácticas con mayor eficiencia y precisión a la hora de trabajar con el robot.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Implementar el sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR 10 en el laboratorio de proceso industrial de la EIECRI.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar sobre la construcción del sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR 10.
- Determinar los requerimientos que debe cumplir el diseño e implementación del sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR 10
- Establecer el diseño del modelo cinemático del brazo robótico KUKA KR 10 que cubra los requerimientos del dispositivo a implementar.
- Seleccionar el software y hardware del KUKA KR 10 que permita la implementación del sistema de seguridad y plataforma de prácticas en el laboratorio de proceso industrial.
- Realizar el manual y guía de prácticas de trayectorias (PTP, LIN, CIRC, SPTP, SLIN, SCIRC) para operaciones de paletizado, pick and place.
- Validar el sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR 10 en el laboratorio de proceso industrial.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Automatización en la industria.

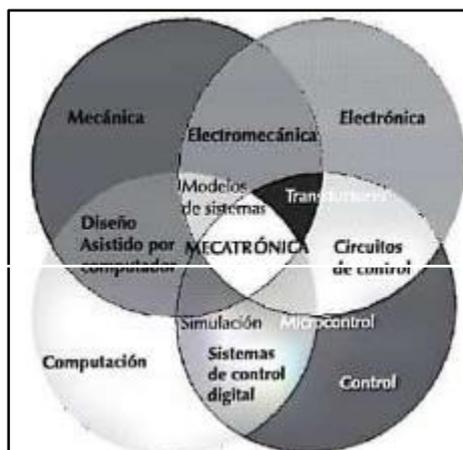
La automatización estudia los automatismos lógicos y autómatas programables concluyéndose con un tema de control numérico de máquinas. Dentro de las nuevas tecnologías, la automatización y más concretamente la robótica industrial constituye una estrategia de mejora de la competitividad que ha demostrado poder evitar fenómenos de deslocalización. En EE.UU. hay cientos de ejemplos de fabricantes que han evitado la deslocalización disminuyendo la relación robots-operarios e incrementando los procesos con máquinas automatizadas.(González, 2009)

La automatización agrupa el conjunto de las disciplinas teóricas y técnicas que intervienen en la concepción, la construcción y el empleo de los sistemas automáticos. La automática constituye el aspecto teórico de la cibernética, está estrechamente vinculada con las matemáticas, la estadística, todo sistema automático se asienta en la confortación de información. (García, 2020,)

La automatización ofrece una visión mucho más amplia en el campo laboral, que permite reducir la mano de obra, simplificar el trabajo posibilitando que las máquinas realicen las operaciones de manera automática; resultando en un proceso más rápido y eficiente. El área de automatización desarrolla actividades de investigación, desarrollo y de extensión, en el área de sistemas dinámicos y sus aplicaciones al control automático, teoría de señales, identificación, modelamiento e instrumentación.(Sancho, 2018)

Es el método de controlar automáticamente la operación de un aparato, artefacto, proceso o sistema integrado por diversos componentes a través de medios mecatrónicos, electrónicos y computacionales que sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del ser humano.

(1) La automatización es, esencialmente, la convergencia de tres tecnologías: mecánica, electrónica e Informática, que paulatinamente han venido tejiendo una convergencia reticular como es el universo específico de la mecatrónica, como se esquematiza en la (Figura 1-1). (Córdoba Nieto, 2006, pp. 120-128)



**Figura 1-1.** La automatización: una convergencia de tecnologías

Fuente: Universidad Nacional. 2000

Un sistema automatizado es un conjunto de dispositivos que trabajan juntos para ejecutar tareas o fabricar un producto o familia de productos. Los sistemas industriales automatizados pueden ser una máquina o un grupo de máquinas llamadas “celda”. Los 4 tipos básicos de dispositivos en una celda son: de producción, de soporte, de control, y de retroalimentación. (2)

**Dispositivos de producción.** - Los dispositivos de producción le agregan valor al producto. Estos realizan distintas etapas del proceso de manufactura como es el ensamblar, soldar, pintar y otras más que completan la tarea.

**Equipo de soporte.** - Se incluyen sistemas automáticos de almacenamiento y recuperación (AS/RS), bandas transportadoras, y dispositivos de propósito específico, etc.

**Equipos de control.** - Los Controladores de Lógica Programable (PLC) son los controladores más comunes en las celdas de producción, coordinan a todos los demás dispositivos, son el cerebro de la celda.

**Dispositivos de retroalimentación.** - La retroalimentación se lleva a cabo a partir de sensores, los cuales proveen información al dispositivo de control de lo que está sucediendo. Los sensores pueden ser tan simples como interruptores ON/OFF o más complejos como los de tipo analógico cuya salida es proporcional a la señal de entrada.

Actualmente en la automatización se están estableciendo conceptos más claros y definidos que están permitiendo alcanzar los objetivos primordiales de flexibilidad, universalidad e integración.

Los avances realizados en la automatización industrial han influido en distintos aspectos dentro de la industria, no solo en los procesos, sino también el campo administrativo y gerencial.

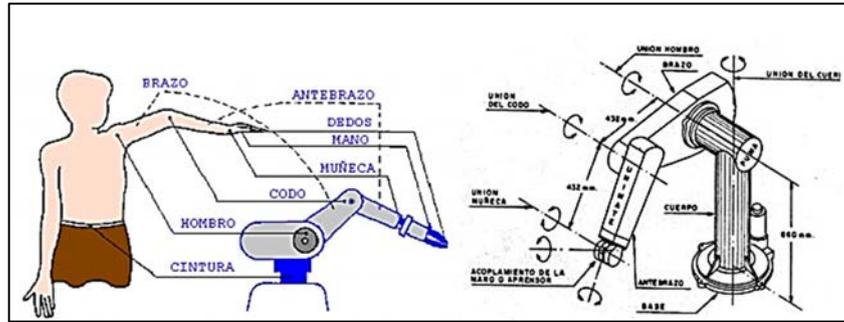
## **1.2. Robot en la industria**

Los robots, son una herramienta importante en la actualidad que se utiliza en muy variados campos industriales, principalmente en la manufactura que es uno de los campos laborales de los ingenieros industriales. (Quebrado, 2016)

En sí misma la robotización tiene dos claros objetivos iniciales; reducir costos de fabricación e incrementar la productividad. Los beneficios adicionales relacionados con la flexibilidad, seguridad y calidad reafirman la rentabilidad de su implantación. La robótica puede hacer más sencillas las tareas que hasta hace poco eran repetitivas, tediosas, peligrosas, difíciles de precisión o desarrolladas íntegramente a mano. El continuo abaratamiento del costo de adquisición de un robot industrial experimentado en los últimos años provocará que en un futuro el entorno de fabricación cambie drásticamente respecto a lo que conocemos. (Hernández and Idoipe, 2015)

El robot está definido según la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), como un manipulador multifuncional reprogramable, con la capacidad de trasladar piezas, materiales o dispositivos, mediante movimientos que son programados para cumplir dichas las tareas, A continuación, robots se clasifican en: robots industriales, y robots no industriales. El propósito de los robots industriales es el realizar tareas como soldar, pintar, paletizado, ect. otras tareas que podrían no ser seguras para el hombre. Por otra parte, los robots de uso especial son utilizados para diferentes entornos y el de una fábrica. (Kumar Saha, 2000)

Cabe mencionar que en la industria existen diversos robots industriales muchos de ellos teniendo características similares a la anatomía humana. Los cuales están compuestos de los siguientes elementos como: estructura mecánica, transmisiones, actuadores, sensores, elementos terminales y controlador. La alta exigencia en los robots ha hecho que los elementos utilizados para su construcción tengan características determinadas haciendo que la mayoría de los robots industriales sean similares a las extremidades superiores del cuerpo humano, por lo que gran parte de sus piezas usas dichos términos (Ver figura 2-1). (González, 2009)



**Figura 2-1.** Esquema antropomórfico

Fuente: (González, 2009)

Como se pudo ver en la definición anterior el robot industrial también conocido como un brazo robótico tienen la capacidad de manipular, y realizar tareas con complejidad. El cambio un sistema robotizado, son aquellos que sustituyen al ser humano y realizan a tarea de forma automática, para ello se puede hacer uso de uno o más robot, siendo el uso de varios robots lo más común., (3)

### 1.2.1. Evolución de los robots en la industria

La idea de robots fue concebida hace más de 3 000 años en la leyenda hindú de los elefantes mecánicos (Fuller, 1999), el uso de esta terminología se dio por primera vez en el año 1921 (1890-1938). (Kumar Saha, 2000). En el año 1958 Joseph H. Engelberger y George C. Devol, fundaron la empresa UNIMATION Robotics Company, realizando el primer diseño de un robot trabajador. Pero fue en año de 1961 donde se colocó al primer robot, en la compañía automotriz de General Motors en Nueva Jersey, Estados Unidos. Se trabajaba con materiales de fundición para lo cual empleaban robot de 5 o 6 grados de libertad el cual tenía pinzas que evitaban que operador las toque. (Kumar Saha, 2000)

La robótica ha evoluciona desde en muchos aspectos y su uso en deferentes campos ha incrementado: como por ejemplo en soldadura, pintura, ensamble, paletizado, agricultura, medicina, milicia, seguridad, etc. También existen robot elaborados y utilizados por la NASA para su uso exclusivo y son utilizados para exploraciones. (Kumar Saha, 2000)

Los robots son diseñados para reemplazar al hombre en tareas riesgosas o imposible para que un humano las realice como ya menciono anteriormente. esta. En la figura 2-1 se mostró las semejanzas que poseen con la anatomía humano. (Torrez Vargas, 2012)

### 1.3. Seguridad en la industria

En la industria, es común grandes unidades robóticas que están protegidas por muchos protectores fijos e interconectados, de modo que una persona no puede alcanzar un robot en movimiento, como en una línea de ensamblaje. Sin embargo, las innovaciones en software y diseño de robots colaborativos permiten a los humanos interactuar con robots con protección limitada o sin protección. Para cada aplicación, la seguridad es siempre primordial. Para garantizar esto, el sistema robótico y su entorno deben cumplir con ciertos niveles de seguridad antes de que pueda ponerse en uso. Para garantizar la seguridad, la industria tiene una serie de estándares aplicables. (Braman, 2018, p. 1)

#### **Parada supervisada con clasificación de seguridad.**

A menudo se utiliza en situaciones en las que el robot realiza las tareas por sí solo, pero de vez en cuando una persona se encarga de cargar o descargar material, así como se muestra en la figura 3-1.



**Figura 3-1.** Parada Suspendeda

Fuente: (Braman, 2018)

Mientras la persona se encuentra dentro del área de trabajo, el robot se encuentra en una condición de detención e incapaz de moverse hasta que la persona ya no se encuentre dentro del área de trabajo.

#### **Guía de mano.**

Este tipo de operación le permite al ser humano guiar al robot a una velocidad y seguridad monitoreada. Esto se utiliza a menudo para operaciones de enseñanza o donde la ergonomía es

un problema, como una ayuda de elevación (figura 4-1). Para esta operación, el robot debe estar equipado con una parada de emergencia y un dispositivo de habilitación.

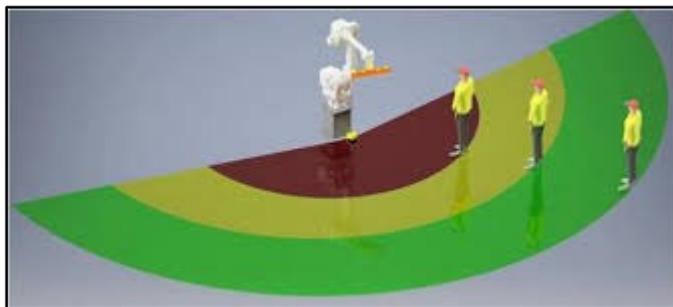


**Figura 4-1.** Guía de mano.

Fuente: (Braman, 2018)

### **Control de velocidad y separación.**

El método reduce el riesgo al mantener una distancia suficiente entre un trabajador y un robot en el espacio de trabajo colaborativo. Esto se hace supervisando la distancia de un robot con respecto a un ser humano y su velocidad, típicamente a través del uso de una periferia clasificada como segura, como un sistema de cámara. Si se viola la distancia de separación de velocidad, el robot se detendrá, así como se muestra en la figura 5-1. Es importante que se tenga en cuenta la distancia de frenado al calcular la distancia de separación. (Braman, 2018, pp. 2-5)



**Figura 5-1.** Control de velocidad.

Fuente: (Braman, 2018)

El control de velocidad contempla un conjunto de medidas técnicas, económicas, psicológicas, etc., que tienen como meta ayudar a la empresa y a sus trabajadores a prevenir los accidentes industriales, controlando los riesgos propios de la ocupación, conservando los locales, la infraestructura industrial y sobre todo los ambientes naturales. (Chamocho, 2014, pp. 185-186)

Sus fundamentos son los siguientes:

- Proteger la vida y la salud de los trabajadores.
- Salvaguardar y proteger las instalaciones industriales.
- Las personas lesionadas traen como consecuencia pérdidas.

#### **1.4. Sistema de seguridad en sistemas automatizados**

En la actualidad existen muchas máquinas que se utilizan en el desarrollo de la actividad diaria en los lugares de trabajo, por lo que es común la existencia de peligros derivados de la instalación, funcionamiento, mantenimiento y reparación de las mismas. La incidencia en los accidentes de trabajo se debe al inadecuado manejo de máquinas y equipos de trabajo, de ahí su importancia en la prevención.

Dentro de esta prevención se denota un término importante como es la seguridad definida como un sistema de control destinado a proteger a los empleados u otros operadores de robots de los peligros asociados con una instalación en particular. (Bovea Edo, 2011, p. 22)

Tal como se automatizan los procesos productivos se deben automatizar los sistemas de seguridad aplicables en la industria. Desarrollando sistemas automáticos de detección de incendios, centrales de incendios, hidrantes externos automatizados, llaves internas que se activan si detectan humo, extintores automáticos, equipos de seguridad, entre otras medidas de seguridad que han sido muy útiles a la hora de salvar vidas. (Maquiclick, 2006)

En el proceso general de diseño del sistema de seguridad se debe hacer una evaluación de riesgos y seguir la siguiente jerarquía:

1. Seguridad en diseño. Eliminar peligros y limitar los riesgos.
2. Seguridad de protección: resguardos y dispositivos, detectores de presencia, bloqueos...
3. Aviso de riesgos residuales: instrucciones de uso, señales acústicas/ópticas, alertas.

##### **1.4.1. Normas de seguridad para la utilización del robot industrial**

Es obligación por normativa, dotar a toda el área de alcance del robot industrial un perímetro de Seguridad suficientemente dimensionado que evite el acceso al robot cuando esté en operación, para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores. (Arribas, 2017, pp. 1-30)

Las normas ISO en la robótica; son un conjunto de normas y directrices internacionales para la implementación de los robots manipuladores utilizados principalmente en el sector industrial. (4)

Para abordar los aspectos de seguridad de robots industriales hay que considerar la siguiente normativa:

- La Directiva europea 2006/42/CE relativa a la maquinaria es la legislación aplicable a todas las instalaciones en Europa.
- Normas técnicas armonizadas sobre robots industriales que dan presunción de conformidad de los requisitos esenciales de Seguridad y Salud de la Directiva Máquinas.
- UNE EN ISO 10218 “Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales.”
- Parte 1: “Robots” para Fabricantes de robots.
- Parte 2: “Sistemas robot e integración” para Integradores de sistemas robóticos / aplicaciones robóticas. (VALENCIANA, 2016)

#### **1.4.2. Normativa americana ANSI/RIA R15.06-1992**

- Velocidad máxima limitada
- Empleo de llaves, códigos de seguridad
- Depósito de intercambio de piezas
- Paradas de emergencia
- Movimientos condicionados
- Zonas de reparación
- Señalizaciones

#### **1.4.3. Normas de seguridad para la instalación de un robot industrial**

Organización del Comité de estandarización ISO para robots manipuladores ISO TC184/SC2

- Automatización industrial
- Mantenimiento de robots
- Especificaciones para seguridad general

En caso de ser necesaria la entrada a esta zona, el trabajador debe realizar algún tipo de acción que detenga al robot, facilitando el acceso. EN ISO 13850:2015 Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios para el diseño. Las normas armonizadas ISO 10218-1 e ISO

10218-2. “Requisitos de seguridad para robots industriales” contienen los requisitos mínimos para el funcionamiento seguro de los robots industriales.

#### **1.4.4. *Protocolos de seguridad en robots industriales***

Una de las aportaciones fundamentales de los robots en el ámbito de la producción industrial es la realización de trabajos en condiciones y ambientes hostiles y peligrosos. El cumplimiento de las normativas de seguridad en el trabajo, y la disminución de los riesgos inherentes a determinadas tareas, son dos de los objetivos principales para invertir en robots industriales. Los impactos de la Robótica sobre la seguridad y la salud en el trabajo disminuyen los riesgos físicos, pero generan nuevas condiciones de trabajo en las que aparecen nuevos factores estresores. Si no se evalúan y se establecen estrategias adecuadas, estos factores pueden generar nuevas enfermedades profesionales.(Gobierno de Aragon, 2004)

##### Condiciones de seguridad

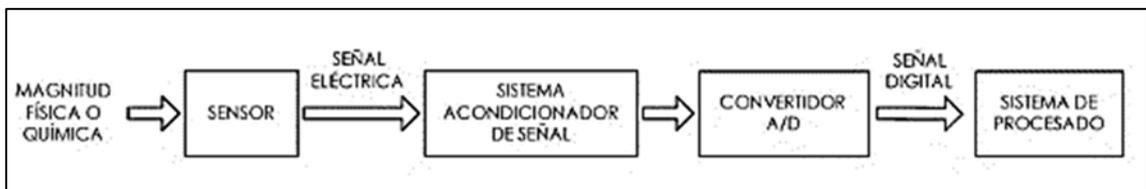
- Aumento del nivel formación de los trabajadores, específicamente en el área de automática y robótica.
- Formación continua dirigida no sólo al conocimiento de nuevas tecnologías, sino a la capacitación de los trabajadores para poder desarrollar más tareas y funciones, asumiendo el nuevo contexto de trabajo. La formación en este campo debe estar dirigida a aumentar la capacidad del trabajador para dominar las nuevas exigencias de los sistemas de trabajo, gestionando mejor el nivel de estrés.
- Regulación de la jornada de trabajo y de los períodos de actividad, teniendo en cuenta la mayor intensidad de este y el aumento de la carga de trabajo y la saturación del trabajador derivados del uso de los robots y sistemas de trabajo automáticos: establecimiento de períodos de descanso que sustituyan las estrategias informales.
- Establecimiento de normativas que regulen el uso de robots en nuevas áreas de actividad, a través de la creación de productos estandarizados que minimicen los posibles riesgos derivados de su uso: accidentes derivados de la capacidad móvil del robot y su fuente de alimentación energética.

