

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“ESTUDIO DE LA PROGRAMACIÓN Y OPERACIÓN DE LOS  
ROBOTS INDUSTRIALES KUKA KR16-2 Y KR5-2 ARC HW”

---

Tesis previa a la obtención del  
título de Ingeniero Electrónico.

---

Autores:

Patricio Javier Guaraca Medina

Jorge Leonardo Ochoa Ochoa

Director:

Ing. Eduardo Robinson Calle Ortiz

Cuenca, febrero 2015

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

## SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“ESTUDIO DE LA PROGRAMACIÓN Y OPERACIÓN DE LOS  
ROBOTS INDUSTRIALES KUKA KR16-2 Y KR5-2 ARC HW”

---

Tesis previa a la obtención del  
título de Ingeniero Electrónico.

---

Autores:

Patricio Javier Guaraca Medina

pguaracam@est.ups.edu.ec

Jorge Leonardo Ochoa Ochoa

jochoaoc@est.ups.edu.ec

Director:

Ing. Eduardo Robinson Calle Ortiz

ecalle@ups.edu.ec

Cuenca, febrero 2015

## DEDICATORIA

*A Dios creador por enseñarme el camino del servicio y permitirme cumplir este sueño.*

*A mis padres Favio y Beatriz, por su perseverante ayuda y sus sanos consejos que han guiado mi proceder en la responsabilidad y honestidad, formándome como un ser de bien para el servicio, empujándome a cumplir con mis sueños con la grandeza de esos seres que me dieron la vida.*

*A Taty, que al mirar este sueño cumplido, vislumbre un objetivo personal en las metas que con valor pueden ser cumplidas; las ganas y el optimismo de lo que se hace es más placentero cuando se las consigue.*

*Anita por regalarme su alegría y entusiasmo por vivir cada instante como si fuera el último.*

*Patricio*

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de manera muy especial a mi hermano Belisario quien fue mi apoyo incondicional durante toda mi vida, a mis padres Blanca y Belisario por ser mi ejemplo de trabajo, fortaleza y amor y a todas las personas que hicieron posible que llegue este día. A Carlos Humberto Ochoa Ochoa por sus enseñanzas de humildad y esperanza que desde el cielo me ha acompañado y me ha inspirado.*

*Leonardo*

## AGRADECIMIENTOS

*A nuestro Padre Dios, por haberme brindado esa Luz de Esperanza en el camino de mi vida, fortaleciendo el corazón para lograr una formación basada en principios solidarios y de servicio, por haber colocado a las personas justas y necesarias quienes me acompañaron a lo largo de este camino.*

*A mis padres Favio y Beatriz, quienes son el pilar fundamental de mi vida en pro de un solo objetivo, quienes me enseñaron a sobrellevar las dificultades y han sido mi fortaleza y mi ejemplo de trabajo, perseverancia y lucha, ahora están cosechando todo lo que con gran esfuerzo comenzaron a sembrar pese a tener el viento en contra.*

*A mi hermana Taty, quien se ha convertido en mi ejemplo y modelo a seguir, quien me ha enseñado que los sueños se persiguen pese a las dificultades o las distancias, gracias por estar presente en todo momento brindándome su apoyo incondicional, su sonrisa y ocurrencias.*

*A mis abuelos Manuel y Olga quienes han sido parte de este largo camino, con sus sabios consejos y fortaleza para que este sueño se cumpla, gracias por compartir su vida junto con la mía.*

*Anita, por ser mi compañera, mi apoyo incondicional, un ejemplo de vida y de sacrificio, por enseñarme lo positivo de las dificultades y ayudarme a superarlas.*

*A mis tías y tíos Sandra, Patricia, Mario, Patricio que han estado en los momentos más duros de la vida sin dejarme desmayar con sus consejos, son parte de mi vida.*

*A todos mis compañeros y amigos, especialmente Andrés que desde hace años ha estado presente en todas las batallas de la vida cotidiana y estudiantil, gracias por ser parte de este sueño.*

*Al Ing. Eduardo Calle, ejemplo de verdadero guía, gracias por el tiempo y esmero, por sus conocimientos que permitieron la realización de este gran proyecto.*

*Patricio*

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi agradecimiento a las personas que colaboraron en la elaboración de este trabajo de investigación:*

*A la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme todos los conocimientos y por permitirme desarrollar este trabajo en su laboratorio de robótica.*

*A mi director de tesis Ing. Eduardo Calle quien me apoyó y me brindo los conocimientos necesarios para realizar este trabajo de investigación*

*A mis profesores quienes supieron brindarme sus conocimientos y apoyo en mi formación profesional.*

*El más profundo agradecimiento a mi familia, de manera especial a mi hermano Belisario y a mis padres Blanca y Belisario, sin su colaboración e inspiración no habría sido posible que llegue este día.*

*Al Padre Jesús Alonso Martínez quien contribuyó gran parte de mi vida en mi formación profesional y espiritual. De igual manera a mis tíos Jorge, Rafael, Judith y Anita quienes han sido como mis segundos padres y a Angélica por el amor y la alegría que me ha brindado.*

*Leonardo*

# DECLARACIÓN

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación establecido en la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnicos - científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad de los autores.

A través de la presente declaración autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana el uso de la misma con fines académicos.



Patricio Javier Guaraca Medina

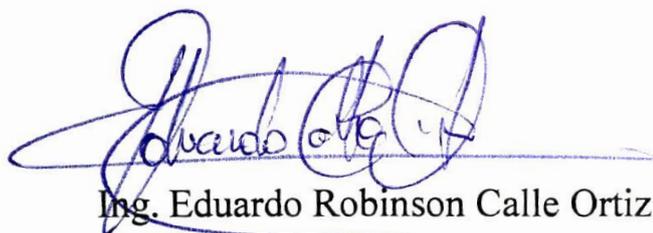


Jorge Leonardo Ochoa Ochoa

Cuenca, febrero del 2015

## DECLARACIÓN

Yo Ing. Eduardo Robinson Calle Ortiz, certifico haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos de la tesis titulada “*Estudio de la programación y operación de los robots industriales KUKA KR16-2 y KR5-2 ARC HW*”, realizada por los señores Patricio Javier Guaraca Medina y Jorge Leonardo Ochoa Ochoa, y por lo tanto autorizo su presentación.



Ing. Eduardo Robinson Calle Ortiz

Cuenca, febrero del 2015

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ACRÓNIMOS.....	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	1
1.3. OBJETIVOS .....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	3
CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA INDUSTRIAL .....	4
2.1. INTRODUCCIÓN .....	4
2.2. EVOLUCIÓN DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES .....	5
2.3. ARQUITECTURA GENERAL DE UN ROBOT INDUSTRIAL .....	8
2.3.1. Arquitectura de Software .....	8
2.3.2. Arquitectura de Hardware.....	11
2.4. MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN.....	15
2.4.1. Programación Guiada.....	16
2.4.2. Aprendizaje Directo .....	17
2.4.3. Utilización de dispositivos de enseñanza.....	17
2.4.4. Programación Textual .....	18
2.4.5. Nivel Robot.....	18
2.4.6. Nivel Objeto.....	18
2.4.7. Nivel Tarea.....	18
2.5. OPORTUNIDADES PARA LA ROBÓTICA INDUSTRIAL EN EL ECUADOR	19
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	22
3.1. INTRODUCCIÓN .....	22
3.2. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.....	23
3.3. TEORÍAS Y MÉTODOS DE APRENDIZAJE APLICADOS AL DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO .....	30
3.3.1. Teoría del aprendizaje significativo .....	31
3.3.3. Método por descubrimiento .....	34
3.3.4. Método deductivo .....	34
3.3.5. Método cooperativo .....	35