- Promoción de programas de formación y capacitación del usuario en aquellas áreas de actividad en las que se están implantando robots, más allá de los sectores tradicionalmente usuarios de robots industriales.

#### 1.4.5. Sensores

Para que los robots funcionen de manera autónoma, se requiere de dispositivos que brinden información de estado interno o externo (entorno que lo rodea).

Estos dispositivos son los sensores. Según DRAE (Diccionario de la Real Academia Española) al sensor se lo define como: “dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente”. Se puede decir que un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitud física o química, como: temperatura, presión, posición, velocidad, pH, etc., y la transforma, en señal eléctrica. Habitualmente, esta señal eléctrica debe ser modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, luego transformada en una señal digital mediante un convertidor analógico-digital (A/D), por último, ser tratada por el sistema de procesamiento (Computador o microcontrolador). En la Figura 6.1 se observa un esquema básico de las fases del proceso, desde que se capta la magnitud que se desea medir hasta que ésta llega al sistema de procesamiento. (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)

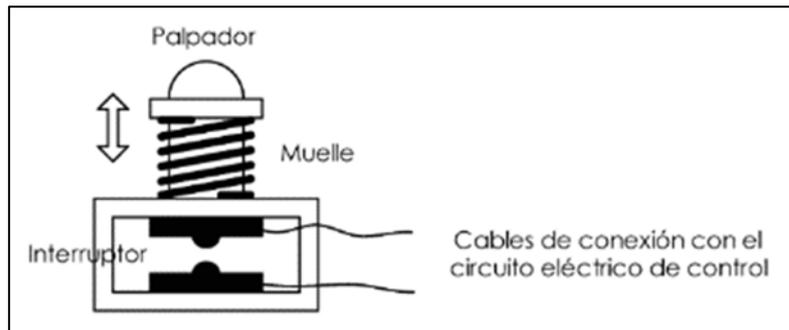


**Figura 6-1.** Fases del proceso para medir magnitud física y química.

**Fuente:** (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)

##### 1.4.5.1. Sensores de contacto

Estos sensores tienen como objetivo detectar contactos con objetos que están situados en el entorno del robot. El sensor detecta el contacto con un objeto cuando se interrumpe un contacto eléctrico por medio de una fuerza externa. La Figura 7.1 muestra la representación de un sensor. Los problemas que se pueden presentar con el sensor son: rebotes producidos en el momento del contacto, y, consecuentemente no detecta al instante que se produce el contacto; y la fuerza que al aplicarse para detectar el contacto depende de la rigidez del muelle. Así, cuanto mayor sea la rigidez, mayor será la fuerza a aplicar para que detecte el contacto. (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)



**Figura 7-1.** Sensor de contacto basado en muelle.  
**Fuente:** (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)

#### 1.4.5.2. Sensores de proximidad

Estos sensores son capaces de detectar objetos que se encuentren alrededor del robot, pero no requiere del contacto con objeto. Los más comunes son:

#### 1.4.5.3. Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos detectan la proximidad de un objeto, sea cual sea su naturaleza (metal o no metal), en distancias pequeñas, del orden de milímetros. El principio de funcionamiento de este sensor es igual de un capacitor. La Figura 8.1 muestra un sensor capacitivo.

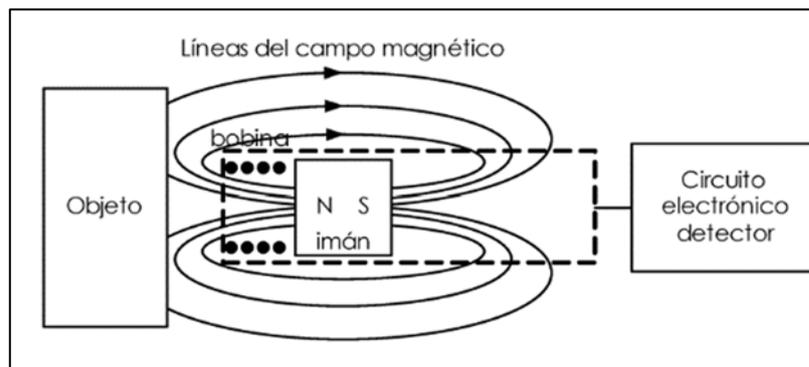


**Figura 8-1.** Sensor capacitivo.  
**Fuente:** (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)

#### 1.4.5.4 Sensores inductivos

Los sensores inductivos detectan sin necesidad de contacto los objetos metálicos que se aproximan. Proporcionan las señales de seguridad necesarias de posición y fin de carrera. Estos sensores también son ideales como generadores de pulsos para la contabilización de tareas o la detección de velocidad. No requieren ninguna pieza de acoplamiento ni accionador especial. Haciendo que la detección directa de porta piezas metálicos sea fácil y sencilla. En la figura 9.1 se muestra el esquemas de funcionamiento del sensor, cuando la bobina se expone a un campo

magnético variable, aparece una fuerza electromotriz o tensión que genera una corriente eléctrica inducida en la bobina (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)



**Figura 9-1.** Esquema de funcionamiento del sensor inductivo.  
Fuente: (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)

La distancia a la que sensor puede detectar un objeto es de 0.1mm a 12mm. En la Figura 10.1 se observa al sensor inductivo.



**Figura 10-1.** Sensor inductivo  
Fuente: (Vázquez Fernández-Pacheco, 2015)

## 1.5. Robótica

La robótica es la ciencia que estudia a las maquinas que son diseñadas y elaboradas para reemplazar al hombre realizando tareas o para trabajar de forma colaborativa. (Párralo Dorado, 2007)

### 1.5.1. Aplicaciones de robot industriales

Como se mencionó anteriormente los robots son utilizados en distintas áreas, en el caso de robot industriales son empleados para la fabricación, montaje y mantenimiento; con más frecuencia en tareas como: soldar, ensamblar, paletizado, manipular piezas y materiales, pintar, etc. (Minda y Ricaurte, 2015)



**Figura 11-1.** Aplicaciones de robot en la industria.

**Fuente:** <https://docplayer.es/6339227-Indice-de-robotica-4-1-origenes-y-brevehistoria-de-los-robots.html>

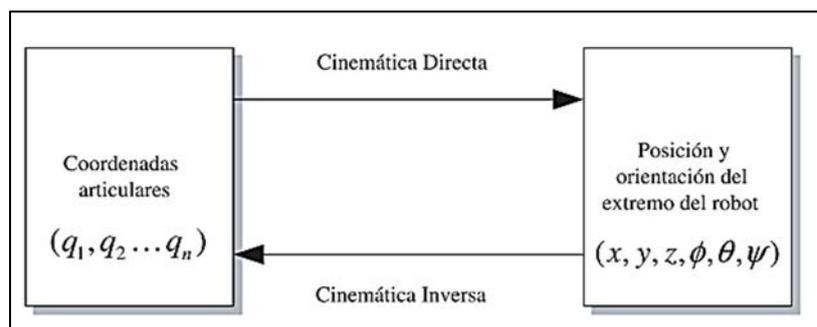
### 1.6. Cinemática directa e inversa de robot.

La cinemática estudia el movimiento del robot en relación a un eje de referencia. (Barrietos, 2007, p. 94)

La cinemática se divide en dos segmentos:

*problema cinemático directo*, determina la posición y orientación del efector final del robot respecto a un sistema de referencia coordinado, y el segundo es

*problema cinemático inverso*, indica las coordenadas que debe seguir el robot para llegar a una posición y orientación en el área de trabajo (Barrietos, 2007, p. 110)



**Figura 12-1.** Cinemática directa e inversa

**Fuente:** (Barrietos, 2007)

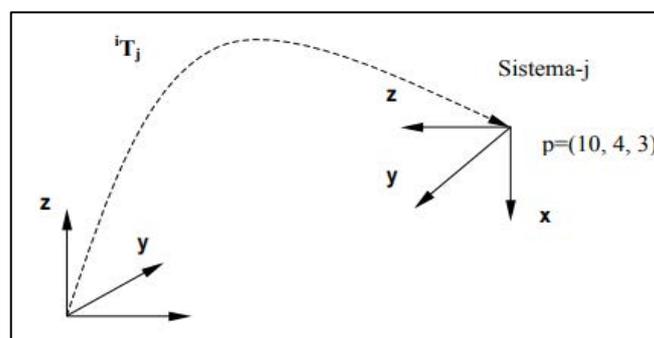
En la cinemática directa se encuentra una matriz de transformación homogénea de 4x4, que incluye las operaciones de traslación y de orientación. La matriz de transformación homogénea como se muestra en la ecuación 1-1 es una matriz de 4x4 que transforma a un vector de coordenadas homogéneas a partir de un sistema de coordenadas en otro sistema de coordenadas.

$$T = \begin{bmatrix} \text{matriz de rotación} & \text{vector de posición} \\ f & \text{escalado} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 1-1

$$T = \begin{bmatrix} n & s & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Donde}$$

$n, s, a$ , son vectores ortogonales unitarios  $p$  es un vector que describe la posición  $x, y, z$  del origen del sistema actual respecto del sistema de referencia como se muestra en la figura 13-1



**Figura 13-1.** Interpretación geométrica de la matriz de transformación homogénea

Fuente: <https://nbio.umh.es/files/2012/04/practica2.pdf>

Determina la localización del efector final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas de referencia, siendo conociendo el valor de las articulaciones parámetros geométricos del eslabón del robot, obsérvese en la figura 14-1.

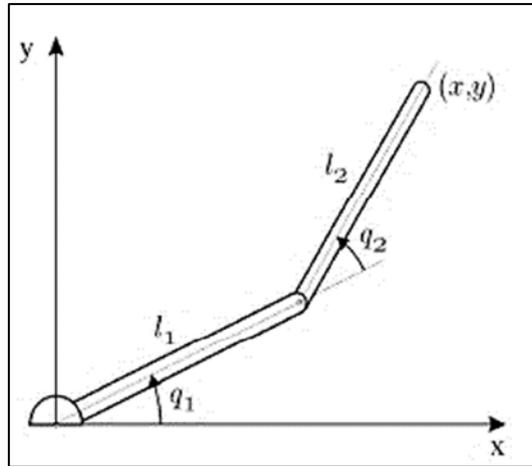


**Figura 14-1.** Cinemática de posición directa

Fuente: (Legarreta and Martínez, 2017)

Es un método no sistemático que utiliza las relaciones geométricas para obtener la posición del robot.

Normalmente se emplea para la obtención de la posición y no de la orientación. Se usan en robots de pocos grados de libertad. A continuación, se muestra la figura 15-1 el cual es un brazo de 3 grados de libertad, a partir del cual se obtienen la ecuación 2-1 y ecuación 3-1



**Figura 15-1.** Brazo robótico

Fuente: (Legarreta and Martínez, 2017)

$$x = l_1 \cos q_1 + l_2 \cos(q_1 + q_2)$$

Ecuación 2-1

$$y = l_1 \sin q_1 + l_2 \sin(q_1 + q_2)$$

Ecuación 3-1

La representación de Denavit-Hartenberg

$$A = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & -s\theta_1 & 0 \\ s\theta_1 & 0 & c\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 4-1

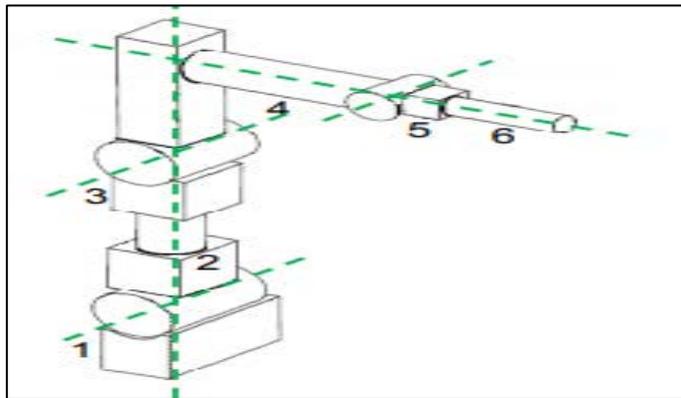
Los parámetros de D-H (ecuación 4-1), radican en un conjunto de reglas para ubicar a los sistemas de referencia de los eslabones del robot. Para aplicar los parámetros de D-H debemos saber que:

- Se puede partir de cualquier posición del robot, pero recomienda ubicar al robot en una posición sencilla para que su análisis sea más rápido
- Los eslabones son enumerados desde el 0 hasta n, donde n es el grado de libertad del robot.
- Se establece  $(X_0, Y_0, Z_0)$  como el sistema de coordenadas, y al eje  $Z_0$  se lo ubica en el eje del movimiento de la articulación 1.

- Cada eslabón posee un sistema de referencia que ira al final del eslabón, en los extremos de las articulaciones que conectan al siguiente eslabón.
- El ángulo del eslabón solo mide tomando de referencia al sistema de referencia del anterior eslabón.

### 1.6.1. *Ejemplo cinemático directa*

Para obtener la tabla de parámetros D-H del robot mostrado en la figura 16-1 posee 6 grados de libertad. siendo todas articulaciones son rotacionales.



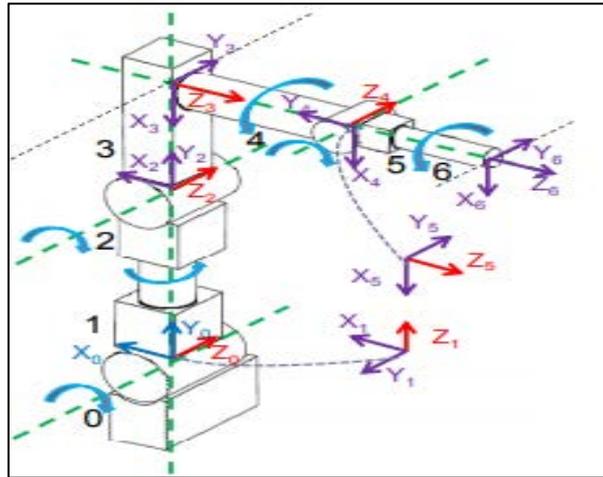
**Figura 16-1.** Modelado cinemático directo robot ABB IRB 6400C.  
Fuente: (Legarreta and Martinez, 2018)

### Asignación de Sistemas de Referencia (D-H)

- D-H1: Los eslabones se enumeran desde 0 hasta n (n igual grados de libertad).
- D-H 2: Las articulaciones se enumeran desde 1 hasta n.
- D-H 3: Determinar si los ejes de cada articulación son de tipo rotativa, en este caso el eje será el eje de giro. Para el caso de articulaciones prismáticas, el eje será en el que se produce el desplazamiento.

### Establecer el sistema de referencia de cada elemento i

En la figura 17-1 se muestra el sistema de referencia.

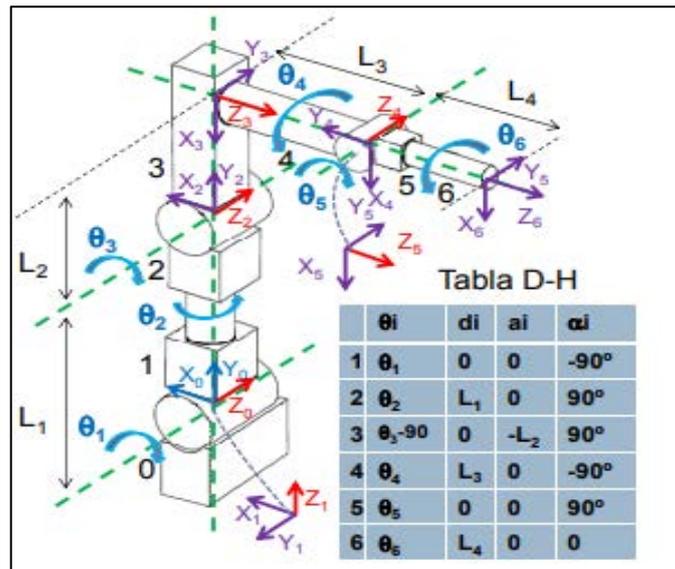


**Figura 17-1.** Sistema de referencias.

Fuente: (Legarreta and Martinez, 2018)

- D-H4: Para  $i$  de 0 a  $n-1$ , se ubica al eje  $Z_i$  sobre el eje de la articulación  $i+1$ .
- D-H5: Situar el origen del sistema base  $S_0$  en cualquier punto del eje  $Z_0$  (eje de la articulación 1). Los ejes  $X_0$  e  $Y_0$  se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con  $Z_0$ .
- D-H6: Para  $i$  de 1 a  $n-1$ , situar el sistema  $S_i$  (solidario 6 al elemento  $i$ ) en la intersección del eje  $Z_i$  con la línea normal común a  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ . Si ambos ejes se cortasen se situaría  $S_i$  en el punto de corte. Si fuesen paralelos se situaría en la articulación  $i+1$ .
- D-H7: Situar  $X_i$  en la línea normal común al eje  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ . Si los ejes se cortan se sitúa perpendicular al plano formado por  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ . Situar  $X_i$  en la línea normal al eje  $Z_{i-1}$ , lo corta y apunta hacia afuera de él.
- D-H 8: Situar  $Y_i$  de modo que forme un sistema dextrógiro con  $X_i$  y  $Z_i$
- D-H9: Situar el sistema  $\{S_n\}$  en el extremo del robot de modo que  $Z_n$  coincida con la dirección de  $Z_{n-1}$  y  $X_n$  sea normal a  $Z_{n-1}$  y  $Z_n$ .