3.4. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO .....	36
3.4.1. Estructura de las prácticas de laboratorio.....	37
3.4.2. Estructura capitular de las prácticas de laboratorio.....	38
3.4.3. Estructura de las prácticas de laboratorio por objetivos de aprendizaje.....	38
3.4.4. Objetivos de aprendizaje y habilidades Práctica 1: Identificación de los componentes y subsistemas de un sistema robot KUKA.....	40
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	45
4.1. INTRODUCCIÓN .....	45
4.2. ENCUESTAS DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO .....	45
4.2.1. Actitudes y Escalas .....	45
4.2.2. Escala de Likert.....	46
4.2.3. Elaboración de encuestas .....	46
4.2.4. Análisis de Resultados de las Encuestas .....	48
4.3. AUTOEVALUACIONES DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO .....	53
4.3.1. Autoevaluación práctica 1 .....	53
4.1.1. Autoevaluación práctica 2.....	58
4.1.2. Autoevaluación práctica 3.....	62
4.1.3. Autoevaluación práctica 4.....	66
4.4. GRUPO FOCAL .....	70
4.4.1. Planificación del Grupo Focal.....	71
4.4.2. Resultados del Grupo Focal .....	72
4.5. OBSERVACIONES DE LA RESOLUCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE ROBÓTICA .....	74
4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	76
CAPÍTULO 5. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
5.1. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Brazo robótico esférico Unimate [1].....	5
Figura 2. Brazo robótico Famulus [2].....	6
Figura 3. Brazo robótico PUMA [3].....	6
Figura 4. Robot KUKA KR 5-2 ARC HW.....	7
Figura 5. Robot Baxter [5].....	8
Figura 6. Esquema general del sistema robótico.....	12
Figura 7. Grados de libertad y volumen de trabajo del manipulador KR 5-2 ARC HW.....	12
Figura 8. Panel de Control (KCP) robot KUKA.....	13
Figura 9. Esquema general del subsistema de control.....	14
Figura 10. a) Eje lineal externo KL250-2. b) Posicionador de giro DKP400. c) Posicionador KPF3.....	15
Figura 11. Esquema, métodos de programación de robots [10].....	16
Figura 12. Unidad de control para sistemas industriales KUKA [4].....	17
Figura 13. Distribución de los equipos y espacios de trabajo del laboratorio de Robótica.....	24
Figura 14. Robots KUKA KR 5-2 ARC HW y KR 16-2 en el laboratorio de robótica.....	24
Figura 15. Dimensiones del Laboratorio de Robótica.....	25
Figura 16. Ubicación de los Robots KR 16-2 y KR 5-2 ARC HW.....	26
Figura 17. Área de Trabajo de los Robots KR 16-2 y KR 5-2 ARC HW.....	27
Figura 18. Ubicación de los pulsadores de parada de emergencia.....	28
Figura 19. Pulsador de parada de emergencia.....	28
Figura 20. Toma de Aire.....	29
Figura 21. Ubicación de las Tomas de aire.....	30
Figura 22. Modelo de encuesta según la escala de Likert.....	47
Figura 23. Resultados de la evaluación de la pregunta 1.....	48
Figura 24. Resultados de la evaluación de la pregunta 2.....	49
Figura 25. Resultados de la evaluación de la pregunta 3.....	49
Figura 26. Resultados de la evaluación de la pregunta 4.....	50
Figura 27. Resultados de la evaluación de la pregunta 5.....	50
Figura 28. Resultados de la evaluación de la pregunta 6.....	51
Figura 29. Resultados de la evaluación de la pregunta 7.....	51
Figura 30. Resultados de la evaluación de la pregunta 8.....	52
Figura 31. Resultados de la evaluación de la pregunta 9.....	52
Figura 32. Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 1.....	55
Figura 33. Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 2.....	59
Figura 34. Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 3.....	63
Figura 35. Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 4.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Rango de trabajo de las articulaciones del manipulador KR 5-2 ARC HW limitados por software .....	13
Tabla 2. Descripción de la organización de las prácticas de laboratorio por capítulos .....	39
Tabla 3. Descripción de la organización de las prácticas de por objetivos de aprendizaje y competencias .....	40
Tabla 4. Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 1 .....	56
Tabla 5. Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 2 .....	60
Tabla 6. Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 3 .....	64
Tabla 7. Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 4 .....	69
Tabla 8. Análisis FODA .....	76

## ACRÓNIMOS

---

PUMA	Brazo manipulador Programable Universal
KR	Robot KUKA
KRC	Controlador de Robot KUKA
KCP	Panel de Control KUKA
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
SENESCYT	Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología
PYMIS	Pequeña y Mediana Industrias
PTP	Movimiento Point to Point (Punto a Punto)
LIN	Movimiento Lineal
CIRC	Movimiento Circular

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

---

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta, antecedentes, objetivos y justificación sobre el estudio de la programación y operación de los robots industriales KUKA KR16-2 y KR 5-2 ARC HW localizados en el laboratorio de robótica industrial de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

### **1.2. ANTECEDENTES**

Una de las principales falencias para el estudio de la programación es no contar con documentación y material de aprendizaje para el manejo de los robots antropomórficos KUKA. Como consecuencia de ese desconocimiento en su uso y aplicación de ésta tecnología, se limita su incorporación en la industria local. La industria cuencana teme involucrarse en esta área, cuya razón se sustenta en no encontrar personal capacitado para su operación en forma adecuada y obtener el máximo rendimiento de los robots en los procesos industriales.

En el ámbito universitario sin la documentación suficiente sobre su manejo se ha restringido la implementación de prácticas de laboratorio generándose un conocimiento puramente teórico. Esto no permite aportar al avance de la ciudad y el país con ingenieros con conocimientos necesarios para impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías. Además, existe inquietud en utilizar estos implementos tecnológicos, como el caso de los brazos robots industriales de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, por no asumir consecuencias en posibles daños o desperfectos en los sistemas y equipos, lo que imposibilita una adecuada instrucción en materias académicas como robótica que amalgamen la teoría con la parte práctica introduciendo a los estudiantes a las nuevas soluciones para la industria

La Universidad Politécnica Salesiana en las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, poseen un laboratorio de robótica industrial con dos brazos robóticos industriales KUKA de series KR 5-2 ARC HW y KR 16-2; por lo cual, el principal objetivo del desarrollo de prácticas para el laboratorio es la de impulsar métodos de aprendizaje que puedan educar profesionales con experiencia en soluciones en la industria.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

- Fortalecer la incorporación de la robótica en la industria local, mediante el estudio de la programación y operación de robots industriales KUKA KR5-2 HW ARC y KR-16, para facilitar su conocimiento e implementación.

#### **Objetivos Específicos**

- Estudiar las arquitecturas y elementos estructurales del brazo robótico KUKA.
- Investigar los lenguajes de programación, metodologías de programación y sistemas de control disponibles para los brazos robóticos KUKA.
- Desarrollar ejemplos y buenas prácticas de programación en base a los conceptos teóricos para un estudio más profundo de la manipulación de los brazos robots KUKA.
- Redactar una guía de prácticas de programación y manipulación de los brazos antropomórficos KUKA con el fin de facilitar el aprendizaje al usuario.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, debido a los múltiples problemas sociales e industriales, los países se han centrado en el desarrollo de sistemas automáticos con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En este sentido, la robótica se ha convertido en una solución tanto en el ámbito social como en el industrial. Podemos encontrar entonces, robots en tareas de limpieza de hogar o en sistemas industriales de alto riesgo. El desarrollo de nuevos métodos de programación ha facilitado su incorporación a éstos nuevos espacios.

La industria nacional por su parte, se encuentra realizando esfuerzos importantes por incorporar nuevas tecnologías a sus procesos de producción, especialmente con los cambios de la matriz productiva impulsados por el Estado. Esta coyuntura, han hecho que varias empresas, inviertan en sistemas robóticos para mejorar la calidad en los procesos y disminuir tiempos en la elaboración de sus productos, buscando cubrir la demanda de producción a nivel nacional. Es por esta razón, que los sistemas robóticos se encuentran en aumento dentro de las industrias nacionales, como: ensambladoras de vehículos, electrodomésticos, aparatos electrónicos, etc., requiriéndose personal altamente calificado para programar y operar estas máquinas.

Esta nueva tecnología vuelve imperativa la necesidad de un aprendizaje integral de sistemas robóticos, tanto para la interacción, manipulación de datos, estructuras y lenguajes de programación propia de los robots antropomórficos así como para su integración a los procesos instalados. Desde el ámbito académico se presentan deficiencias de documentación que permita a los estudiantes desarrollar sus competencias en ésta área; a pesar de los excelentes laboratorios con los que cuenta la Universidad.

El propósito de este trabajo, es el de cubrir falencias, mediante la utilización de los sistemas robóticos KUKA adquiridos por la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, realizando un estudio profundo de las características técnicas, mecánicas, de programación e interfaz de comunicación de los robots antropomórficos KUKA; y elaborar un material académico que permita generar profesional más capacitados para asumir la responsabilidad de conocer e incorporar al medio las tecnologías futuras.

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la robótica ha sido fundamental para que las empresas puedan realizar procesos o tareas con gran rapidez, precisión y exactitud. De acuerdo a la Federación Internacional de Robótica (IFR), el incremento de robots en la industria en el último año ha sido del 2%, y para los próximos dos años, se espera que este crecimiento promedio aumente al 6%. Las industrias que más han incorporado la robótica en sus procesos han sido la automotriz, las de alta tecnología (ensamble de dispositivos electrónicos), la alimentaria, entre otras. Adicionalmente, la definición de un sistema robótico ha evolucionado con el tiempo. Así, la Organización Internacional de Estándares define a un sistema robótico como “Un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas”. Por este motivo, un sistema robótico se establece como una herramienta fundamental para la industria, en campos que la mano de obra humana no puede garantizar, un trabajo rápido, preciso y continuo.

La programación de los sistemas robóticos industriales, como un grupo de instrucciones para la realización de tareas, ha ido cambiando en función de las labores que cada robot debe realizar, ya sea en la industria o en ámbitos académicos. La primera forma de programación de robots industriales, consistía en un set de instrucciones precargados en el sistema, capaz de realizar ciertos movimientos, sin la disponibilidad de modificarlo para ejecutar nuevas tareas. A continuación fue el turno de la programación a nivel de usuario, dotando a los programadores de un ambiente para trabajar en las secuencias de movimientos, para el robot y un listado de instrucciones para conseguir el movimiento y control del mismo. Adicionalmente, se suma la forma de realizar la programación, ya sea de manera: off-line, como on-line. En el primer caso permite al usuario trabajar con sistemas de simulación, para finalmente exportarlos al robot. La programación on-line permite trabajar directamente sobre el manipulador en su espacio de trabajo. Esto permitió el avance de la tecnología y el mayor involucramiento de los sistemas robóticos en las distintas áreas de producción e investigación.

Con el desarrollo de la programación, los métodos utilizados para este cometido también han ido apareciendo. Estas técnicas se definen como la manera de realizar el proceso de enseñanza al sistema robótico, muchos de los cuales dependen de la aplicación a la cual esté enfocado el robot. En aplicaciones sencillas es posible utilizar métodos como el aprendizaje guiado, donde el operario es el encargado de llevar hasta el punto a donde el robot se desplazará. Otro método, como el textual, requiere de conocimientos previos por parte del usuario para llevarlo a cabo, como un análisis matemático para ejecutar un movimiento a un punto determinado, a diferencia del método de aprendizaje guiado, que el mismo movimiento lo realiza de forma empírica.

## **2.2. EVOLUCIÓN DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES**

Los primeros robots industriales fueron controlados por programas preestablecidos y almacenados en tambores magnéticos. Tenían grandes tamaños, pesando toneladas y usaban actuadores hidráulicos los mismos que se movían diferentes ángulos de acuerdo a la programación precargada. Los robots de ésta generación fueron creados a partir de los años 1948 como el Unimate (Véase figura 1). Este, fue un brazo robótico esférico cuya función fue remover piezas de metal calientes y más adelante se usó en la industria automotriz con el propósito de usarlo como parte fundamental de la línea de ensamblaje. Tenía la capacidad de almacenar hasta 4000 pasos de programa en un disco magnético de almacenamiento de tal forma que se podía realizar varias aplicaciones pero no se lo consideraba un robot programable, debido a que el actuar del robot estaba limitado a pasos y secuencias predeterminadas y se tenía una mínima interacción con el usuario.



**Figura 1.** Brazo robótico esférico Unimate [1]

Otro de los robots que pertenecen a la generación de robots de programación predefinida es el “Famulus” (Véase figura 2) desarrollado en 1973 aplicado a la

industria automotriz. Fue el primer robot con seis ejes accionados electromagnéticamente y al igual que el Unimate, se basaba sus movimientos en pasos de control definidos con lo que no tenía un lenguaje de programación definido que le permita desarrollar las secuencias y movimientos avanzados.



**Figura 2.** Brazo robótico Famulus [2]

La siguiente generación de robots son capaces de ser programados por el usuario, dotando al sistema robótico de grandes prestaciones y un entorno de programador. La programación de estos robots permitió un gran avance en la investigación dentro de los sistemas de control y complejos algoritmos de inteligencia artificial, redes neuronales, etc. [4]. El primer robot programable fue creado en 1973 por la compañía Unimation y se lo denominó “PUMA” (Programmable Universal Machine for Assembly) (Véase figura 3) y era capaz de mover objetos dentro de su área de trabajo..



**Figura 3.** Brazo robótico PUMA [3]

En la actualidad existen un gran número de compañías fabricantes de robots industriales como KUKA (Véase figura 4), ABB, Fanuc, Motoman, PANASONIC, REIS, COMAU, Mitsubishi, etc. Lo que hace que cada fabricante utilice un propio

lenguaje de programación específico para sus robots pero todos éstos se caracterizan por tener la capacidad de ser programados por el usuario usando un conjunto de instrucciones que pueden variar de acuerdo al lenguaje de programación que ocupa cada robot.



**Figura 4.** Robot KUKA KR 5-2 ARC HW

En la actualidad los robots pueden ser programados mediante la directa interacción con el operario, es decir se puede realizar una serie de movimientos manualmente a los brazos del robot para realizar cualquier tarea y éstos movimientos pueden ser memorizados por el robot, de esta manera la programación se lo realiza de una forma mucho más rápida. La programación de estos robots se basa en el conjunto de sensores que poseen para poder interactuar con el usuario y con el entorno de trabajo teniendo una mayor percepción del ambiente en el que se encuentra.

El robot “Baxter” (Véase figura 5) pertenece a esta forma de programación. Fue introducido al mercado en el año 2012, con tres pies de altura, 165 libras, dos brazos y con un rostro animado. Es usado como un robot simple en las industrias para realizar trabajos de carga, descarga, clasificación y manejo de materiales. Es diseñado para realizar tareas aburridas en las líneas de producción. Posee una serie de sensores en su cabeza para adaptarse a su entorno percibiendo la cercanía con objetos y personas, sensores en sus manos para tener mucha atención en sus trabajos y una cámara en su cabeza para realizar el reconocimiento de objetos. [5]



**Figura 5.** Robot Baxter [5]

## **2.3.ARQUITECTURA GENERAL DE UN ROBOT INDUSTRIAL**

### **2.3.1. Arquitectura de Software**

Un sistema de programación, es un conjunto de programas que interaccionan entre sí para lograr un objetivo común, con la capacidad de interpretar una tarea a grandes rasgos, por medio de instrucciones propias del robot, que produzcan los resultados deseados.

El tomar en cuenta aspectos como: los objetos o el ambiente en el que el robot va a trabajar, ayuda a los programadores a realizar de mejor forma la estructura del programa, es por esto que es necesario realizar un breve estudio de parámetros a tomar en cuenta para la programación de robots industriales como son:

1. Entorno de Programación
2. Modelado del Entorno
3. Tipo de Datos
4. Manejo de Entradas/Salidas (digital y análoga)
5. Control del Movimiento del Robot
6. Control del flujo de ejecución del programa

#### **2.3.1.1.Entorno de Programación**

El entorno de programación como conjunto de herramientas para elaborar un programa, permiten realizar actividades como: la codificación, compilación, ejecución automática de pruebas, etc. Algunas características del entorno de programación son: la facilidad para realizar las labores de programación, brinda sistemas de ayuda

automática como: editor de texto, procesador de documentación etc. Existen sistemas de programación actuales que soportan sistemas operativos multitarea, permitiendo el control simultáneo y sincronizado de tareas del robot con otros sistemas.

#### **2.3.1.2. Modelado del Entorno**

El modelado del entorno permite representar los objetos mediante sus características propias como: orientación, formas, pesos, inercias, etc.; es decir, el modelado del entorno es la representación que tiene el programa del robot de los cuerpos con los que trabaja. Permite a su vez, establecer relaciones entre los objetos, los cuales, facilitan la programación del sistema robótico y se van actualizando durante la ejecución del programa, mediante estructuras que correlacionan los objetos del sistema en general, facilitando las tareas del programador.

Para definir la posición y orientación de los objetos del modelo, lo más frecuente es asignar a cada objeto un sistema de base o referencial, de manera que la posición y orientación de este sistema normalmente es denominado sistema del mundo, el mismo que define de manera única a las del objeto.