Crear una tabla con los parámetros de Denavit Hartenberg figura (18-1) a partir de sistema de referencia:



**Figura 18-1.** Parámetros D-H.  
Fuente: (Legarreta and Martínez, 2017)

- D-H10: Obtener  $\theta_i$  como el ángulo que hay que girar en torno a  $Z_{i-1}$  para que  $X_{i-1}$  y  $X_i$  queden paralelos.
- D-H11: Obtener  $d_i$  como la distancia medida a lo largo de  $Z_{i-1}$ , que habría que desplazar  $\{S_{i-1}\}$  para que  $X_i$  y  $X_{i-1}$  quedasen en el mismo plano.
- D-H12: Obtener  $a_i$  como la distancia medida a lo largo de  $X_i$  (que ahora coincidiría con  $X_{i-1}$ ) que habría que desplazar el nuevo  $\{S_{i-1}\}$  para que su origen coincidiese con  $\{S_i\}$ .
- D-H13: Obtener  $\alpha_i$  como el ángulo que habría que girar en torno a  $X_i$  (que ahora coincidiría con  $X_{i-1}$ ) para que el nuevo  $\{S_{i-1}\}$  coincidiese totalmente con  $\{S_i\}$ .

1. El ángulo  $\theta_i$  representa la rotación  $Z_{i-1}$  en el eje
2. Vector  $d_i(0,0,d_i)$  representa la distancia  $d_i$  de la traslación en el eje  $Z_{i-1}$
3. Vector  $a_i(a_i,0,0)$  representa la distancia  $a_i$  que la traslación en el eje  $X_i$
4. El ángulo  $\alpha_i$  es la representación de la rotación alrededor en el eje  $x_i$

Donde las transformaciones se refieren al sistema móvil.

Dado que el producto de matrices no es conmutativo, las transformaciones se han de realizar en el orden indicado. De este modo se tiene la ecuación 5-1.

$${}^{i-1}A = Rotz(\theta_i)T(0,0,d_i)T((a_i,0,0)Rotx(\alpha_i))$$

Ecuación 5-1

Realizando el producto entre matrices se obtiene la: Ecuación 6-1.

Donde  $\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i$  son los parámetros D-H del eslabón i. De esta manera identificaremos los parámetros  $\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i$  y obtenendremos las matrices  ${}^{i-1}A$ .

$${}^{i-1}A = \begin{bmatrix} c\theta_i & -cais\theta_i & sais\theta_i & aic\theta_i \\ s\theta_i & caic\theta_i & -saic\theta_i & ai\theta_i \\ 0 & sai & cai & di \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 6-1

**Tabla 1-1.** Tabla de parámetros de D-H

Articulación	$\theta_i$	$a_i$	$d_i$	$\alpha_i$
1	$\theta_1$	0	0	$-90^\circ$
2	$\theta_2$	$l_1$	0	$90^\circ$
3	$\theta_3 - 90$	0	$-l_2$	$90^\circ$
4	$\theta_4$	$l_3$	0	$-90^\circ$
5	$\theta_5$	0	0	$90^\circ$
6	$\theta_6$	$l_4$	0	0

Fuente: (Legarreta & Martínez, 2017)

En primer lugar, se localizan los sistemas de referencia de cada una de las articulaciones del robot (Figura 17-1). Posteriormente, se determinan los parámetros de Denavit-Hartenberg del robot, con los que se construye la Tabla 1-1. Luego de calcular los parámetros de los eslabones, se procede a encontrar la matriz  ${}^{i-1}A$ , haciendo uso de la matriz general de la Ecuación 6-1. Se sustituyen los valores de Articulación 1 obtenidos de la tabla D-H en la matriz general y obtenemos  ${}^0_1A$  (ecuación 7-1). Para  ${}^1_2A$  sustituimos los valores de la Articulación 2 de D-H en la matriz general y obtenemos la Ecuación 8-1. Para  ${}^2_3A$  sustituimos los valores de la Articulación 3 de D-H en la matriz general y obtenemos la Ecuación 9-1. Para  ${}^3_4A$  sustituimos los valores de la Articulación 4 de D-H en la matriz general y obtenemos la Ecuación 10-1. Para  ${}^4_5A$  sustituimos los valores de la Articulación 5 de D-H en la matriz general y obtenemos la Ecuación 11-1. Para  ${}^5_6A$  sustituimos los valores de la Articulación 6 de D-H en la matriz general y obtenemos la Ecuación 12-1.

$${}^0_1A = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & -s\theta_1 & 0 \\ s\theta_1 & 0 & c\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 7-1

$${}^1_2A = \begin{bmatrix} c\theta_2 & 0 & s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & 0 & -c\theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 8-1

$${}^2_3A = \begin{bmatrix} c(\theta_3 - 90) & 0 & s(\theta_3 - 90) & L_2c(\theta_3 - 90) \\ s(\theta_3 - 90) & 0 & -c(\theta_3 - 90) & L_2s(\theta_3 - 90) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 9-1

$${}^3_4A = \begin{bmatrix} c\theta_4 & 0 & -s\theta_4 & 0 \\ s\theta_4 & 0 & c\theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 10-1

$${}^4_5A = \begin{bmatrix} c\theta_5 & 0 & -s\theta_5 & 0 \\ s\theta_5 & 0 & -c\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 11-1

$${}^5_6A = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ s\theta_6 & c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 12-1

Así pues, se puede calcular la matriz T (matriz de transformación) utilizando la Ecuación 13-1, que indica la localización del sistema final con respecto al sistema de referencia de la base del robot.

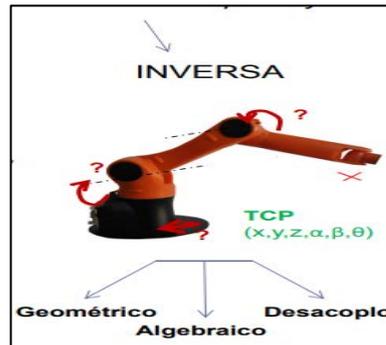
$$T = {}^0_1A {}^1_2A {}^2_3A {}^3_4A {}^4_5A {}^5_6A$$

Ecuación 13-1

## Cinemática inversa del brazo robótico

La cinemática inversa tiene como objetivo que conociendo la posición y orientación de efector final del robot se determine las coordenadas articulares del robot,

Conocida la localización del robot se determina cual debe ser la configuración del robot (articulaciones y parámetros geométricos) figura 19-1.



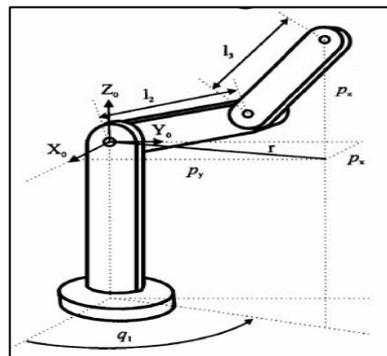
**Figura 19-1.** Cinemática de posición inversa.

Fuente: (Legarreta & Martínez, 2017)

### 1.6.2. Obtención del modelo cinemático inverso

#### Métodos geométricos:

- Se suele utilizar para obtener determinar las variables articulares de robot, (conociendo la orientación de su efector final).
- Utilizan relaciones geométricas y trigonométricas sobre los elementos del robot obsérvese en la figura 20-1.



**Figura 20-1.** Modelo cinemático inverso.

Fuente: (Legarreta & Martínez, 2017)

## **1.7. Robot industrial KUKA KR 10**

El KUKA KR10 R900 Sixx pertenece a una pequeña familia de robots, posee 6 grados de libertad y una carga útil de 10 kg, este pequeño robot es muy flexible, puede realizar tareas ya sea desde el piso, el techo o pared.

### **1.7.1. Características de robot KUKA KR10**

**Alta velocidad:** Tiene una gran velocidad para realizar tareas como Pick and Place, los robots pequeños KUKA permiten realizar tareas en tiempos cortos.

**Precisión:** Gracias a su robustez, son capaces de realizar tareas con precisión y repetitibilidad, demostrando así su calidad de producción.

**Alimentación de energía integrada:** La alimentación de robot KUKA se encuentra en su interior, incluyendo la EtherCAT/EtherNet (cable de bus), tres válvulas de 5/2 vías (aire comprimido), una tubería de aire directa y seis entradas y dos salidas. La integración de la garra es sencilla y rápida, una ventaja decisiva en espacios reducidos.

**Distintas posiciones de montaje:** Se lo puede ubicar en el piso, techo o pared. Tiene frenos ubicados en todos sus ejes, ofrecen resultados de calidad en cualquiera de las posiciones..

**Mantenimiento mínimo:** Los motores y reductores no necesitan cambio de lubricante, disponen de lubricación permanente. De este modo se obtiene una productividad continua.

**Campo de trabajo óptimo:** El KR AGILUS, con un alcance de hasta 1100 mm, es capaz de alcanzar posiciones tanto en las proximidades de la base del robot como en el área por encima de la cabeza, optimizando de este modo el campo de trabajo. Dispone, además, de equipamiento adicional que puede ser instalado en distintos puntos de montaje del brazo, la muñeca, el brazo de oscilación o la columna giratoria (p. ej. válvulas y módulos E/S). Así se obtienen conceptos de célula compactos y económicos.

**Sistema de control KUKA KR C4:** La gama de robots pequeños KUKA se controla, al igual que las gamas de robots más grandes, mediante la misma tecnología de control KUKA. (KUKA, 2015)

### 1.7.2. Componentes del Robot KUKA

El sistema de robot está integrado de los siguientes componentes: manipulador (sistema mecánico e instalaciones eléctricas), gabinete de control, cables de conexión, y otros equipos como se muestra en la figura 21-1.

1. Manipulador
2. Smartpad
3. Cable de conexión, Smartpad
4. Controlador del robot
5. Cable de conexión, cable de datos
6. Conexión de cable, cable del motor



**Figura 21-1.** Robot industrial KUKA.  
Fuente:(Gallo et al., 2015)

Cada eje está equipado con un freno. Todas las unidades del motor y los cables que llevan corriente están protegidas contra la suciedad y la humedad.

El robot consta de los siguientes componentes principales (figura 22-1):

1. Muñeca
2. Brazo
3. Antebrazo
4. Columna giratoria
5. Bastidor
6. Instalaciones eléctricas



**Figura 22-1.** Componentes del robot KUKA  
Fuente: (Gallo et al., 2015)

### Especificaciones del robot KUKA

Ejes: 6

Carga útil: 10.00kg

Alcance máximo: 902.00mm

Repetibilidad:  $\pm 0.0300$ mm

Masa de robot: 52.00kg

Estructura: Articulado

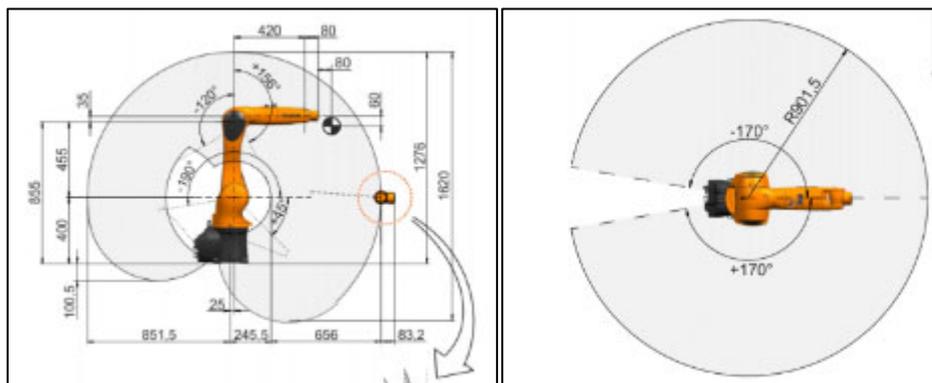
Panel de control KUKA: smartpad

Controlador de robot: KUKA KR C4 compact

Montaje: Piso, invertido, ángulo

Nivel de sonido < 70 dBA: fuera del área de trabajo

En la figura 23-1 se muestra el alcance de robot y las medidas de los eslabones y también el ángulo de giro de las articulaciones.



**Figura 23-1.** Espacio de trabajo del robot KUKA KR10 R900 SIXX  
Fuente: (GmbH, 2014)}

### Datos del eje del robot.

En la tabla 2-1 se muestran los datos de los ejes como el número de ejes y el ángulo de giro

**Tabla 2-1.** Datos de eje de robot KUKA KR 10 R900 SIXX

Ejes	El rango de movimiento, software limitado	Velocidad con carga nominal
1	+/- 170°	300 °/s
2	+45° a -190°	225 °/s
3	+156° a -120°	225 °/s
4	+/-185°	381 °/s
5	+/-120°	311°/s
6	+/-350°	492 °/s

Fuente: (GmbH, 2014)

### **1.7.3. Aplicaciones del robot KUKA KR10**

El robot industrial está diseñado para manipular herramientas y accesorios, procesar y transferir componentes o productos.

Son utilizados en Paletización, Carga y descarga de piezas, Mecanizados, Manipulación de piezas, Medición, Ensamblaje de partes, Aplicador masillas y adhesivos, una vez cumplidas las condiciones ambientales específicas.

### **1.7.4. Programación del robot KUKA KR10**

Con la programación del robot se consigue que los movimientos y procesos se ejecuten y repitan automáticamente. Para ello el control necesita gran cantidad de información:

- Posición actual del robot = posición de la herramienta (Tool) actual en el espacio (Base) actual
- Tipo de movimiento
- Velocidad/aceleración
- Informaciones de señales para condiciones de espera, ramificaciones, de pendientes.

Para programar un robot KUKA existen varios métodos:

#### **Programación OFF-LINE**

La programación Off-Line, consiste en programar al robot sin necesidad de su presencia física. Este tipo de programación se realiza utilizando paquetes o softwares para simular la trayectoria

del robot, en que se utiliza modelo cinemático y dinámico del robot. Debido a que el simulador utiliza el modelo ideal, es necesario corregir pequeños errores que se puedan producir cuando se lleve a la práctica.(Legarreta & Martinez, 2018)

### **Programación On-Line.**

Se refiere al desarrollo del programa empleando el robot, de forma que se puede visualizar en tiempo real las trayectorias deseadas. Este método constituye la forma tradicional de realizar la programación y para su programación el robot debe encontrarse físicamente en el lugar donde se lleva a cabo

la programación. Sin embargo, no únicamente se deberá disponer del robot, sino que, para programar correctamente las trayectorias, también será necesario realizar la programación en el entorno en que posteriormente se realizará la tarea.(Legarreta & Martinez, 2018)

#### **1.7.5. *Software de programación***

##### **KUKA Sim Pro**

Es el software para programar robots de KUKA bajo la modalidad off-line. Una de sus características más destacables, es la posibilidad de conectarse en tiempo real con la aplicación KUKA.Officelite para realizar el control virtual, análisis de ciclos y generación de programas de una estación. (Legarreta & Martinez, 2018)

##### **KUKA.ArcTech**

Mediante los productos de la familia KUKA.ArcTech se puede usar y programar rápidamente aplicaciones para la soldadura con gas de protección y el corte por plasma, figura 24-1.(KUKA, 2020)



**Figura 24-1.** Robot kuka en software ARCTECH  
Fuente: (KUKA, 2020)

## KUKA.HMI

Software de visualización para un manejo sencillo e intuitivo del robot: El KUKA.HMI hace que la comunicación entre el hombre y la máquina sea sencilla y eficiente. (figura 25-1). (KUKA, 2020)



**Figura 25-1.** Robot kuka en software HMI.  
Fuente: (KUKA, 2020)

## KUKA Pick Control

“Es un software especial que coordina y sincroniza el agarre y el embalaje mediante varios robots, así como los alojamientos y las bandejas. Se ocupa de un proceso de producción sin incidencias y energéticamente eficiente mediante las siguientes funciones:” (KUKA, 2020)

- Asistencia de pruebas de almacenamiento predefinidas
- Simulación del flujo de material para el dimensionamiento de la instalación
- Detección de características y objetos
- Conexión de cualquier sistema de procesamiento de imágenes
- Diagnóstico y análisis mediante el registro de estadísticas en directo
- Distribución dinámica de la carga
- Adaptación de los parámetros de tiempo de ejecución. (KUKA, 2020)

## 1.8. Smartpad

Un robot KUKA se controla con un dispositivo de mando manual: el KUKA smartpad (figura 26-1)



**Figura 26-1.** SMARPAD KUKA.  
Fuente: (KUKA, 2020)

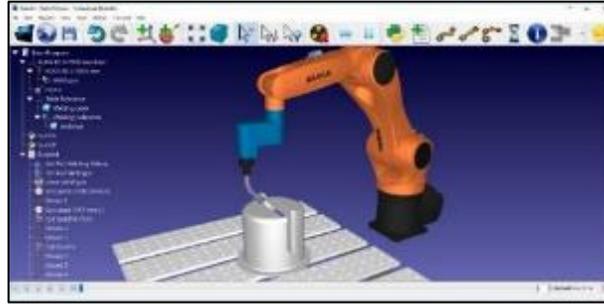
### 1.8.1. Características del KUKA smartpad:

- Pantalla táctil (interfaz de usuario táctil) para operar con la mano o el lápiz que lleva integrado
- Display de gran formato y dimensiones
- Tecla de menú KUKA
- Teclas +/- de uso flexible (p. ej., como teclas de desplazamiento)
- Teclas para la operación de los paquetes tecnológicos
- Teclas para ejecutar el programa (paro/atrás/adelante)
- Tecla para mostrar el teclado
- Conmutador de llave para cambiar el modo de servicio
- Pulsador de parada de emergencia
- Space Mouse
- Se puede desenchufar
- Conexión USB

## 1.9. Otros softwares de programación KUKA

### ROBODK

RoboDK es un simulador enfocado en aplicaciones de robots industriales. Esto significa que los programas de robot pueden ser creados, simulados y generados fuera de línea para un brazo robot específico y un controlador de robot. En otras palabras, RoboDK es un software para programación fuera de línea (Offline Programming) como muestra la figura 27-1. (ROBODK, 2020)



**Figura 27-1.** RoboDK programación  
Fuente: (ROBODK, 2020)

## GAZEBO

En cuanto a la programación del sistema, y al tratarse de un software de código abierto, se dispone de la posibilidad de desarrollar plugins específicos que alteren el comportamiento del robot, de los sensores o del entorno, posibilitando la configuración de cualquier situación. Para ello dispone de un API muy completo de programación en C++. (Ray, 2016)

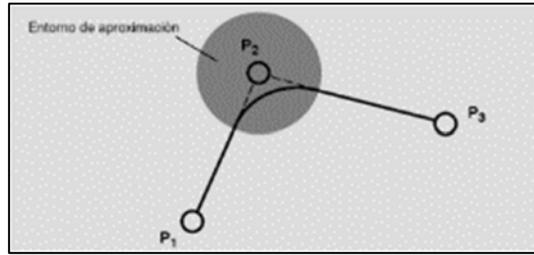
## 3D ROBOT SIMULATION TOOL

Dispone de un lenguaje de programación propio para los robots ERPL (Easy-Rob Program Language) aunque dispone de un API para integrar nuestros propios algoritmos en C para cinemática inversa, planificación e interpolación de movimientos, control dinámico y desarrollo de diálogos de usuario e interfaz de sensores. También dispone de la posibilidad de generar el movimiento del Robot a uno de los siguientes lenguajes de fabricantes de robots .ABB, KUKA, BM, OTC, Fanuc, Comau.(Ray, 2016)

### 1.9.1. Tipos de trayectoria del robot KUKA KR10

#### 1.9.1.1. Movimiento PTP

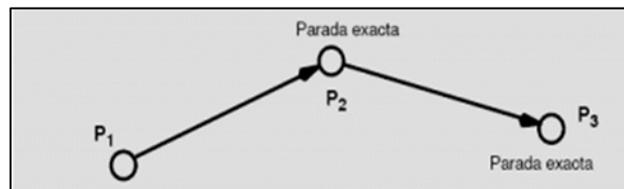
Con este tipo de movimiento no se puede prever el recorrido del robot pues su principal objetivo el de llegar a la meta, y para ello debe mover todos los ejes de robot en mismo instante. El robot se desplaza al punto de destino con posicionamiento exacto. (Aguirre., Campos. and Concha, 2005, p. 9) como se muestra en la figura 28-1



**Figura 28-1.** Movimiento punto a punto.  
**Fuente:** (Barrietos, 2007)

1.9.1.2. *Movimiento Lineal (LIN).*

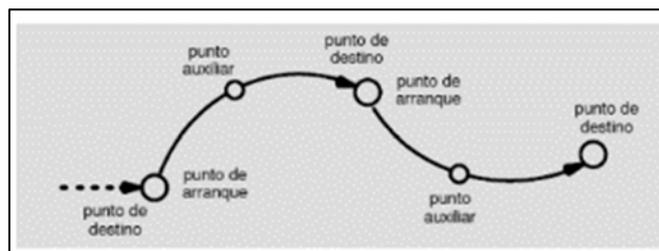
El movimiento es predecible va en línea recta y tiene los mismos tipos de movimiento que el movimiento PTP (Aguirre., Campos. and Concha, 2005, p. 10.). Ver figura 29-1.



**Figura 29-1.** Movimiento lineal.  
**Fuente:** (Aguirre., Campos. and Concha, 2005)

1.9.1.3. *Movimiento Circular*

Este tipo de movimiento tiene los mismos tipos de movimiento que los ya mencionados y que para definir la trayectoria del círculo se necesita programar un punto auxiliar.(Aguirre., Campos. and Concha, 2005, p. 10) como se muestra en la figura 30-1.



**Figura 30-1.** Movimiento circular  
**Fuente:** (Aguirre., Campos. and Concha, 2005)

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Introducción

En el presente capítulo se especifica el desarrollo metodológico para la implementación de un sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR 10 en el laboratorio de proceso industrial de EIECRI. En la propuesta se definen las normas UNE-EN ISO 13857:2008 “Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores”, UNE EN ISO 10218 “Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales.”, ANSI/RIA R15.06-1992 y ISO TC184/SC2 los cuales sirven de aval para la investigación, dentro de ello se trabajará en la elaboración del manual de prácticas con el fin de lograr un óptimo aprendizaje al momento de la manipulación del robot KUKA KR10, el dispositivo propuesto y el manual será de uso exclusivo para la ESPOCH. El presente trabajo de investigación tendrá especificaciones sobre la metodología de investigación científica y tecnológica empleados para cumplir con los objetivos propuestos.

La implementación del sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR 10 se basa fundamentalmente en los requerimientos analizados para el correcto manejo del robot, para ello se aplicará una función de calidad de tal forma que el robot pueda ser manipulado a través de una herramienta de apoyo muy importante como es el manual y guía de prácticas.

El desarrollo del sistema se lo realizará a través de etapas de planificación con fases estructuradas, las cuales se detallan a continuación:

Fase 1: Planificación de la implementación del sistema de seguridad y plataformas de prácticas para el robot KUKA KR10

Fase 2: Diseño de la estructura donde se instalará el robot.

Fase 3: Desarrollo del sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR10.

Fase 4: Evaluación del desempeño del robot al momento de la manipulación.

## **2.2. Metodología.**

Para el desarrollo de la investigación del sistema de seguridad y plataforma de prácticas se utilizó el tipo de investigación exploratoria, histórica, debido a que se analizan los conceptos e información sobre automatización, seguridad industrial, evolución del robot, y Robot industrial KUKA. La investigación histórica estudia los antecedentes de manera objetiva, para lo cual se recolecta, evalúa, verifica y sintetiza la información de forma sistemática

Por otra parte, se aplicará la investigación descriptiva para el análisis del robot KUKA debido a que se planteará lo más relevante de los robots autómatas programables con el fin de acumular y procesar datos. La investigación exploratoria pretende estudiar y conocer lo abordado sobre la seguridad en la industria de la robótica obteniendo una información inicial para continuar con una investigación más rigurosa.

Para esto, se realizará la programación del robot KUKA por medio de RoboDK. Para realizar el manual y guía de prácticas de trayectorias se aplicará la investigación de tipo descriptiva, explicativa del paso ejecutar para desarrollar las trayectorias con el robot KUKA.

Para determinar los requerimientos que deben cumplir el diseño e implementación del sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot KUKA KR10, así como el diseño del modelo cinemático del brazo robótico KUKA KR10 se aplicará la investigación experimental con un enfoque científico.

La validación de la implementación del sistema y plataforma de prácticas se lo llevará a cabo por medio de la metodología analítica y de laboratorio, por medio de escenarios de prueba y error para comprobar que el sistema de seguridad funciona correctamente, en la plataforma de prácticas el robot realizará movimientos repetitivos de las diferentes trayectorias, de las cuales se realizará un manual de prácticas.

## **2.3. Situación actual de seguridad de robot KUKA**

El robot se encuentra fijo a una base metálica y no cuenta con un sistema de seguridad para la protección de personas, tampoco cuenta con una mesa de trabajo para la realización de las prácticas, y además no posee una herramienta con la cual pueda sujetar objetos para moverlos de un lugar a otro, por lo que el robot está limitado solo a ejecutar trayectorias, sin realizar una tarea en específico. En la siguiente figura 31-2 podemos apreciar la base metálica, donde el robot está incrustado en el centro, también se observa la caja de control y el SmartPAD.



**Figura 31-2.** Base e robot KUKA.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

#### **2.4. Requerimientos del sistema.**

Para la implementación del sistema se definieron los siguientes requerimientos:

##### **Protocolo X11**

El protocolo de seguridad X11 es un interfaz de seguridad, donde los sensores irán conectados a la puerta entre sí, consta de dos canales A y B, en cada canal se encuentra un par de pines, para que se conecte dispositivos de paradas de emergencia y controladores.

Al realizar el cableado de la interfaz de seguridad X11 se debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Concepto de sistema

Los sistemas de seguridad son grupos de elementos instalados e intercomunicados entre sí que previenen, detectan o actúan ante intrusiones centrados para la protección y estabilidad de personal y en si salvaguardar procesos industriales.

- Concepto de seguridad

En nuestro caso para la seguridad de la puerta de la estructura se utilizarán los pines 3 y 4 del canal A, que serán conectados respectivamente a un sensor magnético instalados en la estructura, el cual permitirá detectar que la puerta está abierta o cerrada, actuando como un interruptor para el bloqueo y desbloqueo interno, el conector X11 también posee los pines (12 y 13) del Canal B.

### ***Sistema seguridad.***

El protocolo X11 es un sistema de seguridad el cual juntamente con el sensor magnético es aplicado para detectar si la puerta de la estructura donde irá instalado el robot se encuentra abierta o cerrada, si durante la programación y la ejecución del programa algún estudiante o docente abre la puerta de manera errónea, el protocolo X11 actuará rápidamente bloqueando el robot y enviando un mensaje de alerta al SMARTPAD.

Características del sistema de seguridad.

- Base metálica para el robot.
- Estructura de seguridad
- Estabilidad del robot al momento de realizar prácticas.
- Estructura metálica y paredes de vidrio acrílico.
- Accesible a elementos internos y externos.
- Transportable.
- Manual de usuario y guías de práctica.
- Fácil instalación.

### **Operación.**

En la actualidad la EIECRI no dispone de un documento sobre el funcionamiento paso a paso del robot KUKA KR10, a breves rasgos existe la programación básica sobre el robot, por lo que se propone la realización de un manual, guía de prácticas y programación avanzada para realizar prácticas de trayectoria, donde se detalle la operación del robot.

### **2.5. Selección de material.**

En la etapa de selección de materiales para la estructura del sistema de seguridad se tomará en cuenta las especificaciones del robot mencionada en el capítulo anterior.

**Tabla 3-2.** Especificaciones del robot

<b>Ejes</b>	<b>6</b>
Carga útil	10.00kg
Alcance máximo	902.00mm

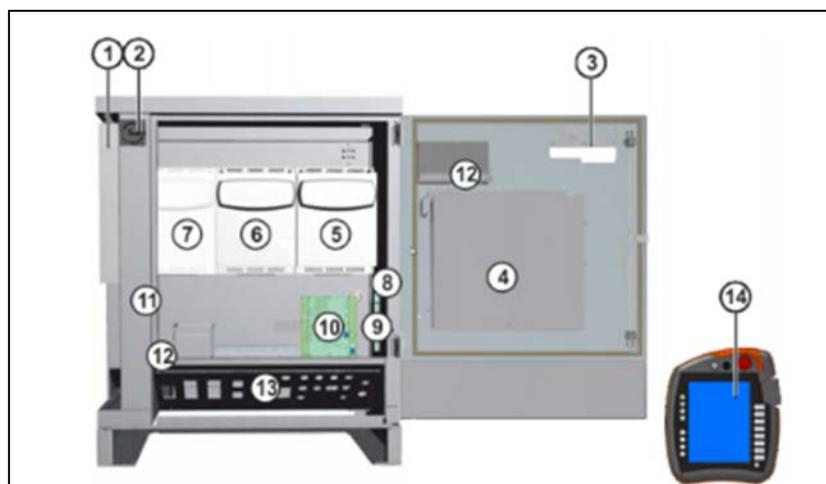
**Fuente:** (RobotWorx, 2020)

Caja de control.

La caja de control de KUKA, es similar al CPU de una computadora, debido a que ahí se ubican los principales elementos, los cuales proveen potencia y controlan servomecanismos del robot.

El controlador consta de las siguientes partes:

- PC de control (KPC):
- Unidad de fuente de alimentación de bajo voltaje
- Fuente de alimentación de la unidad con controlador de unidad: KUKA Power Pack (KPP)
- Controlador de la unidad: KUKA Servo Pack (KSP)
- Enseñar colgante (KUKA smartpad)
- Unidad de control de gabinete (CCU)
- Panel del sistema del controlador (CSP)
- Tarjeta de interfaz de seguridad (SIB)
- Elementos fusibles
- Baterías
- Fans
- Panel de conexión



**Figura 32-2.** Controlador robot KUKA.

Fuente: (RobotWorx, 2020)

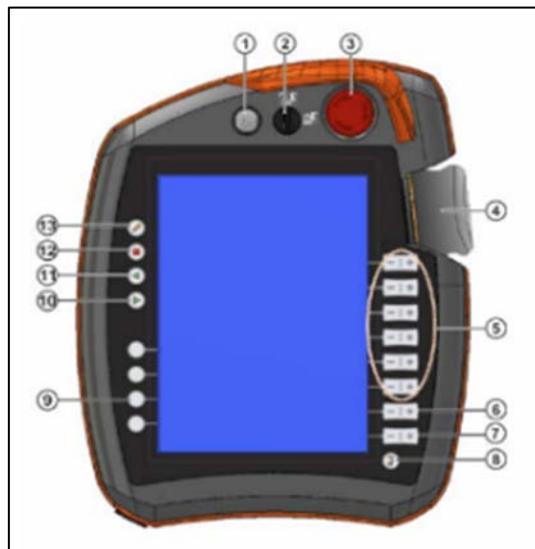
En la Figura 32-2 se encuentran enumeradas la parte del controlador, las cuales son la siguiente:

- Filtro de red
- Interruptor principal
- CSP

- PC de control
- Fuente de alimentación del variador (controlador del variador, opcional)
- Controlador de accionamiento
- controlador de unidad (opcional)
- Filtro de freno
- CCU
- SIB / SIB extendido
- Elemento fusible
- Baterías (posicionamiento según la variante)
- Panel de conexión
- KUKA smartpad.

### Smartpad

El Smartpad es un elemento de KUKA, donde también se puede programar al robot por medio de instrucciones y posición, primero se debe realizar el movimiento para guardarlo. En la siguiente figura 33-2 podemos observar las partes que conforman el Smartpad.



**Figura 33-2.** Smartpad KUKA  
Fuente: (KUKA Roboter GmbH, 2013)

En la Figura 39-2 podemos observar las partes de Smartpad, las cuales se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 4-2.** Partes del Smartpad

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Botón de desenchufar el smartpad
2	Parada de emergencia
4	Space Mouse: Desplazamiento manual del robot
5	Teclado de desplazamiento
6	Teclado para ajustar el override del programa
7	Teclado para ajustar el override manual
8	Teclado de menú principal
9	Teclas de estado: Sirven para ajusta los parámetros de paquetes tecnológicos
10	Tecla de arranque: Se inicia el programa
11	Tecla de arranque hacia atrás: Se inicia el programa en sentido inverso
12	Tecla de stop: Se detiene el programa
13	Tecla de teclado: Muestra el teclado generalmente esto no es necesario debido a smartHMI detecta cuando es necesario introducir datos al teclado y lo abre automáticamente

Fuente: (KUKA Roboter GmbH, 2013)

En la siguiente figura 34-2 podemos observar la vista lateral de Smartpad.



**Figura 34-2.** Vista Lateral Smartpad  
Fuente: (GmbH, 2014)

En la figura 34-2 se puede observar las partes del smartpad en vista lateral, y la siguiente tabla se detallan los nombres.

**Tabla 5-2.** Partes de Smartpad con vista lateral

1	Pulsador Hombre muerto
2	Teclado de arranque
3	Pulsador Hombre muerto
4	Conexión USB
5	Pulsador Hombre muerto
6	Placa característica

Fuente:(GmbH, 2015)

Estructura del sistema de seguridad

La Estructura del sistema de seguridad que constara de: base para el robot, Puerta, plataforma de prácticas, que estarán elaborados de materiales como ángulos metálicos, filamentos, láminas metálicas para brindar un buen soporte al robot.

### ***2.5.1. Calculo dinámico para la construcción de la estructura de seguridad***

#### ***2.5.1.1. Análisis De Esfuerzo de la Jaula del Robot Kuka***

Para el análisis estructural de la jaula se realizó la simulación de esfuerzos utilizando el software SolidWorks.

Se realizó el análisis en la estructura de la jaula para conocer si la misma sufría una deformación importante para saber que parte necesita reforzamiento de la soldadura o cambio de los perfiles estructurales.

#### ***2.5.1.2. Análisis de la Estructura Mediante SOLIDWORKS***

En la figura 35-2 se puede apreciar el modelo CAD de la estructura de la jaula del robot kuka realizado en el software solidworks.



**Figura 35-2.** Modelo CAD jaula del robot KUKA  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

Para realizar la simulación se consideró los siguientes pesos sobre la estructura:

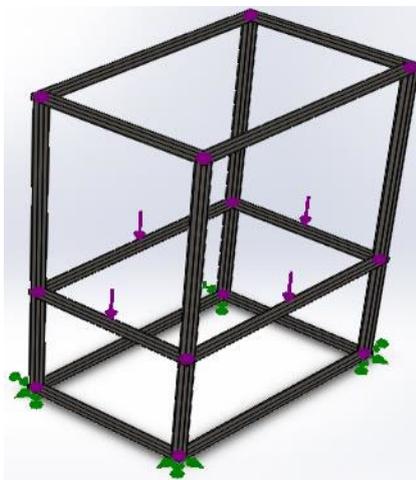
Peso del robot kuka= 52 Kg

Peso propio de la estructura tubo cuadrado 40x3mm ASTM A-36 =80 Kg

Otros= 5 Kg

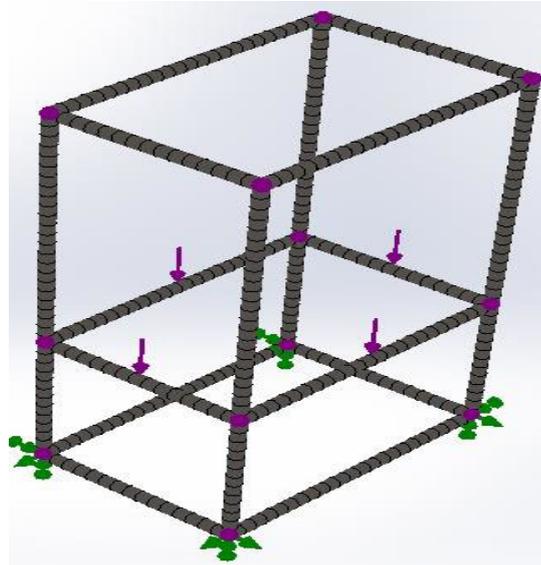
Carga vertical= 137 Kg

Para el análisis se ha colocado como apoyo la base de las ruedas como se puede observar en la figura 36-2.