#### **2.3.1.3. Tipos de Datos**

En todo sistema de programación de robots, es necesario contar con datos como: enteros, reales, numéricos, booleanos, cadenas de caracteres, etc., destinados a definir operaciones de interacción con el entorno, permitiendo una programación estructurada que permita definir funciones del robot con su entorno o de manera específica una trayectoria o acción del mismo.

El posicionamiento del robot, se realiza mediante distintos tipos de coordenadas, ya sean: articuladas o cartesianas, estas coordenadas indican los valores de posición que cada articulación debe tener para llegar a un punto específico. Es necesario obtener estos datos que se consideran como datos referenciales, que pueden ser manipulados por el programador; para ello, es necesario definir variables con tipos de datos adecuados, esto evita el uso inadecuado de la memoria del sistema [10].

#### **2.3.1.4. Manejo de Entradas y Salidas**

El mantener una comunicación con procesos externos por parte de un sistema robótico es una de las principales características que los diseñadores y productores de dichas herramientas proveen a sus clientes. Métodos de comunicación como: entradas y

salidas, tanto analógicas como digitales, sistemas Ethernet y buses de campo, permiten la integración y sincronización de los procesos industriales.

Un sistema robótico es capaz de controlar el accionamiento, lectura y escritura de los puertos de comunicación, utilizando instrucciones de programación. Los datos obtenidos por los puertos, pueden ser utilizados dentro del programa principal y controlar el funcionamiento del sistema robótico. Una comunicación con sistemas externos, logra interactuar al sistema con el entorno, sistemas extrasensoriales permiten la automatización de movimientos por parte del robot, haciendo de este, un sistema inteligente que tome decisiones en función de la percepción por parte de los dichos sensores.

La utilización a mayor nivel de la comunicación del robot con su entorno lo constituye el empleo de comunicaciones mediante red local o conexión punto a punto. Esta comunicación permite integrar al robot en un sistema informático general controlando o supervisando su funcionamiento desde un computador externo. Esto permite el uso de sistemas de control y supervisión automática a distancia SCADA; con ello, realimentar con facilidad el estado de los procesos industriales y del sistema robótico.

#### **2.3.1.5. Control del Movimiento del Robot**

Dentro de la programación de robots, existe la posibilidad de efectuar un movimiento o una serie de movimientos especificados por el programador. Los requisitos para llevar a cabo estos movimientos, son los puntos, tanto destino como inicio, el tipo de trayectoria que se realizará, la velocidad media para llevar a cabo el recorrido o la precisión del mismo. El tipo de movimiento que un robot incluye son: punto a punto, circular y lineal. Estos movimientos pueden ser combinados, permitiendo la creación de una serie de distintas trayectorias en función de las tareas dispuestas para el robot.

Existen otro tipo de puntos llamados puntos de paso, este tipo de puntos permite al robot pasar por coordenadas, fuera del alcance de obstáculos que se encuentren dentro del ambiente de trabajo. Para la programación de estos puntos no es necesario que el robot realice trayectorias fijas, basta con solo llegar al punto de paso lo más rápido posible, sin importar la trayectoria que realice. Para este tipo de movimientos se puede utilizar un movimiento punto a punto. Así un robot industrial puede ser instalado en distintos ambientes de trabajo.

Dentro del control de movimientos existen las interrupciones provocadas por dos métodos, que permiten ampliar la funcionalidad del sistema. La primera posibilidad responde a la interrupción del movimiento del robot por verificarse algún tipo de condición externa programada, esto se denomina movimiento protegido o monitorizado. La segunda alternativa, implica la modificación del movimiento, en cuanto a la situación de destino o la velocidad, según la información captada del entorno, de esta manera el movimiento del extremo del robot queda alterado, adaptándose a las necesidades de un entorno cambiante o parcialmente indeterminado, estos movimientos se conocen como acomodaticios.

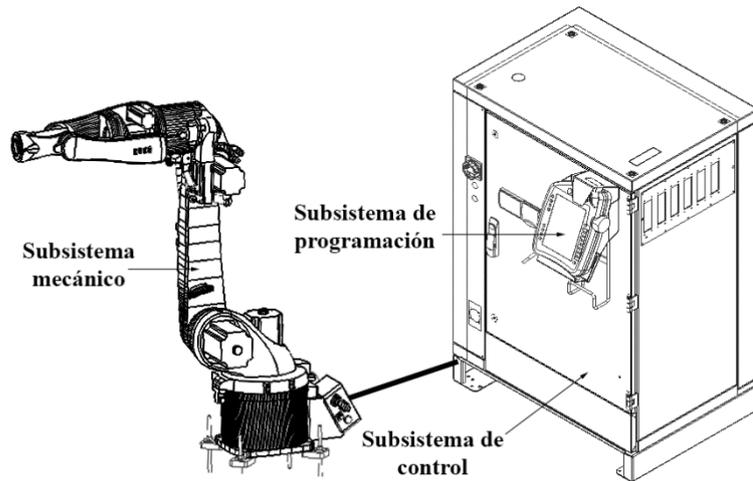
#### **2.3.1.6. Control del flujo de ejecución del programa**

El empleo de estructuras de programación permite especificar a los programadores la manera que se ejecutarán las sentencias u operaciones. Esta forma de ejecución puede ser paralela o en secuencia, a esto se lo denomina control de flujo de ejecución de un programa. Estructuras de control como los bucles: for, repeat, while, if, etc., son utilizadas para llevar a cabo este control; el mismo que, ayuda al trabajo conjunto de robots en un proceso industrial y permite la operación de varios manipuladores operados desde un único programa dentro de una celda de trabajo.

La interacción de equipos y sistemas externos al robot, pueden utilizar otro tipo de sentencias de control como son: las interrupciones. Estas interrupciones permiten realizar operaciones en función de la prioridad que tenga la interrupción producida. El tratamiento de las mismas puede ayudar a manejar de mejor forma el tratamiento de señales externas provenientes de sensores, pulsantes de emergencia, etc.

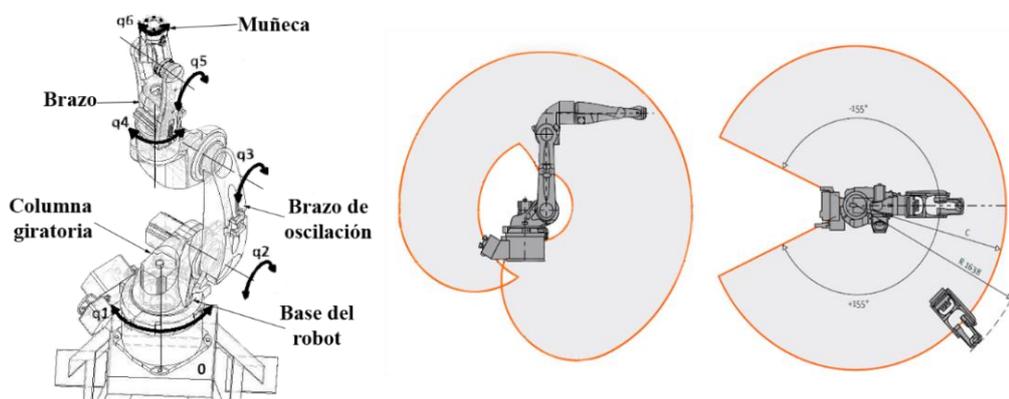
#### **2.3.2. Arquitectura de Hardware**

La arquitectura de hardware representa la estructura básica de un sistema robótico el cual está constituido por cuatro subsistemas: subsistema mecánico, subsistema de programación, subsistema de control y subsistema externo. (Véase figura 6).



**Figura 6.** Esquema general del sistema robótico

El subsistema mecánico está compuesto por un brazo robot manipulador antropomórfico de 6 ejes, con una capacidad de carga, un alcance y una repetitividad predefinida por el fabricante. Dentro del subsistema mecánico se encuentran los topes mecánicos o por software. Los topes mecánicos limitan físicamente el área de desplazamiento de cada uno de los ejes para evitar colisiones entre eslabones o daños a las conexiones. Los topes mecánicos son fijados por el fabricante y no se pueden modificar. Por otra parte, los topes por software son configurables por el usuario y permiten definir el volumen de trabajo del robot (Véase figura 7) mediante el ingreso de valores angulares que limitan el desplazamiento de cada eje. El subsistema mecánico de KUKA para el modelo KR 5-2 ARC HW presentan topes por software en los siguientes valores. (Véase tabla 1).