**Figura 36-2.** Parámetros apoyo y esfuerzo de la estructura.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

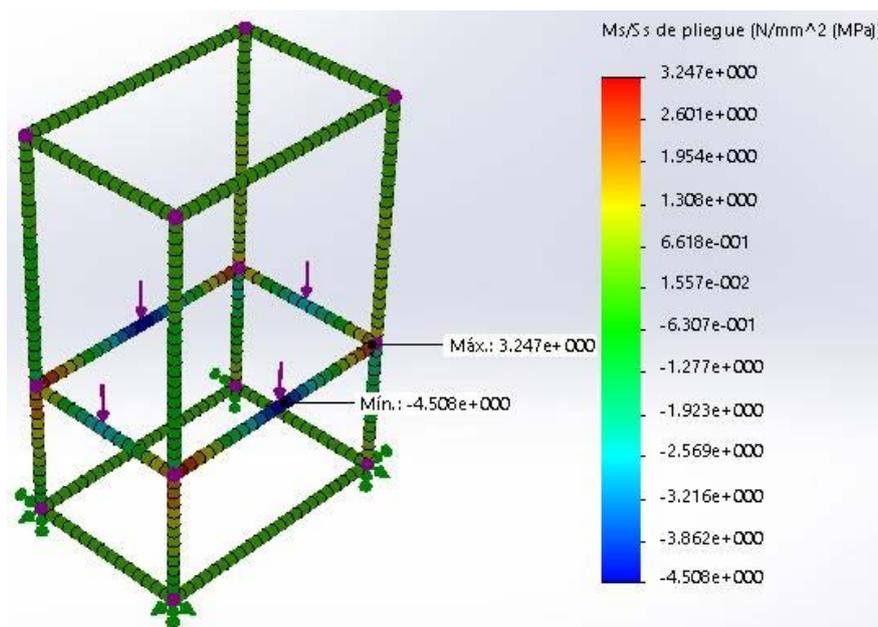
Para el análisis de elementos finitos se realizó un mallado, el número total de nodos es de 390 y el número total de elementos 382, el mallado de la estructura de la jaula se puede observar en la siguiente figura 37-2.



**Figura 37-2.** Mallado de la estructura jaula del robot KUKA.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

Mediante el análisis estructural se ha determinado el máximo esfuerzo que soporta la estructura, la máxima deformación y el coeficiente de seguridad.

En la figura 38-2 se puede observar el máximo esfuerzo que soporta la estructura es de 3.247 Mpa.



**Figura 38-2.** Análisis de esfuerzo de la estructura.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

Para comprobar si la estructura resiste debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

Ecuación 14-2.

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo que soporta la estructura

$[\sigma]$  = Esfuerzo admisible a flexión del acero estructural

$$[\sigma] = 0.66F_Y$$

$F_Y = 250$  Mpa Resistencia a la fluencia del acero estructural ASTM A-36

Remplazando valores en la Ecuación 15-2 obtenemos la Ecuación 16-1 :

$$[\sigma] = 0.66 * 250 \text{ Mpa}$$

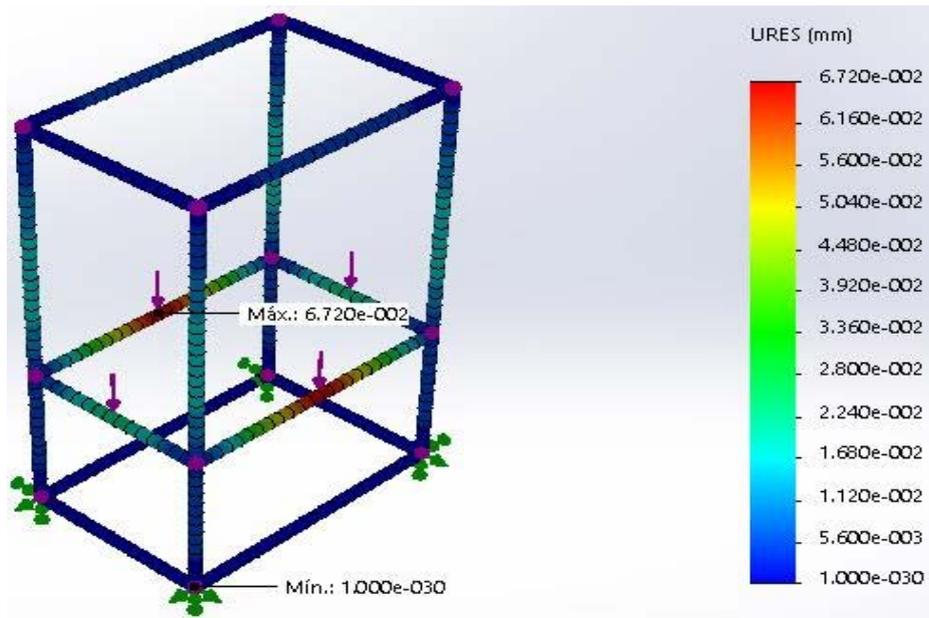
$$[\sigma] = 165 \text{ Mpa}$$

$$3.247 \text{ Mpa} \leq 165 \text{ Mpa}$$

Ecuación 15-2.

El diseño es adecuado por lo tanto se cumple la condición recomendada por (STANLEY. W, CRAWLEY. M. ESTRUCTURAS DE ACERO ANÁLISIS Y DISEÑO)

En la siguiente figura 39-2 se puede observar la máxima deformación que soporta la estructura es de 0.0672 mm.



**Figura 39-2.** Análisis de deformación de la estructura.  
 Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

Para validar el diseño debe cumplir la siguiente condición Ecuación 17-2.

$$Y \leq [Y]$$

Ecuación 16-2.

Y= Deformación que soporta la estructura

[Y]= Deformación admisible

**Deformación admisible** (Dato tomado de IVANOV, M. N. Elementos de Máquinas.)

$[Y] = (0.0002 \dots 0.0003) L$ , donde  $L$  es la luz; distancia entre apoyos.

$$L = 1200 \text{ mm}$$

$$[Y] = 0.0003 * L$$

$$[Y] = 0.0003 * 1200 \text{ mm}$$

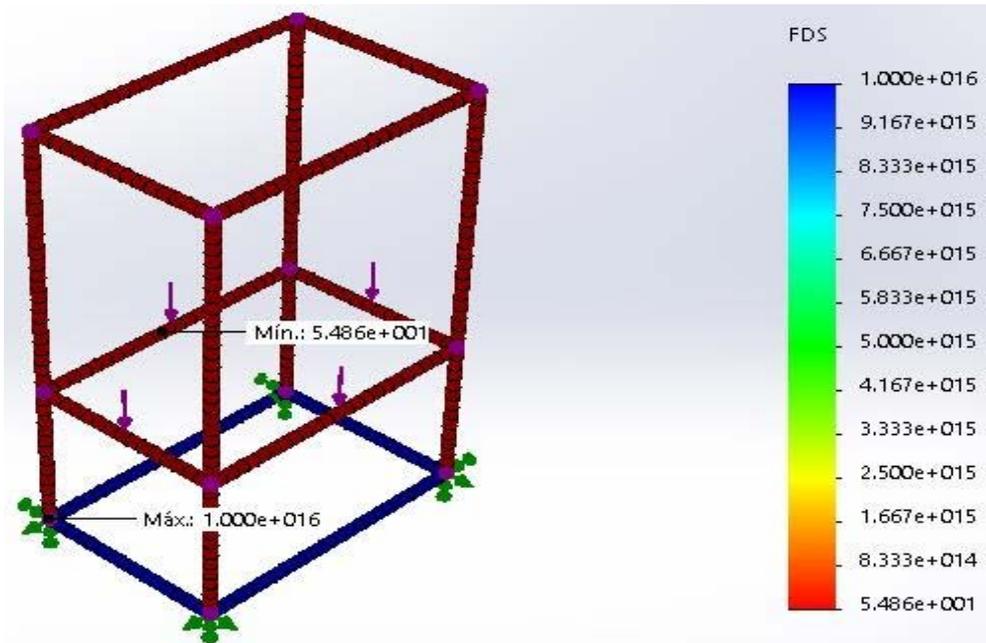
$$[Y] = 0.36 \text{ mm}$$

Reemplazando Ecuación 17-2 obtenemos:

$$0.0672 \text{ mm} \leq 0.36 \text{ mm}$$

Recomienda (STANLEY. W, CRAWLEY. M. ESTRUCTURAS DE ACERO ANÁLISIS Y DISEÑO) que la deformación que soporta la estructura sea menor o igual que la deformación admisible como se observa se cumple la condición.

En la figura 40-2 se puede observar que el coeficiente de seguridad es de  $n=54.86$



**Figura 40-2.** Factor coeficiente de seguridad.<sup>1</sup>  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

$$54.86 > 1$$

Ecuación 17-2.

Como podemos observar en Ecuación 18-2,  $n > 1$  el diseño es adecuado recomendado por (SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica).

### 2.5.2. Cálculo del centro de masa del soporte y del robot.

Se procede a construir un diagrama de cuerpo libre: para el soporte y el robot en donde se incluyen las fuerzas que actúan debido al peso de la carga útil en el alcance máximo y el peso del robot (se supone que actúa al 50% del alcance, como se muestra arriba). Estos se utilizarán para calcular las fuerzas de reacción (par y fuerza vertical) que actúan sobre la placa de montaje que fija el robot al soporte.

Valores conocidos:

$T_M$  = par máximo por articulación de la base del robot [Nm]

$m_u$  = carga útil máxima del robot [kg]

$m_r$  = masa del robot [kg]

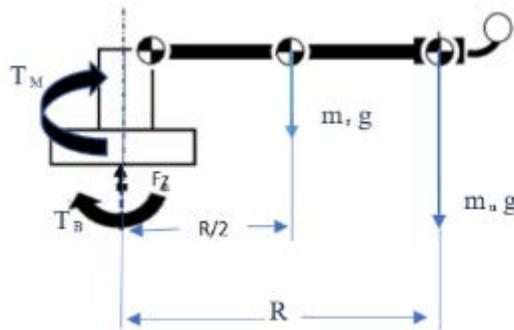
$R$  = alcance del robot [m]

$g$  = gravedad, 9,81 [m / s<sup>2</sup>]

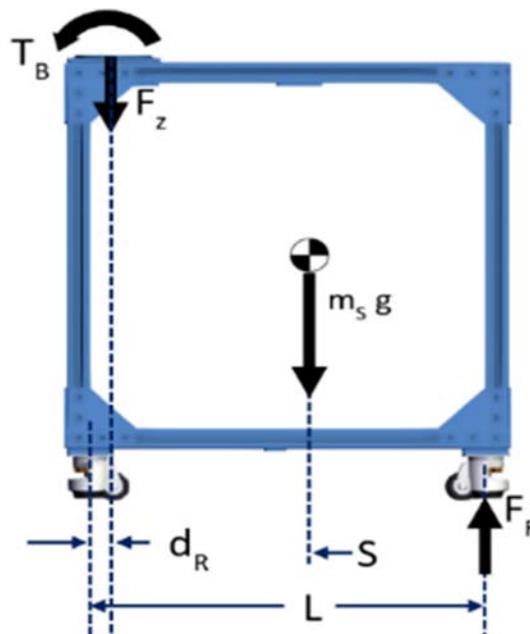
**Valores desconocidos:**

$T_B$  = par de reacción de la placa base del robot [Nm]

$F_z$  = fuerza de reacción de la placa base del robot [N]



**Figura 41-2.** Diagrama de cuerpo libre del robot  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.



**Figura 42-2.** Diagrama de cuerpo libre del soporte.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

Valores conocidos:

$m_s$  = masa del soporte [kg]

$g$  = gravedad, 9,81 [m / s<sup>2</sup>]

$T_B$  = par de reacción de la placa base del robot [Nm]

$F_z$  = fuerza de reacción de la placa base del robot [N]

$S$  = centro de gravedad del soporte posición [m]

$d_R$  = distancia entre la base del robot y el soporte con piso [m]

$L$  = longitud del soporte

Valores desconocidos:

$F_F$  = fuerza de reacción del POC frontal del piso

A continuación, se calculan las fuerzas de reacción en el robot. Se hallan los componentes verticales de las fuerzas de peso del robot mediante la ecuación: 19-2 y se obtiene la ecuación 20-2.

$$\Sigma \text{ Fuerzas verticales} = 0$$

Ecuación 18-2.

$$F_z = m * g + m r * g$$

Ecuación 19-2.

Luego, se suman los momentos que actúan sobre la placa base del robot; estos se deben al par máximo  $T_M$  del robot y las fuerzas de peso del brazo. La ecuación en este caso es ecuación 21-2, y sustituyendo se obtiene la ecuación 22-2.

$$\Sigma \text{ momentos relativos al centro de la base del robot} = 0$$

Ecuación 20-2.

$$T_B = T_M + m u * g * R + m r * g * R / 2$$

Ecuación 21-2.

Finalmente, se suman los momentos que actúan sobre el soporte como contornos en su DCL para determinar las fuerzas de reacción en sus puntos de contacto con el suelo se emplea la ecuación 23-2. En el proyecto, esto se logra sumando la fuerza del peso del soporte, el par debido al peso del robot, el par base máximo del robot y el par debido a la carga útil del robot, de la siguiente manera:

$$\Sigma \text{ momentos relativos al POC trasero} = 0$$

Ecuación 22-2.

A partir de diagrama de cuerpo libre y de la ecuación 19-2 se obtiene la ecuación 24-2.

$$0 = mS * g * S + FZ * dR - TB - FF * L$$

Ecuación 23-2.

Despejando Fuerza de reacción de la ecuación 20-2 se obtiene la ecuación 25-2.

$$FF = (mS * g * S + FZ * dR - TB) / L$$

Ecuación 24-2.

5. Si las fuerzas de reacción (aquí,  $F_F$ ) son mayores que cero, entonces el soporte es estable. Caso contrario, el soporte es inestable.

6. Si es inestable, se deben realizar cambios de diseño. Las opciones incluyen agregar peso al soporte o aumentar el ancho de su base.

### **Cálculos**

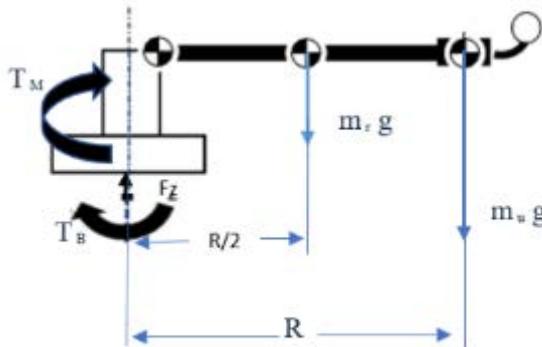
Para mostrar un ejemplo de estos cálculos, hemos seleccionado un diseño oficial de Vention para una estación de trabajo móvil de Universal Robots.

#### Estación de trabajo

Considerando el peor de los casos:

Tabla 6-2. Cálculo de estabilidad

Cálculo de estabilidad



$$T_M = 880 \text{ Nm}$$

$$m_u = 10 \text{ kg}$$

$$m_r = 52 \text{ g}$$

$$R = 0.91 \text{ m}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Sigma \text{ Fuerza vertical} = 0$$

$$F_Z = m_u * g + m_r * g$$

$$F_Z = 10 * 9.81 + 52 * 9.81$$

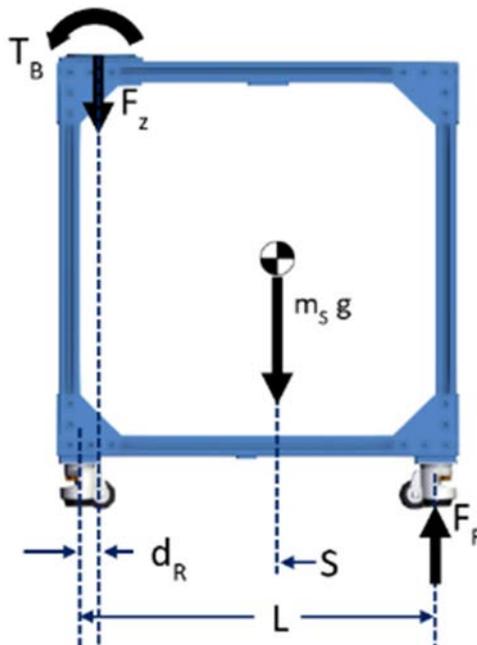
$$F_Z \cong 607.6 \text{ N}$$

$$\Sigma \text{ momentos relativos al centro de la base del robot} = 0$$

$$T_B = T_M + m_{PL} * g * R + m_R * g * R / 2$$

$$T_B = 880 + 10 * 9.81 * 0.91 + 52 * 9.81 * 0.91 / 2$$

$$T_B \cong 1198.37 \text{ Nm}$$



$$m_s = 80 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$T_B = 1198.37386 \text{ Nm}$$

$$F_Z = 607.6 \text{ N}$$

$$S = 0.35 \text{ m}$$

$$d_R = 0.2 \text{ m}$$

$$L = 0.8 \text{ m}$$

$$\Sigma \text{ momentos relativos a la parte posterior POC} = 0$$

$$0 = m_s * g * S + F_Z * d_R - T_B - F_F * L$$

$$F_F = (m_s * g * S + F_Z * d_R - T_B) / L$$

$$F_F = (80 * 9.81 * 0.350 + 607.6 * 0.2 - 1198.37386) / 0.8$$

$$F_F \cong 1456.78 \text{ N}$$

$$F_F \geq 0$$

El soporte es estable

### 2.5.3. *Paredes de la estructura del sistema de seguridad*

Las paredes de la estructura serán cubiertas de material transparente (vidrio) obsérvese en la figura 43-2, con el fin de que el operador pueda observar el robot con seguridad mientras realiza diversas funciones dentro de la estructura cuidando así la integridad física tanto del alumno, docente y personas que se encuentren rodeadas al ámbito del robot.