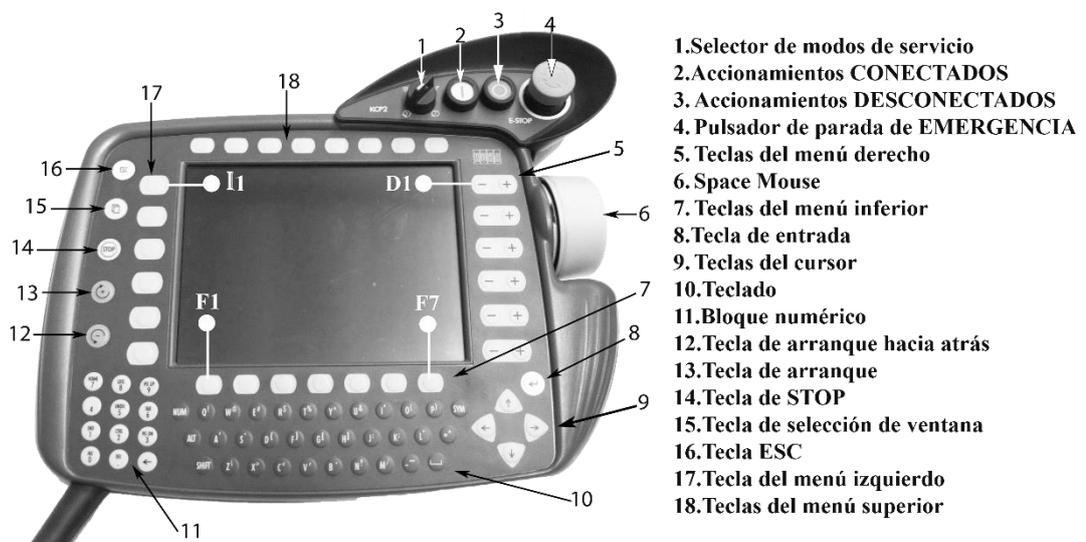


**Figura 7.** Grados de libertad y volumen de trabajo del manipulador KR 5-2 ARC HW.

**Tabla 1.** Rango de trabajo de las articulaciones del manipulador KR 5-2 ARC HW limitados por software

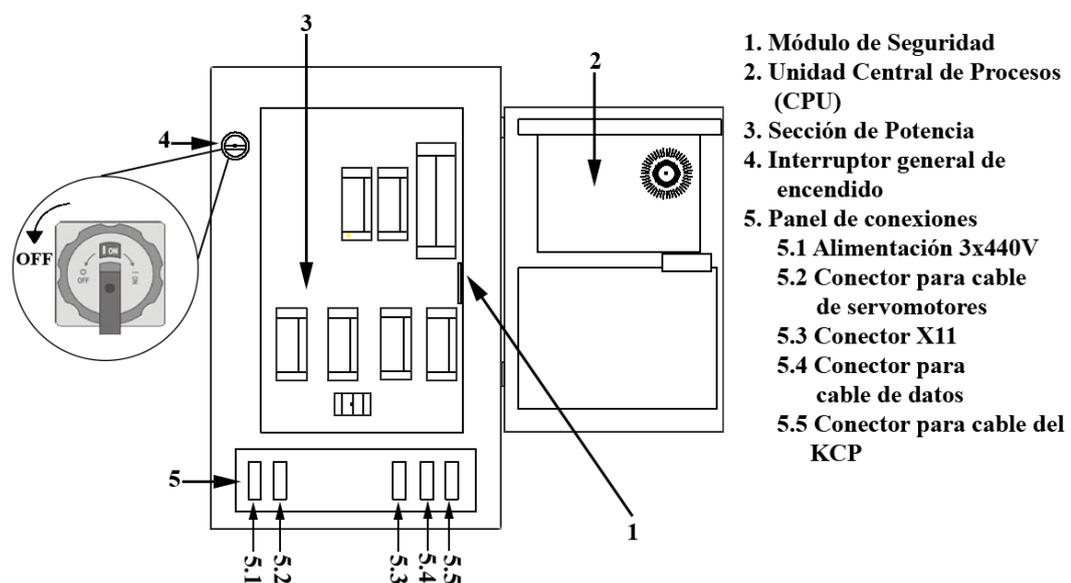
Ejes	Campo de desplazamiento en grados	Velocidad con carga nominal 5 kg
Eje 1 (A1)	+155/-150	154°/s
Eje 2 (A2)	+65/-180	154°/s
Eje 3 (A3)	+170/-110	228°/s
Eje 4 (A4)	±165	343°/s
Eje 5 (A5)	±140	384°/s
Eje 6 (A6)	±350	721°/s

El subsistema de programación lo integran la unidad manual de programación (*UMP*) y el lenguaje de programación. El lenguaje de programación por su parte, es un lenguaje propietario de cada empresa como el *KUKA Roboter GmbH* para el manejo y programación de los sistemas robóticos KUKA. La UMP es un dispositivo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema robótico. Contiene todas las funciones necesarias para el desplazamiento manual y programación de movimientos. Está constituido por varios teclados, botones de accionamiento, una pantalla gráfica que permite la presentación de diferentes tipos de mensajes e ingreso de comandos y un ratón con seis grados de libertad (*Space Mouse*). Un ejemplo de UMP es el denominado *KUKA Control Panel (KCP)* del fabricante KUKA (Véase figura 8)



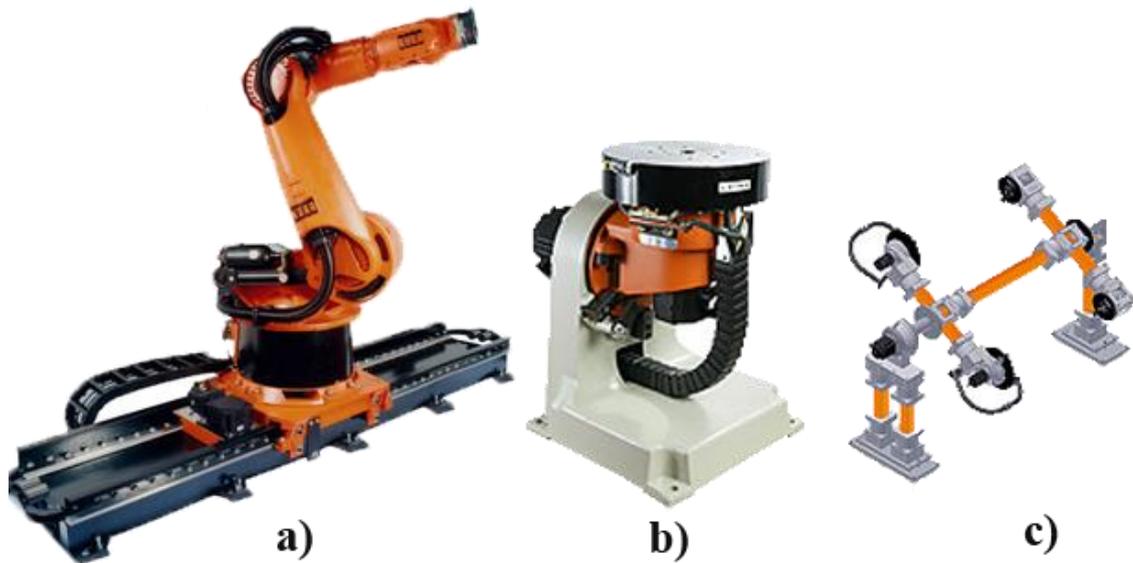
**Figura 8.** Panel de Control (KCP) robot KUKA

El subsistema de control denominado también unidad de control del robot es el responsable del control general del sistema robótico y está integrado por el sistema de potencia, la unidad central de procesos, el módulo de seguridad y el panel de conexiones. Es la unidad responsable de controlar las funciones del sistema robótico. En el armario de control convergen las instalaciones de alimentación, los sistemas de seguridad y los controladores de movimientos del robot. Está constituido por la unidad central de procesos, la sección de potencia, el módulo de seguridad y el panel de conexiones. Un ejemplo de armario de control es el del KR 5-2 ARC HW de KUKA que se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Esquema general del subsistema de control

El subsistema externo está compuesto por ejes externos a los existentes en el subsistema mecánico y por herramientas capaces de ser montadas en la brida de sujeción del brazo robótico. Los ejes externos permiten el desplazamiento del brazo robot mediante ejes lineales o posicionar piezas para un mecanizado óptimo utilizando posicionadores de giro. Por su parte, las herramientas externas permiten la elaboración de diferentes tareas como: soldadura de arco, soldadura de punto, fresado, corte, paletizado, entre otros. (Véase figura 10)



**Figura 10.** a) Eje lineal externo KL250-2. b) Posicionador de giro DKP400. c) Posicionador KPF3.

## 2.4.MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN

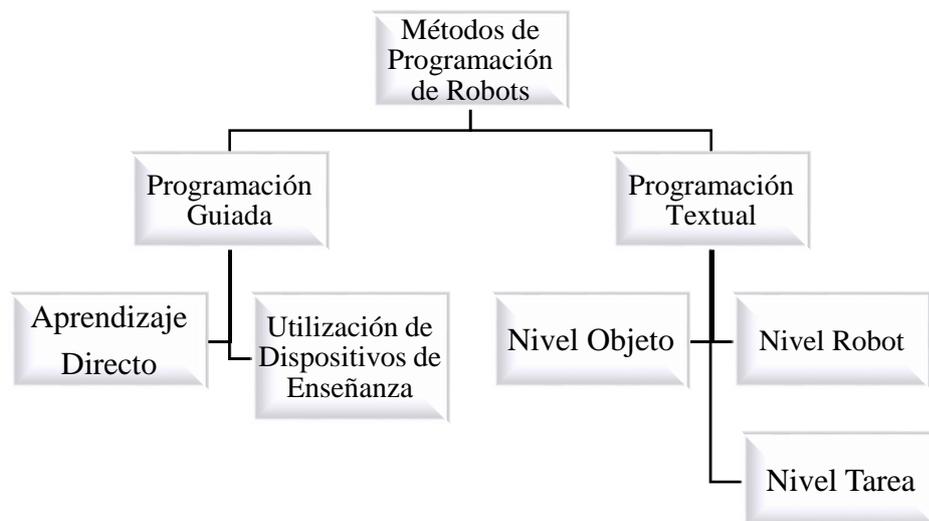
Según la Organización Internacional de Estándares los robots son elementos multifuncionales que tienen la capacidad de adaptarse a cualquier ambiente de trabajo y tarea a realizar. Es así, que un robot puede trabajar en condiciones elevadas de temperatura, peso, entre otros. Además, un robot puede ser utilizado en trabajos que requieren de precisión y repetitividad, que permita la automatización del proceso y el trabajo continuo a diferencia con un humano que necesita de tiempo suficiente para descansar y alimentarse.

Los robots permiten a las industrias la realización de procesos que un humano no sería capaz de realizar. Entre los trabajos para los cuales pueden ser utilizados están: trabajos de fundición, paletización, control de calidad, carga y descarga de máquinas, montaje, ensamble de vehículos, pintura, entre otros. Estas aplicaciones son desarrolladas con mayor velocidad y sin riesgo de sufrir lesiones por parte de los robots. Es por esta razón que la mano de obra en tareas peligrosas como función de hierro, son utilizados los robots industriales, mejorando la productividad de la empresa.

Para utilizar robots en la industria es necesario contar con instrucciones que el robot interprete y ejecute. Estas instrucciones servirán como lenguaje entre el programador y el robot. Además, existen métodos utilizados por los lenguajes de programación utilizados por los fabricantes de robots industriales que permiten la programación y la

ejecución de tareas por parte de los sistemas robóticos. Estos métodos facilitan la programación por parte del usuario y permite la rápida interpretación y ejecución de las tareas programadas en los robots industriales.

Un método de programación, es el procedimiento necesario para realizar la enseñanza del sistema robótico o la secuencia empleada para indicar el listado de acciones a realizar por el robot. Existen dos métodos de programación como son: programación guiada y textual; en donde, el programador es el principal responsable de introducir manualmente las instrucciones para gobernar al robot, mediante lenguaje textual o gráfico. En el caso de la programación guiada, el programador tiene un control casi nulo del código que ejecuta el robot, este se genera mediante un sistema de guiado o aprendizaje. Es posible también encontrar robots capaces de conjugar los dos tipos de programación, con la capacidad de realizar acciones mucho más complejas. Dentro de las categorías antes mencionadas se encuentran grupos con características propias, para los cuales es necesario considerar un estudio por separado, tanto para el método por guiado y textual. (Véase figura 11)



**Figura 11.** Esquema, métodos de programación de robots [10]

#### 2.4.1. Programación Guiada

La programación por guiado también se la denomina como aprendizaje asistido, consiste en la manipulación directa de los actuadores del robot mediante un control o maqueta del sistema, que posiciona el robot en diferentes puntos, con la ayuda del controlador embebido, esto permite registrar dichos movimientos y trayectorias para realizar las secuencias de repetición [4]. Al final, el programa está constituido por las

secuencia de movimientos entre las distintas posiciones y acciones pregrabadas [6]. Además este proceso de programación necesita que el robot se encuentre conectado; es decir, es una programación on-line.

#### **2.4.2. Aprendizaje Directo**

La manipulación de la muñeca o del brazo para llevarlo hacia los puntos de programación durante la fase de ejecución automática, se denomina aprendizaje directo. En este paso la unidad de control del sistema, realiza una interpolación de los puntos establecidos, según la trayectoria escogida. Por lo general los puntos son recorridos de manera secuencial en el orden que son programadas, debido a que en ocasiones no es posible inmiscuir estructuras de control dentro del programa. Este tipo de programación, no permite la reducción de puntos para la edición de trayectorias, debido a la generación de discontinuidades, por lo que para generar una trayectoria continua es necesario tener una gran cantidad de puntos. Es un método sencillo de programación, sin complejidades que permite realizar trayectorias rápidas para procesos sencillos dentro de la industria.

#### **2.4.3. Utilización de dispositivos de enseñanza**

La enseñanza mediante dispositivos de mando como controles (Véase figura 12), que permiten llevar al robot hacia los puntos donde el robot pasará al momento de ejecutar el programa de forma automática. En este tipo de método es necesario especificar parámetros como velocidad, tipo de trayectorias, precisión con la que se desea que se alcancen los puntos. Al igual que el aprendizaje directo, los usuarios no necesitan conocer algún tipo de lenguaje de programación, con solo habituarse al empleo de los elementos que constituyen el dispositivo de enseñanza, pueden realizar ya secuencias dentro del programa, modificaciones, etc.; sin embargo, serán secuencias para aplicaciones sencillas.



**Figura 12.** Unidad de control para sistemas industriales KUKA [4]

#### **2.4.4. Programación Textual**

El método de programación textual permite al operador de un sistema robótico, indicar la tarea a través de un lenguaje de programación específico; es decir, un listado de órdenes dictados al sistema y ejecutados por el sistema robótico. Esta programación se produce sin la intervención del robot; se lo realiza “off-line”. En este tipo de programación, el operador no define las acciones del brazo articulado, sino, realiza el cálculo matemático de gran precisión, evitando así el posicionamiento empírico del sistema. Según las características del lenguaje, pueden confeccionarse programas de trabajo complejos, con inclusión de saltos condicionales, empleo de bases de datos, posibilidad de creación de módulos operativos intercambiables, capacidad de adaptación a las condiciones del mundo exterior, etc.

#### **2.4.5. Nivel Robot**

La programación a nivel de robot, controla directamente el movimiento de las articulaciones del robot; con esto se especifica cada uno de los movimientos que realizará el robot. En este nivel es necesario especificar la velocidad, direcciones de aproximación y salida, apertura y cierre de la pinza, etc. Permite descomponer tareas complejas en sub tareas.

#### **2.4.6. Nivel Objeto**

La programación a nivel de objeto se enfoca en la tarea a realizar y el objeto a manipular; siendo el principal objetivo, el posicionar en un punto específico el extremo final del manipulador. Este tipo de lenguaje es de alto nivel y se mantienen en investigación [11], debido a la necesidad de un incremento en la inteligencia de los sistemas para utilizarlo.