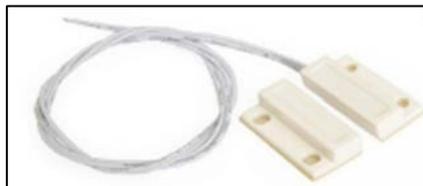


**Figura 43-2.** Láminas de vidrio.

Fuente: <http://palmaglass.com/project/lamina-de-vidrio/>

### 2.5.4. *Sensores Magnéticos*

Los sensores magnéticos funcionan de forma similar a un interruptor y permiten la conmutación electrónica al detectar un campo magnético externo por lo cual el sensor transmitirá su estado (abierto/cerrado) al relé de estado sólido, en este caso el sensor deberá actuar mientras la puerta de la estructura se encuentre cerrada, el robot será encendido y entrará en funcionamiento, a su vez ira conectado a la interfaz X11 que se encuentra ubicada en la caja de control del robot.



**Figura 44-2.** Sensor magnético

Fuente: <https://n9.cl/xdabams>

### 2.5.5. *Relé de estado sólido.*

El relé de estado sólido figura 45-2 es ideal para el uso en aplicaciones de automatización industrial, permite controlar el apagado y encendido del robot de forma automática a través de una señal eléctrica, en la tabla podemos observar las características del relé.



**Figura 45-2.** Relé de estado solido  
**Fuente:** (Amangandi y Mendoza, 2020)

**Características de relé:**

**Tabla 7-2.** Características del relé de estado sólido

Corriente de salida	25 <sup>a</sup>
Tensión de salida	24-480VAC
Tensión de entrada	3-32VDC
Corriente de Control	≤ 12mA
En tensión	≤ 1,5 V
Corriente de fuga fuera del Estado	≤ 2mA

**Realizado por:** (Amangandi y Mendoza, 2020)

**Contactador.**

El contactor permite cerrar o abrir el circuito de modo manual o automático, y soporta altas tensiones, es capaz de accionar cargas elevadas y controlar completamente una máquina desde varios puntos de maniobra o estaciones.

**2.5.6. Esp32-CAM módulo wifi.**

El Esp32-CAM es un microcontrolador, que funciona de forma inalámbrica y sirve para el monitoreo industrial. No cuenta con un puerto USB por lo que se utiliza un conversor serial para cargar los programas, En la siguiente figura podemos apreciar el esquema para la conexión. En la siguiente tabla podemos observar las características de módulo wifi.

Características:

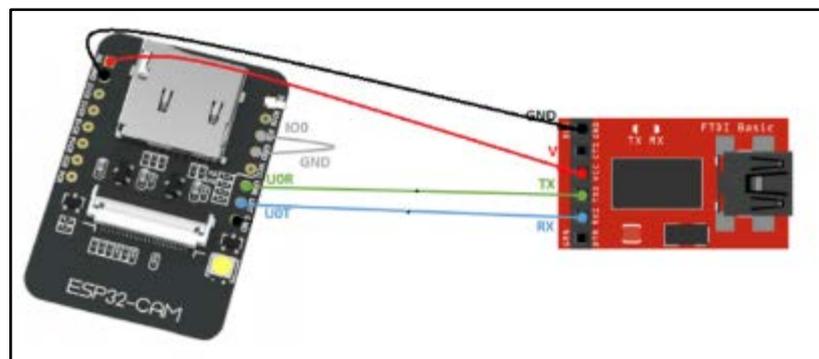
**Tabla 8-2.** Características de ESP32-CAM

Alimentación	5V
SoC	ESP-32S
Memoria flash	2 Mbit
RAM	520 KB interna + 4 MB externa (PSRAM – Pseudostatic RAM)
Antena	PCB incorporada + conector IPEX
Protocolos	Wifi: IEEE 802.11 b/g/n/e/i
Seguridad	WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
Formatos de imagen	JPEG (OV2640), BMP, escala de grises
Tarjeta SD	4GB máx.
Interface	UART/SPI/I2C/PWM
GPIO:	9
Velocidad UART	115200 bps (por omisión)
Dimensiones	40.5mm x 27mm x 4.5mm

**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

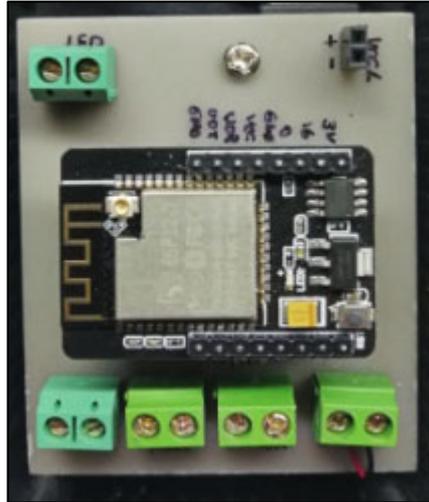
En la tabla mostrada se puede observar que la alimentación es de 5v, además posee una antena para que exista una conexión inalámbrica, el protocolo de wifi y la seguridad para la protección de la conexión a internet.

Su programación se lo realiza en Arduino, para lo cual se debe descargar la tarjeta Arduino esp32 e instalarlo, para cargar el programa se emplea un convertor USB-serial. En la figura 46-2. se muestra las conexiones que debe realizarse. También es necesario realizar una placa de circuito impreso (PCB) para conectar las entradas y salidas a borneras como se muestra en la figura 47-2, para luego conectarlas al relé de estado solido



**Figura 46-2.** Conexión ESP32-CAN con el USB-serial.

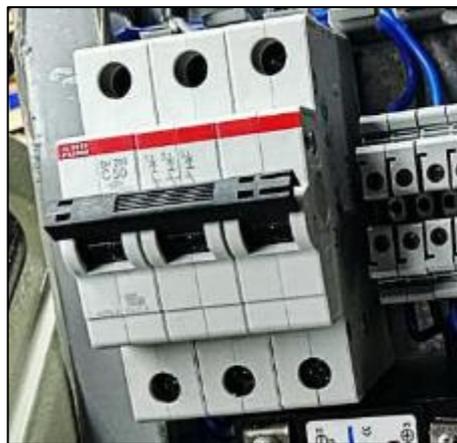
**Fuente:** <https://n9.cl/ondc3>



**Figura 47-2.** Placa de esp32-CAM y borneras.  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

### 2.5.7. Breaker.

El breaker figura 48-2 permite o cierra el paso de la corriente, y evita e interrumpe fallas en caso de corto circuito, y cuando las corrientes son muy altas para no causar daños en el robot o en otro equipo.



**Figura 48-2.** Breaker  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

### 2.5.8. Interfaz X11:

La interfaz o conector X11 hace que se active el bloqueo o desbloqueo del robot programados interiormente, el cual será conectado al sensor magnético que detecta la apertura o el cierre de la puerta, al momento de la manipulación para los modos de servicio T1 y T2 (velocidad).

La selección de modos T1 y T2 ejecutan movimientos manualmente pulsando la tecla de hombre muerto y marcha a la vez simultáneamente, para que los movimientos se ejecuten paso a paso

según la programación realizada, las dos teclas se deben mantener pulsadas hasta que el programa termine su ejecución.

### **Modos de servicio T1.**

En este modo de servicio se puede programar y ejecutar el movimiento a la velocidad configurada en el manual teniendo un máximo de 25% (250mm/s) de la velocidad en automático.

### **Modos de servicio T2:**

En este caso se puede realizar la ejecución del programa de forma manual a velocidades superiores a 250mm/s de la velocidad de automático.

Dentro de ello también se encuentran los modos de servicio AUTO y AUTO EXT (ver figura 49-2), estos no utilizan el modo manual, en el modo de servicio AUTO EXT se lo debe utilizar con el PLC para programar.



**Figura 49-2.** Interfaz X11.

Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

## **2.6. Diseño y Selección de Software y Hardware.**

### **2.6.1. Selección de software para el diseño del sistema de seguridad.**

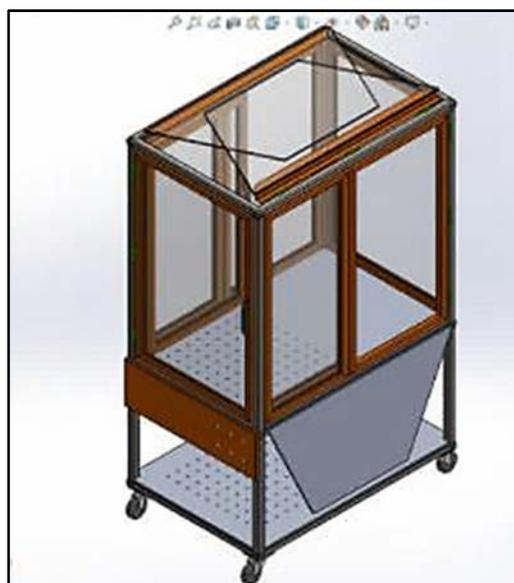
El diseño de la estructura de seguridad (figura 50-2) se lo realizará en el programa de SolidWorks debido que su manejo es más accesible y se cuenta con conocimientos previos sobre el manejo del software. La estructura tiene un diseño desplegable de forma hexagonal tal como se muestra en la figura 50-2, esto permite que el robot tenga un área de trabajo mayor. Si las paredes de la estructura no se despliegan, la estructura adopta una forma rectangular como se puede observar en la figura 51-2 con el objetivo de que ocupe menor espacio en caso de trasladarlo. Las medidas

de la estructura se la pueden apreciar en las siguientes figuras y se tomó de referencia la especificación de robot KUKA KR10 R900 SIXX



**Figura 50-2.** Diseño en SolidWorks de la estructura metálica

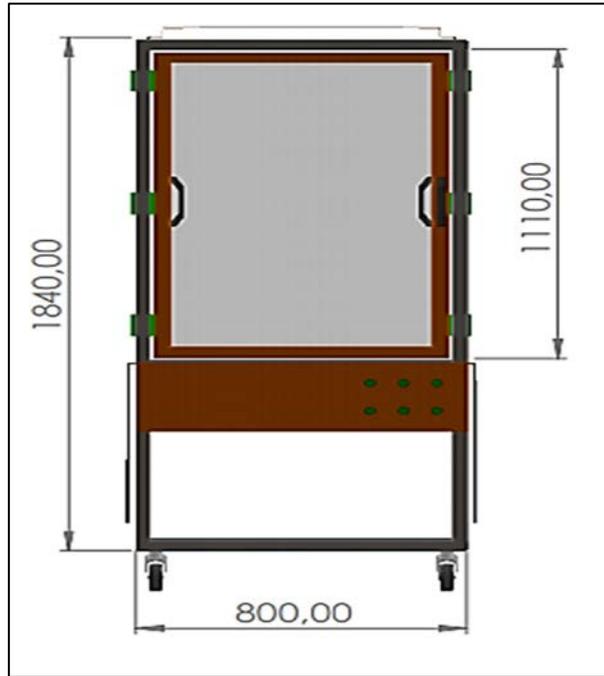
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.



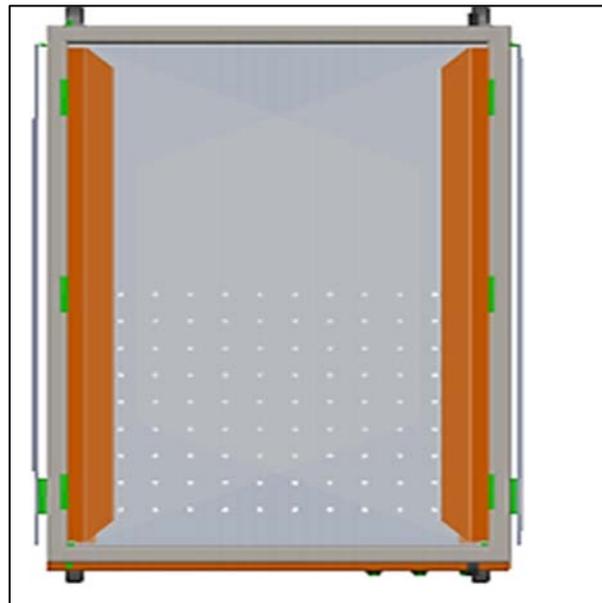
**Figura 51-2.** Estructura de seguridad.

**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

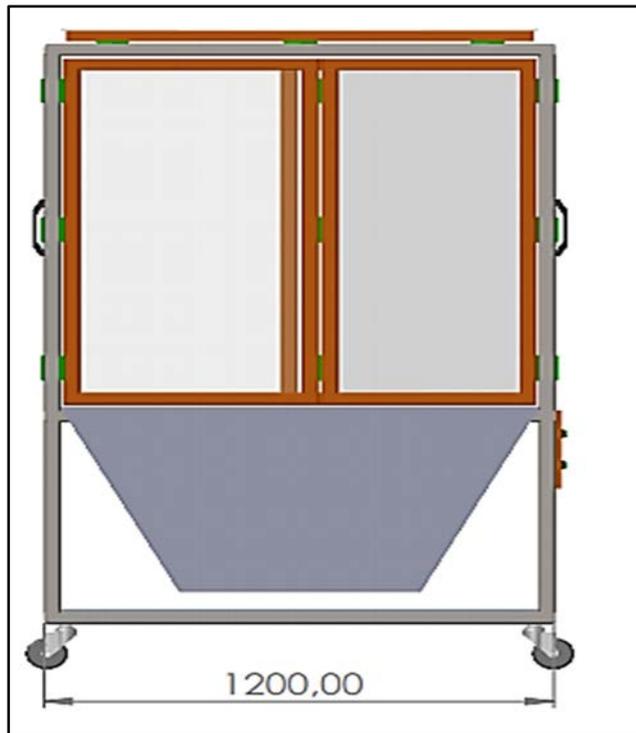
Las medidas de la estructura se la pueden apreciar en las siguientes figuras, para su dimensionamiento se tomó de referencia la especificación de robot KUKA KR10 R900 SIXX



**Figura 52-2.** Medidas del plano frontal  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2021.



**Figura 53-2.** Vista superior de la estructura.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2021.



**Figura 54-2.** Vista lateral de la estructura de seguridad

Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.



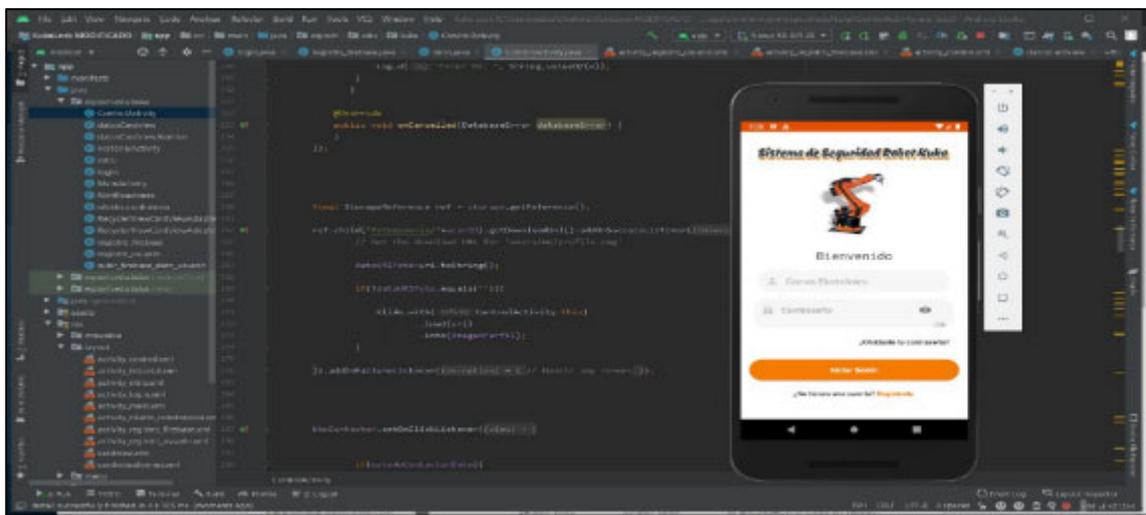
**Figura 55-2.** Vista Isometría de la estructura de seguridad.

Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020

### 2.6.2. *Android Studio.*

Android Studio es un programa en el cual se implementó la aplicación Kuka Lock que permite controlar el acceso de personal autorizado ya sea para alumnos y docentes, debido a que la persona no autorizada pueda sufrir daños al encender el robot, para evitar cualquier tipo de accidente se vio la necesidad de enviar una alerta al móvil del administrador.

Una vez controlado el sistema operativo se podrá observar el historial de usuarios que han utilizado el robot, también tendrá la opción de encender o apagar el robot (on/off), como podemos observar en la figura 56-2, los datos serán almacenado en la base de datos online Firebase.



**Figura 56-2.** Interfaz de aplicación de sistema de seguridad KUKA.

**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

### 2.6.3. *Base de datos.*

Para el almacenamiento de los datos se utilizó Firebase, plataforma online de tipo árbol, en la cual se desglosa el nombre de la base de datos con el fin de sincronizar la aplicación, los nombres de la interfaz se suben desde la aplicación y dentro de Firebase se puede observar si el robot se encuentra activo o inactivo. Además, Se registran las actividades que realizan en la aplicación Kuka Lock, como: fecha y hora en la que se activó y desactivo el robot, el nombre de usuario, y su correo.

### 2.6.4. *Arduino*

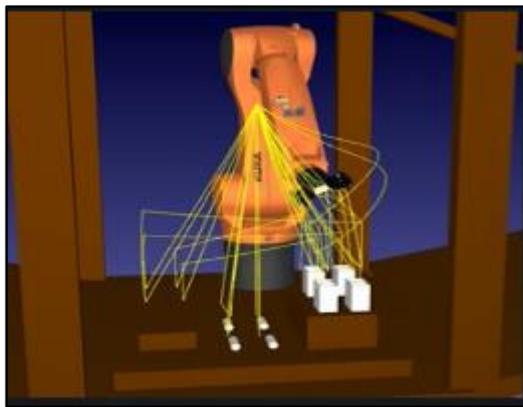
Para la programación del ESP32-CAM se seleccionó el software Arduino, ya que se puede instalar la tarjeta esp32 para realizar y compilar el programa. Para el diseño se utilizó la lógica de

programación High y Low, para on y off que son señales que se enviará desde la aplicación de sistema de seguridad robot KUKA.

### **2.6.5. RoboDK.**

Para la programación del robot se seleccionó el software RoboDK, debido a que se puede realizar simulaciones de estación de trabajo y se puede descargar la librería para el robot KUKA KR 10 R900 SIXX de la página de RoboDK, En este software se puede realizar la programación por medio de tager donde se puede mover el robot a una posición específica y guardar esta instrucción en el tager, esto se lo realiza para cada movimiento. La programación por Python. se la puede transferir a un dispositivo de almacenamiento e introducirlo en la caja de control del robot KUKA para ejecutarlo con el Smartpad.