#### **2.4.7. Nivel Tarea**

La programación a nivel de tarea específica en una sola sentencia lo que debe hacer el robot en lugar de como debe hacerlo. Para realizar este tipo de programación, es necesario modelar el entorno, para permitir la especificación de las acciones que llevará a cabo el manipulador. La programación se lleva a cabo en modo of-line y es independiente del robot en el que se ejecutará.

Los sistemas de programación de robots tienden a combinar los dos modos básicos (guiado y textual), permitiéndose desarrollar el programa mediante la escritura de las instrucciones, y utilizando la posibilidad de guiado en línea en aquellos momentos en

que sea necesario. Sistemas como RAPID de ABB, VALL II de Staubli y V+ de Adept Technology son ejemplos de esta ambivalencia [8].

## **2.5.OPORTUNIDADES PARA LA ROBÓTICA INDUSTRIAL EN EL ECUADOR**

El campo de la robótica industrial en el Ecuador es un campo sin exploración que puede mejorar la producción de la industria ecuatoriana. Sectores empresariales como el metalmecánico, papel, plásticos, alimentos, ensamble de vehículos, envasado, entre otros, pueden introducir sistemas robóticos para diferentes soluciones en sus industrias como el traslado de objetos, procesos de soldadura, embalaje, que ayuden a disminuir tiempos, mejorar la calidad de elaboración de los procesos incrementando la producción de sus empresas.

En Ecuador los sistemas robóticos industriales tienen altos costo de implementación y existe un déficit de empresas que comercien dichos sistemas. Además, del costo de integración a las líneas de producción con accesorios y programación consta de un estimado de 130 a 400 mil dólares según Paulina Callejas representante de KUKA en Ecuador. [12] Esto provoca que el sector empresarial no cuente aún con la confianza necesaria para invertir en soluciones tecnológicas ante problemas en sus industrias; sin embargo, el cambio de la matriz productiva incluye el mejoramiento de la calidad de productos, el incentivo a la ciencia y tecnología y el incremento en la producción, lo que permite a los empresarios analizar el costo beneficio y el impacto en su producción y rentabilidad en las empresas incrementando la demanda por la robótica industrial. Esto produce un nicho de mercado para emprendedores que oferten servicios de implementación y mantenimientos de robots industriales para los distintos sectores industriales.

Por parte del Gobierno Nacional existe una asignación importante de recursos para el desarrollo de tecnologías que favorezcan el aumento de la producción en el país. Alrededor de 300 millones de dólares son asignados a la secretaría de ciencia y tecnología (SENESCYT) [13] con lo cual el estado pasa a ser actor principal del fortalecimiento del uso de tecnología para el aumento de productividad en sectores estratégicos. El cambio de la matriz productiva es otra de las formas en las que el estado promueve el uso de tecnologías industriales, en el caso de Ecuador el

requerimiento masivo de cocinas a inducción podría abrir un nicho de mercado a la robótica industrial y la automatización y control.

Por parte de la universidad ecuatoriana la robótica industrial es analizada únicamente con aspectos teóricos y sin tomar en cuenta al aspecto práctico necesario para brindar profesionales capaces de manejar dichas herramientas en la industria. Al menos tres universidades en el país que cuentan con laboratorios de robótica industrial entre ellas la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, sin embargo; existe una carencia de profesionales capacitados y material adecuado para llevar a cabo el estudio y manejo de robots industriales. Ante esta problemática, se pretende cambiar la relación entre la teoría y la práctica introduciendo nuevas metodologías y material didáctico capaz de formar a los estudiantes y prepararlos para actividades dentro de la industria manipulando los laboratorios implementados dentro de las universidades que simulan adecuadamente un ambiente industrial.

Al realizar un análisis sobre las ventajas que puede generar la implementación de la robótica en la industria ecuatoriana se obtiene que, permite mejorar la seguridad laboral en una empresa debido a la resistencia a condiciones desfavorables de temperatura o ambientes llenos de químicos nocivos a los cuales un ser humano podría ser vulnerable a diferencia de un brazo robot que puede realizar el mismo trabajo con un bajo nivel de daños sin mantenimientos reiterados. Además, los sistemas robóticos se caracterizan por ser sistemas multitarea que ayudan a incrementar la velocidad de los procesos con una menor cantidad de recursos implementados. Permite realizar trabajos de óptima calidad con una minimización del error en los productos finales. En empresas como en ensamble de vehículos ofrece altas velocidades de operación y un error estimado menor a  $\pm 0.4\text{mm}$ . Otro beneficio está en el incremento de la eficiencia y la competitividad de la empresa debido a una baja tasa de productos defectuosos por errores en la producción entrando al mercado con mayor oferta y productos de alta calidad.

A más de ventajas para el sector industrial y productivo existen oportunidades de negocio para emprendedores que deseen brindar servicios de implementación y elaboración de robots industriales. El nivel de automatización que presentan las industrias, es en accionamiento manual 48%, semiautomático 27%, automático 18%, y computarizado con 7%. Los resultados presentados dan a conocer el bajo nivel de

tecnología que está presente en las pequeñas y medianas industrias (PYMIS) [14] corroborando que existe un amplio campo por explotar. Otra oportunidad, se da debido a la falta de preparación por parte de los profesionales del país en temas relacionados con la robótica industrial como la programación, ensambles y mantenimientos de brazos robots. Otra oportunidad se da gracias al cambio de la matriz productiva para el mejoramiento de todos los procesos industriales y calidad en los productos, con lo que emprendedores en el ámbito de la robótica pueden encontrar mercado con soluciones automatizadas y trabajo con sistemas robóticos.

Entre los problemas que se podría encontrar en la implementación de la robótica en el Ecuador se encuentran los costos de implementación que bordean los 200 a 400 mil dólares según datos de una de las empresas distribuidoras de estos equipos [12]. Otros costes elevados serían los costos de mantenimiento ante fallos repentinos de los equipos debido a que no existen técnicos nacionales y es necesario recurrir a los técnicos extranjeros de cada casa comercial. Si se plantea el entrenamiento de técnicos nacionales para el control y mantenimientos de equipos robóticos industriales, el costo también sería una variable importante a la hora de decidirse por parte de los empresarios sobre robots industriales en sus fábricas. Otro problema surgiría con la inversión inicial necesaria para llevar a cabo un proceso de automatización industrial sobre todo por el costo de equipos, personal capacitado en el mantenimiento y manejo de los sistemas robóticos. Otro de los problemas radicales que cuenta el país para detener la entrada de sistemas de automatización son los sindicatos de trabajadores radicalistas que con el temor de la pérdida de puestos de trabajo dentro de las empresas y la falta de conocimientos respecto de las ventajas de asumir este tipo de procesos, bloquean todo tipo de cambio en las empresas con demandas laborales o paralización de sus labores provocando pérdidas a las industrias.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

La idea fundamental del diseño y elaboración de prácticas para un laboratorio de robótica industrial es la de amalgamar los conocimientos teóricos recibidos en la materia de robótica y en el manejo y solución de problemas en la industria utilizando los sistemas robóticos industriales. Para ello, la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, cuenta con un laboratorio de robótico industrial equipado con dos brazos robots industriales de la marca alemanda KUKA cuyos robots son el KR 5-2 ARC HW y el KR 16-2 de carga ligera con un controlador KRC2, los cuales pueden ser utilizados en soldadura de arco y paletizado respectivamente por las herramientas con las que cuentan en el laboratorio de robótica industrial.

Con estos implementos con los que cuenta el laboratorio de la universidad, es necesario implementar teorías con métodos de aprendizaje, con los cuales los estudiantes serán capaces de asimilar de mejor manera los conocimientos impartidos. Estas teorías con métodos de aprendizaje permiten al estudiante la creación de sus propios conocimientos y asimilar otros, que representen su desarrollo como profesional en el ámbito industrial. Entre las teorías de aprendizaje utilizadas como guías para el desarrollo de las prácticas están las teorías de aprendizaje significativo y constructivista.