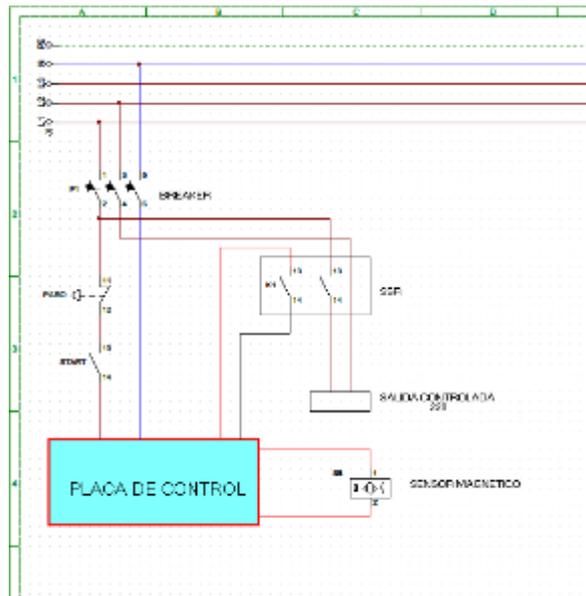
En la siguiente figura 57-2 se realizó una simulación en el programa RoboDK para el pick and place de varios objetos.



**Figura 57-2.** Simulación en RoboDK.  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

### **2.6.6. Cade-Simu.**

Para el diseño del esquema electrónico y simulación del tablero de control se empleó el software gratuito Cade-Simu. En la figura 58-2 se puede observar la conexión de los distintos elementos. La conexión inicia con un Breaker trifásico en el cual van conectadas dos fases y un neutro, una de las fases se conecta al botón de paro y el botón de inicio, las cuales a su vez estarán conectadas con la placa de control que permitirá el ON y OFF del robot, la dos fases restantes se conectan al relé y el sensor magnético que a su vez estarán conectadas a la placa de control para de esta manera obtener la salida controlada desde el relé.



**Figura 58-2.** Estructura del sistema de seguridad.  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

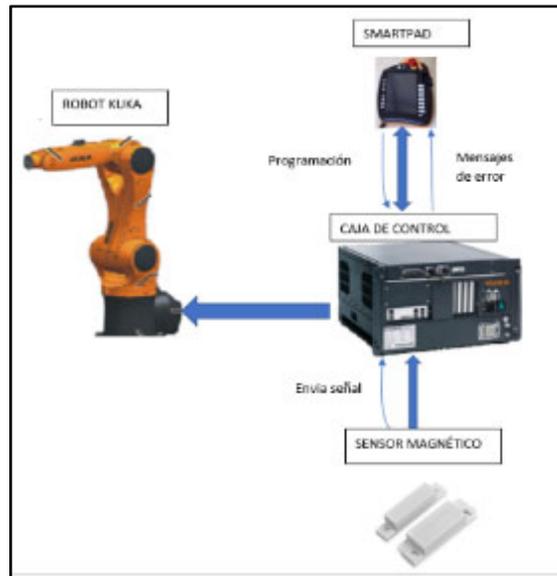
## 2.7. Implementación de la estructura de sistema de seguridad

La implementación de la estructura de seguridad se realizó basándose en el diseño realizado en SolidWorks, y con los materiales descritos anteriormente tal como se muestra en la Figura 59-2.



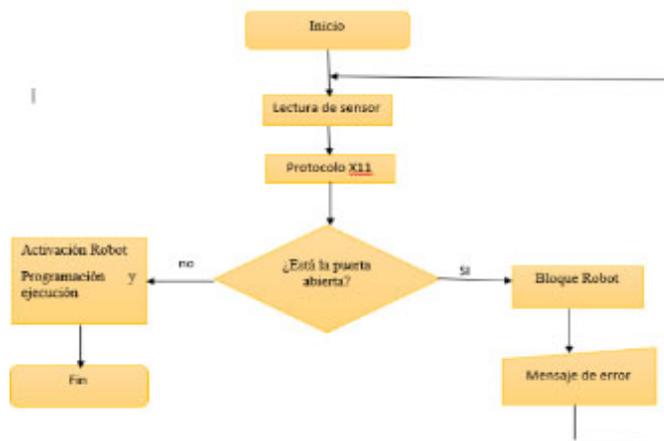
**Figura 59-2.** Estructura de seguridad.  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

En la siguiente figura 60-2 se puede ver el esquema de funcionamiento del sistema de seguridad con el X11.



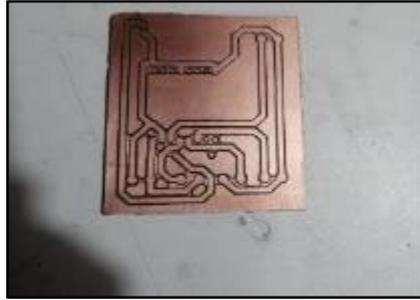
**Figura 60-2.** Esquema de Funcionamiento X11.  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

En el siguiente diagrama podemos observar cómo funciona el sistema de seguridad con la conexión al protocolo X11, empezando desde la lectura de datos del sensor, identificar si la puerta está abierta o cerrada, si está abierta se bloquea el robot, y si está cerrada el robot entra en funcionamiento.



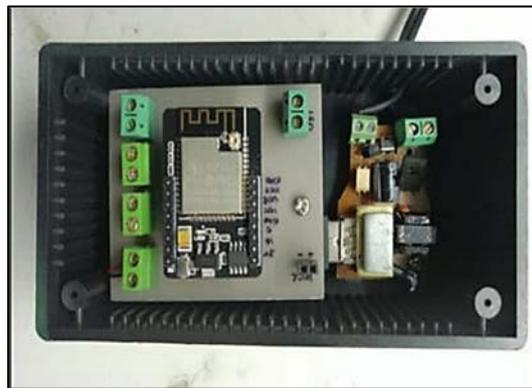
### 2.7.1. Implementación de la placa de control

Previo a la implementación de la placa de control se elaboró el circuito impreso para proceder a soldar el esp32-can y las borneras, también se conectaron tres luces led que indican, el estado de encendido y de la conexión a wifi.

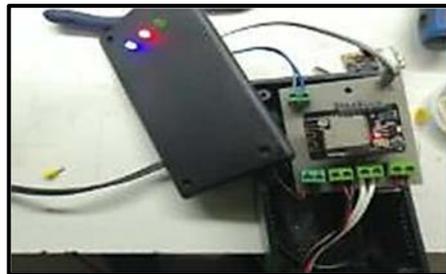


**Figura 61-2.** Placa de circuito impreso de la placa de control.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

A continuación, se procedió a armar la placa de control conjuntamente con su fuente de alimentación de 5v.



**Figura 62-2.** Placa de control.  
Fuente: (Amangandi y Mendoza, 2020)



**Figura 63-2.** Indicadores led.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

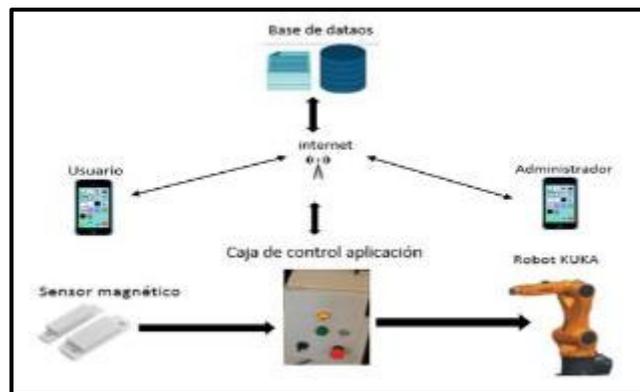
### ***2.7.2. Tablero de Control.***

Para el armado del tablero de control, se procedió a realizar las conexiones correspondientes de los diferentes elementos como el breaker, relé, contactor, botoneras, luces indicadoras y la placa de control guiándonos en el diseño realizado en Cade-Simu,



**Figura 64-2.** Tablero de control.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2020.

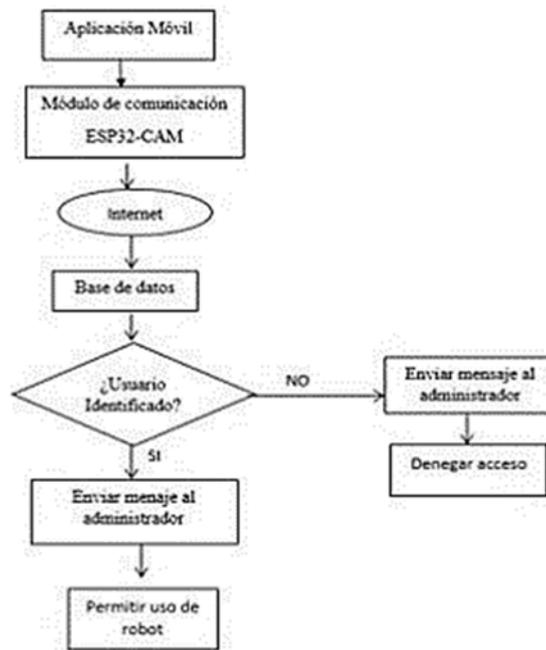
En la siguiente Figura 65-2. se muestra el esquema de funcionamiento de sistema de seguridad con la aplicación Kuka Lock, el usuario enviara una señal por medio de internet a la caja de control, y sus datos serán comprobados y almacenados en la base de datos, y a su vez el administrador recibirá los datos



**Figura 65-2.** Esquema de funcionamiento aplicación.  
Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

El sistema de seguridad funciona al enviarse una señal por medio de la aplicación, la aplicación funcionará por medio de wifi, y su comunicación será por medio del módulo de comunicación wifi que estará instalada en el tablero de control, la señal será enviada y si consta como usuario en la base de datos se admitirá el uso de robot caso contrario los permisos se le serán denegados, y a

### Diagrama de flujo de la aplicación del sistema de seguridad.



### 2.7.3. Manual de usuario y guías de práctica.

El manual y guías de prácticas son elaborados con el objetivo de reforzar el aprendizaje de los estudiantes y que desarrollen las habilidades para el manejo del robot, el manual y guías de prácticas describe paso a paso el proceso que debe seguir el estudiante para la ejecución de proyectos con el robot KUKA. El manual y la guía se basa en la teoría y métodos de aprendizaje que constarán de un objetivo, fundamentación teórica, y desarrollo de la práctica.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

#### 3.1. Implementación Y Validación Del Sistema De Seguridad

En el presente capítulo, se pueden observar los resultados obtenidos mediante pruebas, después de implementar el sistema de seguridad para el robot KUKA; además, para la elaboración del manual se realizará la evaluación de las prácticas con el fin de obtener resultados que evidencien seguridad, exactitud y confiabilidad para concretar los objetivos planteados para el trabajo investigativo.

##### 3.1.1. Pruebas del sistema de seguridad

###### 3.1.1.1. Prueba de la interfaz x11.

Con la finalidad de comprobar que el protocolo x11 funcione correctamente y la conexión del sensor sea la adecuada se realizaron las pruebas obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 9-3.** Conexión Interfaz x11

Interfaz x11	Datos
Voltaje	24V
Pines de conexión al sensor	(3, 4)

Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

**Tabla 10-3.** Resultado de pruebas del KUKA con interfaz x11 y sensor magnético inactivos

Puerta	(X11 y Sensor Magnético)
	Inactivo
Abierta	Robot Activo
Cerrada	Robot Activo

Realizado por: Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

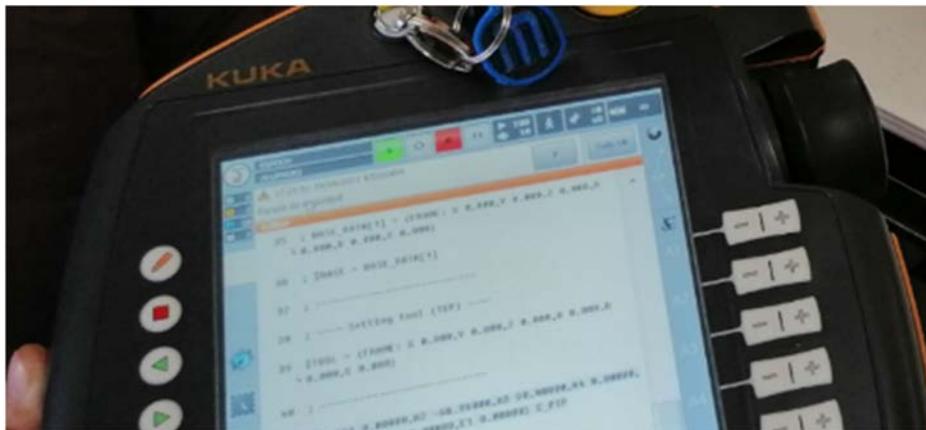
Se puede observar que al no utilizar el protocolo X11 y el sensor magnético, el robot estará en funcionamiento cuando la puerta de estructura de seguridad este abierta o cerrada. Sin embargo, si la puerta se abre el robot podría ocasionar daños a la integridad tanto del humano como al equipo.

**Tabla 11-3.** Resultado de pruebas del KUKA con interfaz X11 y sensor magnético activos

Puerta	X11 y Sensor Magnético Activo
Abierta	Robot bloqueado
Cerrada	Robot activo

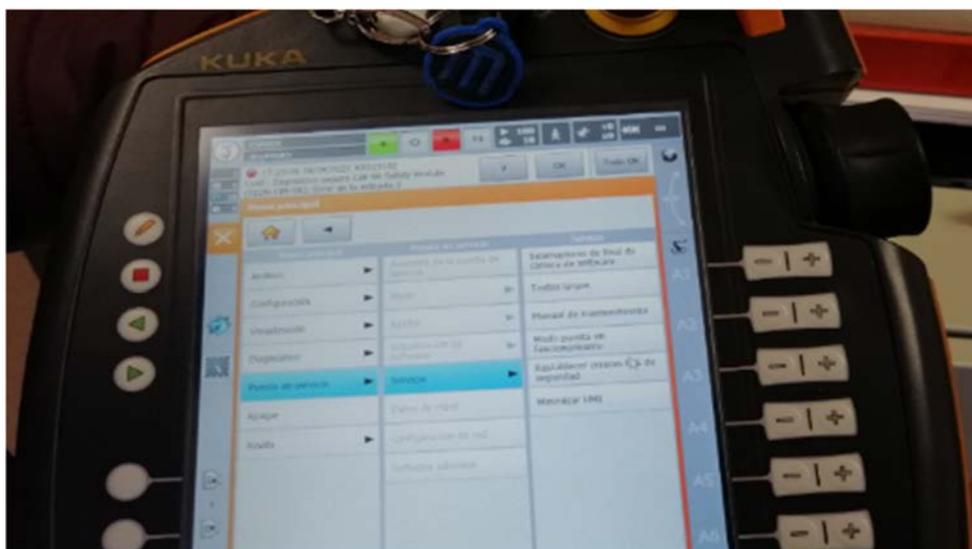
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

Al realizar las pruebas pertinentes del sensor con el protocolo X11, se muestra que el robot se activa siempre que la puerta este cerrada, y se bloqueará cuando detecte que la puerta esté abierta y automáticamente llegará una alerta de seguridad al smartpad, y los accionamientos del robot se desactivan activándose la seguridad interna del robot tal como se puede observar en la figura 66-3.



**Figura 66-3.** Mensaje de error en la parada de seguridad  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

Cuando la puerta sea abierta por error o de forma intencional durante la programación o ejecución del robot, se enviará un mensaje de parada de seguridad al smartpad y el robot se bloqueará simultáneamente, obsérvese en la figura 67-3.



**Figura 67-3.** Restablecer errores.  
**Realizado por:** (Amangandi y Mendoza, 2021)

Una vez que la puerta haya sido cerrada el robot reestablecerá su función mediante el control del smartpad ver figura 64-3. Una vez reestablecido el robot desempeñará su función desde donde se interrumpió la conexión gracias a la interfaz X11, garantizando la eficiencia en la ejecución de la tarea encomendada y la seguridad del participante y la herramienta.

### 3.1.1.2. Prueba de la estructura mecánica

Luego de realizar las pruebas pertinentes, se comprobó que los elementos que conforman la estructura mecánica del sistema funcionan de forma correcta.

Se realizaron las pruebas de seguridad de la interfaz de seguridad X11, en el modo de servicio T1 y se observaron los siguientes resultados.

**Tabla 12-3.** Resultados del sistema de seguridad en modo de servicio T1

<b>Estructura Mecánica</b>	<b>Programación</b>	<b>Ejecución del programa</b>
Apertura de puerta	Robot bloqueado	Robot Bloqueado
Cierre de puerta	Robot activo	Robot activo

**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

Como se puede observar en la tabla, el robot se mantiene activo en modo T1 siempre que la puerta se encuentra cerrada.

**Tabla 13-3.** Resultados del sistema de seguridad en modo de servicio T2

<b>Estructura Mecánica</b>	<b>Ejecución del programa</b>
Apertura de puerta	Robot Bloqueado
Cierre de puerta	Robot activo

**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

Como se puede observar en la tabla, el robot se mantiene activo en modo T2 siempre que la puerta permanezca cerrada.

En caso de abrir la puerta de la cabina remitirá un mensaje de error al Smartpad, y simultáneamente el robot se bloqueará debido a la interfaz X11 y la conexión del sensor, esto sucede de la misma forma durante la ejecución o en la programación en T1 y T2. Para reanudar las actividades se deberá cerrar la puerta y se restablecerá los errores de seguridad en el Smartpad continuando la ejecución de la tarea programada.

#### 3.1.1.3. Prueba de aplicación móvil.

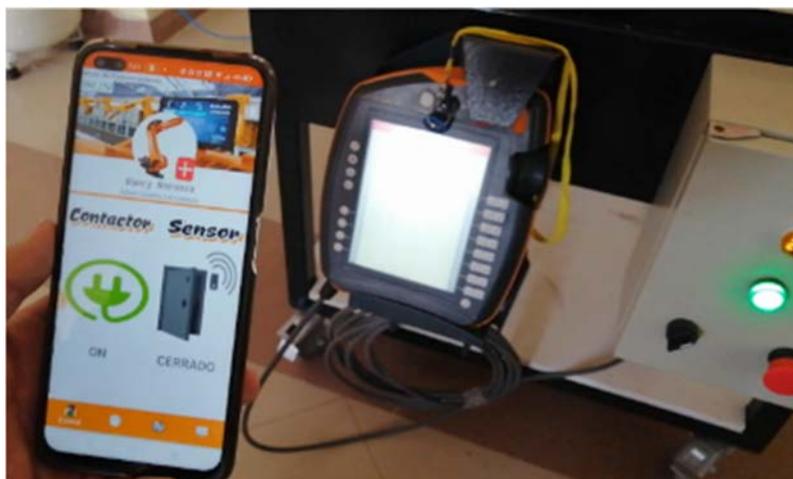
La aplicación móvil fue implementada para que el personal encargado del robot pueda llevar a cabo un registro de acceso al robot, en donde contendrá hora, fecha y el nombre de las personas que accedan en él.

**Tabla 14-3.** Prueba de encendido y apagado de robot por medio de aplicación móvil

<b>Aplicación móvil</b>	<b>Alerta</b>	<b>Luz</b>
ON	Robot se prende	Se enciende la luz verde
OFF	Robot se apaga	Se apaga la luz verde

**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

Luego de realizar las pruebas se comprobó que la aplicación funciona correctamente y cumple con su finalidad logrando encender y apagar el robot desde la aplicación móvil y se puede evidenciar el cambio de color de las luces en la caja de control. Ver figura 68-3 y figura 69-3.



**Figura 68-3.** Encendido de robot KUKA por medio de aplicación.  
**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.



**Figura 69-1.** Apagado del robot KUKA por medio de la aplicación  
**Fuente:** (Amangandi y Mendoza, 2021)

**Tabla 15-3.** Prueba de mensaje de alerta de robot por medio de aplicación móvil

Puerta	APLICACIÓN MÓVIL	CUMPLE
Abierta	Envía Mensaje si la jaula está abierta	SI
Cerrada	Envía mensaje si la jaula está cerrada	SI

**Realizado por:** Amangandi M.; Mendoza N. 2021.

Luego de realizar las pruebas se comprobó que la aplicación funciona correctamente y los mensajes de alerta son enviados al smartphone de esta manera al asegurarse que la puerta está correctamente cerrada el robot podrá desempeñar su función.

#### 3.1.1.4. Prueba de control de la pinza del robot KUKA

Para el funcionamiento de la pinza se realizó la conexión de aire del compresor al robot, habilitando la válvula abierta asignada al puerto 21 y la cerrada al puerto 22 directamente desde el smartpad

**Tabla 16-3.** Prueba de pinza

Pinza	Válvula de robot	Cumple
Abierta	21	Si
Cerrada	212	Si

**Realizado por:** Amangandi, M.; Mendoza, N. 2021

#### 3.1.1.5. Prueba de trayectorias:

Una vez comprobado el control de la pinza introducida en el robot se procedió a realizar pruebas de trayectorias de diferentes movimientos ya existentes en el robot KUKA (PTP, LINE, CIRC, SPTP, SCIRC), además se realizó combinaciones de estos movimientos arrojando como resultados las trayectorias de PALETIZADO y PICK AND PLACE resueltos por medio de Smartpad y como producto final se elaboró un manual y guía de prácticas con sus respectivos procesos.

## CAPITULO IV

### 4. Análisis de costos.

En la Tabla 1-4 podemos observar el costo de los materiales y herramientas utilizados para llevar a cabo la propuesta.

**Tabla 17-4:** Tabla de costos

TOTAL	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL(USD)
	Estructura de seguridad (barras de aluminio, ruedas giratorias, pintura, viagras, soldadura, planchas de madera, planchas de vidrio)	1600	1600
1	Router	30	30
1	Contador de 9 a 220V	16	16
1	Fuente de 110V a 12V	10	10
1	Caja de control de 30x30	32	32
1	Pulsador de paro de emergencia	3,5	3,5
1	Selector de dos posiciones	2.5	2.5
1	Breaker 6 <sup>a</sup>	7	7
2	Sensor Magnético	16	32
1	Indicador de Voltaje	2	2
1	Luces de indicadores	2	2

1	Relé de estado sólido de 25 <sup>a</sup>	15	15
	Materiales electrónicos	45	45
1	Canaletas	4	4
1	Rielin	8	8
1	Convertidor DC-DC 5V a 3v	3	3
1	Módulo wifi ESp32-CAM	18	18
1	Enchufe	1	1
	Materiales de conexión de aire	25	25
	Otros		150
<b>TOTAL</b>			<b>2005.9</b>

**Realizado por:** Amangandi, M.; Mendoza, N. 2021

Este sistema permite salvaguardar la seguridad de las personas que se encuentren alrededor del robot y la realización de prácticas de forma eficiente. Al ser comparado con otros sistemas seguridad el sistema contiene un bajo costo de implementación, ya que los sistemas de seguridad existentes ocupan más espacio, no son móviles, y están diseñados para industrias.

## CONCLUSIONES

La implementación del sistema de seguridad para el robot KUKA KR 10 mediante una plataforma octogonal con sensores magnéticos, permitió a los usuarios disponer de una estación de trabajo eficaz, segura y portable en relación con el entorno de trabajo previo al proyecto, en donde los estudiantes se encontraban susceptibles a accidentes en el manejo del robot.

El modelo móvil y desplegable de la estructura de seguridad permite a los estudiantes programar al robot de tal forma que pueda realizar movimientos más amplios y con mayor alcance y en caso de que el robot requiera ser trasladado la estructura puede adoptar una forma rectangular, ocupando menor espacio, lo cual mejora su versatilidad al facilitar su almacenamiento y desplazamiento.

Debido a la capacidad de la placa de control empleada, la detección de las señales por parte del sensor magnético y el procesamiento de los datos que se ejecutan, el robot no realiza ninguna orden ni movimiento si registra que las puertas de la estructura se mantienen abiertas, lo cual garantiza la protección al participante.

El uso de una aplicación facilitó el manejo del sistema de seguridad pues mediante la interfaz desarrollada, se puede encender o apagar el robot, controlar el acceso de personal autorizado ya sea para alumnos y docentes enviando una alerta al dispositivo del administrador y además se puede mantener un registro de usuarios que han utilizado el robot.

Las pruebas realizadas tanto al sistema de seguridad como a la ejecución de trayectorias (PTP, LIN, CIRC, SPTP, SLIN, SCIRC) y la combinación de movimientos permitieron elaborar de manera acertada el manual y guía de prácticas garantizando que los estudiantes desarrollen sus habilidades y competencias durante el uso del robot KUKA KR 10 en el laboratorio de proceso industrial de la EIECRI.

## **RECOMENDACIONES.**

Los usuarios del sistema de seguridad deberán revisar previamente el manual y guía de prácticas para evitar inconvenientes al emplear la plataforma y además impedir accidentes y daños al equipo.

Los usuarios deben evitar realizar movimientos de 360° con el robot debido a las paredes de la estructura de seguridad ya que el brazo robótico puede producir daños en los paneles laterales o en los elementos electrónicos del sistema.

Para la placa de control emplear únicamente la fuente de alimentación acoplada al sistema, pues el uso de otros tipos de alimentación puede producir daños en la tarjeta electrónica y en los módulos empleados.

Al momento de movilizar la estructura de seguridad, evitar trasladarla en su forma desplegada puesto que por sus dimensiones puede ocasionar accidentes, es por esta razón que antes de movilizar la plataforma primero se requiere acoplar los paneles de forma rectangular.

Al usar de la aplicación tanto el usuario como el administrador deberán tener conexión wifi, también se deberá tener en cuenta que la velocidad de envío y respuesta dependerá netamente del tráfico de internet.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIRRE, P., CAMPOS, H., & CONCHA, D.** “Trayectorias” “Manual para usuarios inexpertos” [en línea], 2005, (Chile). vol. 1, pp. 9-10 [consulta 20 de junio 2020]. Disponible en: <https://www.infoplcn.net/descargas/73-kuka/2721-manual-inexpertos-programacion-robot-kuka>

**ARRIBAS, F.** “Normas Técnicas en seguridad robótica” “UNEN Normalización española” [en línea], 2017, (España), vol. 1, pp. 1-30 [consulta 19 de mayo 2020]. Disponible en: [https://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/material-formativo/relatorios/2017\\_05\\_CO\\_Industria\\_4.0\\_Arribas.pdf](https://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/material-formativo/relatorios/2017_05_CO_Industria_4.0_Arribas.pdf)

**BARRIENTOS, A.** *Fundamentos de robotica*. [en línea] Segunda Edición. España : McGraw-Hill/Interamericana de España, 2007, pp. 94-110. [consultado 02 de junio 2020]. Disponible en: [https://www.academia.edu/10479201/Fundamentos\\_de\\_robotica](https://www.academia.edu/10479201/Fundamentos_de_robotica)

**BOVEA EDO, M.** *Manual de seguridad e higiene industrial para la formación en ingeniería* [en línea]. Tercera edición. España: Publicacions de la Universitat Jaume I, 2011, p. 22. [consultado 22 de mayo 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/334983346/Manual-de-Seguridad-e-Higiene-Industrial>

**BRAMAN, R.** “Seguridad robótica”. *TUVRheinland*, [en línea], n° 1, (2018), (Alemania), pp 1-5. [consultado 03 junio 2020]. Disponible en: [https://www.tuv.com/media/mexico/descargas\\_pdf/TUV-Rheinland-Collaborative-Robotics-Whitepaper.pdf](https://www.tuv.com/media/mexico/descargas_pdf/TUV-Rheinland-Collaborative-Robotics-Whitepaper.pdf)

**CHAMOCHUMBI, C.** *Seguridad e higiene industrial*. [en línea]. Perú: Lima: Fondo Editorial de la UIGV, 2014. pp. 185-186 [consultado 22 de mayo 2020]. Disponible en: [http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/599/Seguridad\\_e\\_Higiene\\_Industrial-1-79.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/599/Seguridad_e_Higiene_Industrial-1-79.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**CÓRDOBA, E.** “Manufactura y automatización”. *Revista ingeniería e investigación*. [en línea], 2006. (Colombia) vol. 26, n° 3, pp 120-128. [consultado 03 junio 2020]. ISSN: 0120-5609. Disponible en: <http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/14761>

**GALLO, C., Abraham, J., José, M., & SÁNCHEZ, P.** “Robot industrial KUKA”, *Control de Robots*. [en línea]. 2015, (Mexico) vol. 1, pp 10-15. [consultado 22 de junio 2020]. Disponible en: <https://www.academia.edu/23104978/Kuka>

**GARCÍA, E.** *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*. [en línea], (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2020. [consultado 06 de junio 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/129686?page=31..>

**GMBH, K.** "*KRAGILUS SIXX*". *KUKA*. [en línea]. 2014, (Alemania) vol 2. pp 31-49. [consultado 22 de julio 2020]. Disponible en: [http://www.wtech.com.tw/public/download/manual/kuka/KUKA KR 6 10\\_AGILUS.pdf](http://www.wtech.com.tw/public/download/manual/kuka/KUKA KR 6 10_AGILUS.pdf)

**GMBH, K.** "*Programación de robot 1*". *KUKA*. [en línea] . 2013, (Alemania) vol 1. pp.20-50 [consultado 20 de agosto 2020]. Disponible en: [https://www.academia.edu/40237715/Programación\\_de\\_robots\\_KUKA](https://www.academia.edu/40237715/Programación_de_robots_KUKA)

**GOBIERNO DE ARAGON.** "*Guía técnica de seguridad en robótica*". *CEPYME ARAGÓN*. [en línea]. 2004, (España). [consultado el 28 de mayo 2020]. Disponible en: <https://higieneysseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/09/guc3ada-tc3a9cnica-de-seguridad-en-robc3b3tica.pdf>

**GONZÁLES, R.** *Diseño y puesta en marcha de un laboratorio remoto de robótica*. (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Autonoma de Barcelona, España- Barcelona. 2009, [consultado 23 de Julio 2020]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14492393/disen-y-puesta-en-marcha-de-un-laboratorio-remoto-de-robotica>

**GONZÁLEZ, Víctor.** *Aplicaciones de la Robótica*. [blog]. Castilla- España. (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad de Valladolid. 2002. [consultado 16 de Julio de 2020]. Disponible en: [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/aplicaciones.html](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/aplicaciones.html).

**GONZÁLEZ, Victor.** *Robot industriales*. [blog]. Castilla-España. (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad de Valladolid, 2002 [consultado 05 de Junio de 2020.]. Disponible en: [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/industrial.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm).

**GUILLEN, Beatriz.** *Tecnología, Robótica: Siete cosas de humanos que los robots ya pueden hacer*. [blog]. España. 2017. [conultado el: 01 de Julio de 2020.]. Disponible en: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/robotica/siete-cosas-de-humanos-que-los-robots-ya-pueden-hacer/>.

**HERNÁNDEZ, J., & IDOIBE, A.** *Sistemas de automatización y robótica para las pymes*. [en línea]. Madrid- España. 2015. [consultado 23 de julio 2020]. Disponible en: <http://a.eoi.es/robopyme%0Ahttps://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/21128/sistemas-de-automatizacion-y-robotica-para-las-pymes>

**JUÁREZ, Rosario.** *Normas de seguridad para la instalación de un robot industrial*. [blog]. México, 2014 [consultado 06 de junio 2020]. Disponible en: [https://prezi.com/smy\\_wnydgqqo/normas-de-seguridad-para-la-instalacion-de-un-robot-industri/](https://prezi.com/smy_wnydgqqo/normas-de-seguridad-para-la-instalacion-de-un-robot-industri/).

**KUKA.** *"Small robots"*. KUKA. [en línea] . 2014, (Alemania) vol 1. p. 16. [consultado 23 de agosto 2020]. Disponible en: [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/1996/ES\\_KUKA\\_SmallRobots\\_121002\\_Screen.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/1996/ES_KUKA_SmallRobots_121002_Screen.pdf)

**KUKA.** *"Software de aplicación"*. KUKA [en línea] . 2020, (Alemania). [consultado 24 de agosto 2020]. Disponible en: <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/software/software-de-aplicación>

**KUKA Roboter GMBH.** *"Programación de robots 1"*. KUKA. [en línea] . 2014, (Alemania) vol 1. pp. 7-6 [consultado 25 de agosto 2020]. Disponible en: [https://www.academia.edu/40237715/Programación\\_de\\_robots\\_KUKA](https://www.academia.edu/40237715/Programación_de_robots_KUKA)

**LEGARRETA, J. & MARTINEZ, R.** *"Tema 3.3 Programación de robot"*. *OpenCourseWare (OCW)*, [en línea]. 2018, (Estados unidos), vol. 1. p. 55. [consultado 20 julio 2020]. Disponible en: [https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/14577/mod\\_resource/content/10/TEMA\\_3\\_Programación\\_de\\_robots\\_OCW\\_revisado.pdf](https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/14577/mod_resource/content/10/TEMA_3_Programación_de_robots_OCW_revisado.pdf)

**LEGARRETA, J., & MARTÍNEZ, R.** *"Tema 5. Modelado geométrico y cinemático del robot"*. *OpenCourseWare (OCW)*, [en línea]. 2017, (Estados unidos), vol. 1. p. 33. [consultado 20 julio 2020]. [https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/15326/mod\\_resource/content/8/T5\\_CINEMATICA\\_OCW\\_Revision.pdf](https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/15326/mod_resource/content/8/T5_CINEMATICA_OCW_Revision.pdf)

**MAQUICLIK.** *Sistemas automáticos de seguridad en la industria*. [blog]. [consultado 06 de agosto 2020]. Disponible en: <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/sistemas-automaticos-de-seguridad-en-la-industria/>.

**MARTÍNEZ, N.** Detección, identificación por su forma y manipulación de objetos en tiempo real usando un brazo de robot industrial. [en línea], (Trabajo de titulación). (Pregrado). Instituto tecnológico de León, Guanajuato, Colombia, 2013. pp. 15-21. [consultado 04 de Junio de 2020] . Disponible en línea: <https://biblioteca.cio.mx/tesis/15908.pdf>.

**QUEBRADO, J.** Los robots en la industria. [en línea], (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo. Mexico, 2007. pp. 28. [consultado 02 de junio 2020]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/491/Los%20robots%20en%20la%20industria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**RAY.** *Entornos de programación.* [blog]. [consultado 04 de agosto 2020]. Disponible en: <https://programacionextrema.es/2016/07/16/entornos-de-simulacion-de-robots/>

**ROBODK.** *Programación de Robots.* [en línea]. 2020. [consultado 06 de julio 2020]. Disponible en: <https://robodk.com/doc/es/Robot-Programs.html#RobotProgram>

**ROBOTWORX.** *KUKA R;KR 10 R900 SIXX.* [en línea]. 2020 [consultado 04 de agosto 2020]. Disponible en: <https://robodk.com/doc/es/Robot-Programs.html#RobotProgram>.

**SAHA, K.** *Introducción a la robótica.* [en línea], Monterrey-Mexico: McGraw-Hill/Interamericana, 2010. [consultado 04 de junio 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/genarolunatapia5/introduccion-a-la-robotica-subir-kumar-saha>

**SANCHO, J.L.** *Sistemas de información: influencia en procesos operativos y toma de decisiones* [en línea], (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala. Ecuador, 2019. pp. 21. [consultado 03 de junio 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13447/1/ECUACE-2019-AE-DE00452.pdf>

**TORREZ, V.** *Introducción a la robotica.* [en línea]. Mexico: Grupo exodo, 2012. [consultado 04 de junio 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/128561?page=19>.

**VALENCIANA, G.** *Mas humana robot industriales y cobots.* [en línea][consultado 06 de Julio 2020], Disponible en línea. <https://www.prlcuatropuntocero.es/>

**VÁZQUEZ FERNÁNDEZ-PACHECO, A.** Robotica educativa [en linea], España: Ra-Ma S.A. Editorial y Publicaciones 2015. [consultado 04 de junio 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/book/409468206/Robotica-Educativa-Practicas-y-Actividades-Robotica>