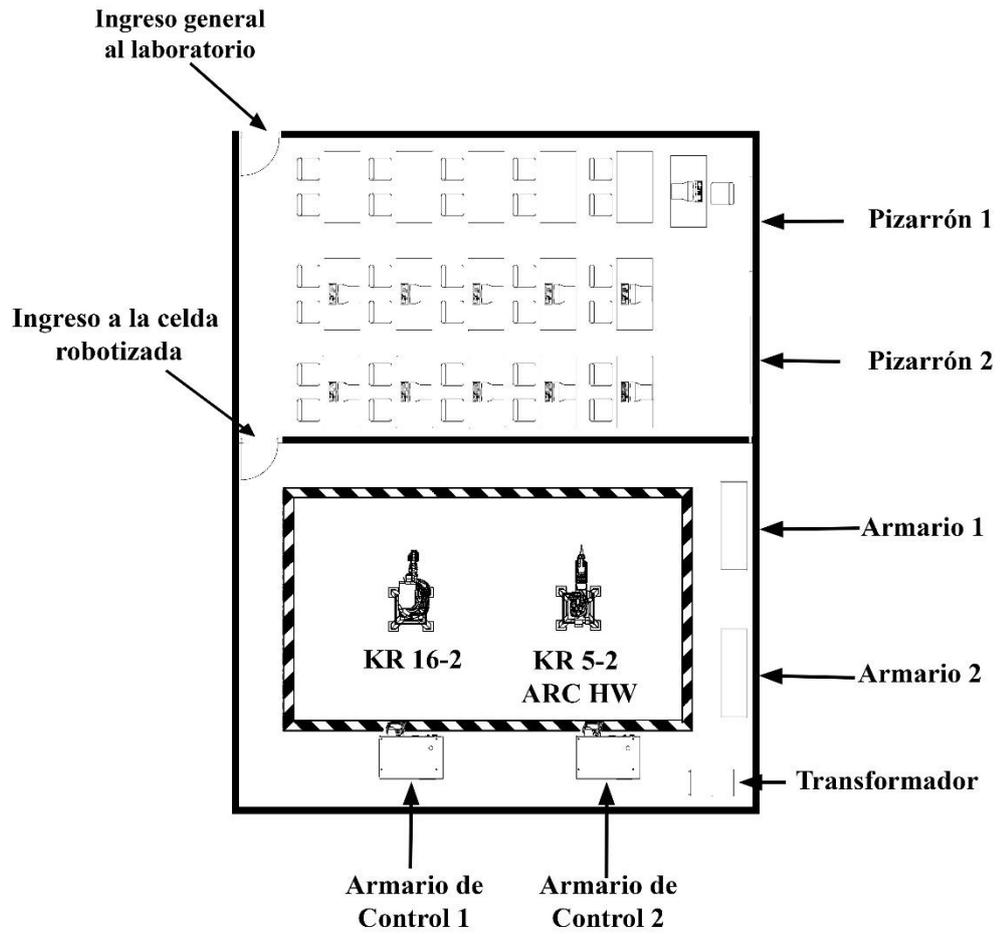
El constructivismo propone que el ambiente de aprendizaje debe sostener múltiples perspectivas y la construcción de conocimiento. Esta teoría se centra en la construcción del conocimiento, no en su reproducción. Un componente importante del constructivismo es que la educación se enfoca en tareas auténticas. Estas tareas son las que tienen una relevancia y utilidad en el mundo real. Mientras, el aprendizaje significativo es el aprendizaje a través del cual los conocimientos, habilidades y destrezas, valores y hábitos adquiridos pueden ser utilizados en circunstancias que viven o vivirán los estudiantes en el plano industrial.

Por otro lado, los métodos de aprendizaje que son utilizados son: el método deductivo, por descubrimiento y método cooperativo. Los mismos, servirán como instrumentos para plasmar las teorías dadas por los pedagogos expertos en educación en cada una de las prácticas de laboratorio. Como otro aspecto importante a tomar en cuenta son

las habilidades que al finalizar cada una de las prácticas desarrollará cada uno de los estudiantes. Para ello, es necesario planificar cada objetivo de aprendizaje basados en la temática y cuáles son las habilidades que utilizarán. Al aplicar estas teorías y metodologías la estructuración de las prácticas está formada por los siguientes puntos: Fundamento teórico, Desarrollo de la práctica y Autoevaluación.

### **3.2.DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA**

En la malla curricular de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana se estudia la materia de Robótica, misma que permite al estudiante integrar los conceptos de mecánica, sistemas de control, computación, electricidad y electrónica, en máquinas o procesos para dar soporte necesario al sector industrial. Por ésta razón la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca dispone de dos espacios de trabajo para el estudio de dicha materia (véase figura 13). El primero: un espacio destinado a la cátedra de la materia y consta de 15 mesas con capacidad para dos estudiantes por mesa. Cuenta además con diez computadoras de escritorio, un proyector y dos pizarrones. En el segundo espacio se encuentran los brazos robots KUKA, KR 16-2 y KR 5-2 ARC HW (Véase figura 14), sus componentes de control KRC, componentes de programación KCP, pulsantes de parada de emergencia, fuente de alimentación, tomas de aire, armarios.



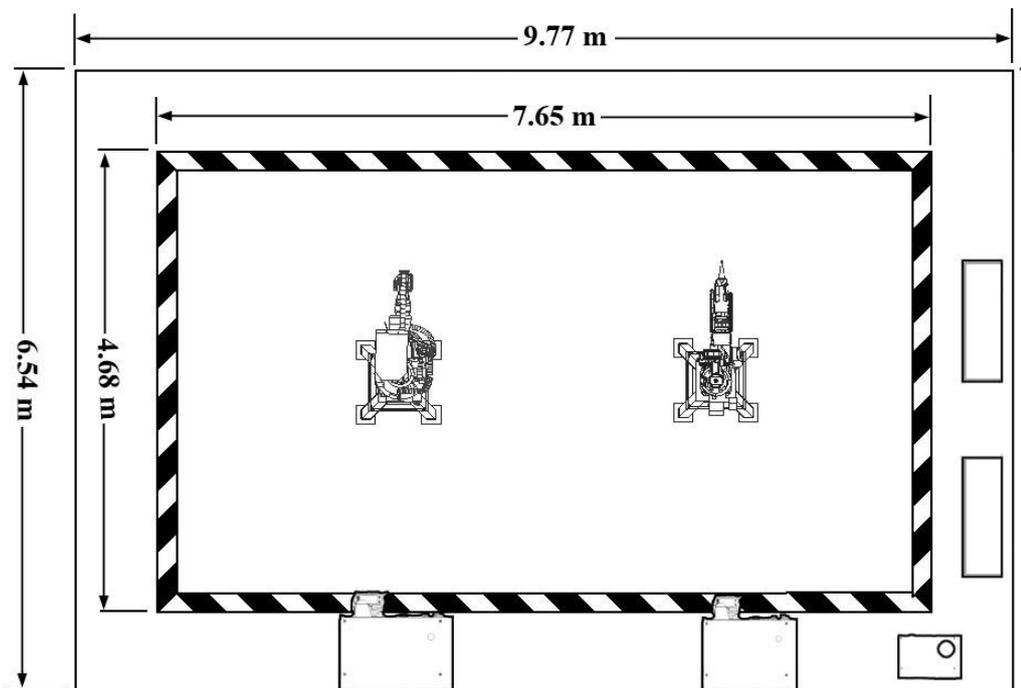
**Figura 13.** Distribución de los equipos y espacios de trabajo del laboratorio de Robótica



**Figura 14.** Robots KUKA KR 5-2 ARC HW y KR 16-2 en el laboratorio de robótica

### 3.2.1. Dimensiones y características

El laboratorio de robótica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca fue creado con la finalidad de combinar los conocimientos teóricos y prácticos de la materia de robótica para conseguir un mayor aprendizaje en los estudiantes, procurando alcanzar un conocimiento óptimo que brinde soporte técnico a los robots empleados en las industrias locales y fomentar el incremento del uso de la robótica. Por esta razón en el laboratorio de robótica se puede accionar los robots KUKA como prácticas de resolución de problemas del ámbito industrial. Los dos robots KUKA se encuentran localizados en la celda robotizada (segundo espacio de trabajo) que tiene las siguientes dimensiones: de largo 9.77 m y de ancho 6.54 m (Véase Figura 15). Su área de precaución está delimitada por una cinta colocada en el piso de 7.65 m de largo y 4.68 m de ancho (Véase Figura 15). El área de trabajo está definido como el lugar geométrico que puede alcanzar el extremo final del robot con cualquier orientación. Este espacio es restringido para el operario cuando los robots estén siendo accionados.



**Figura 15.** Dimensiones del Laboratorio de Robótica

Las características ambientales del laboratorio garantizan el correcto funcionamiento de los robots ya que se encuentra libre de humedad y posee luz solar con lo que el

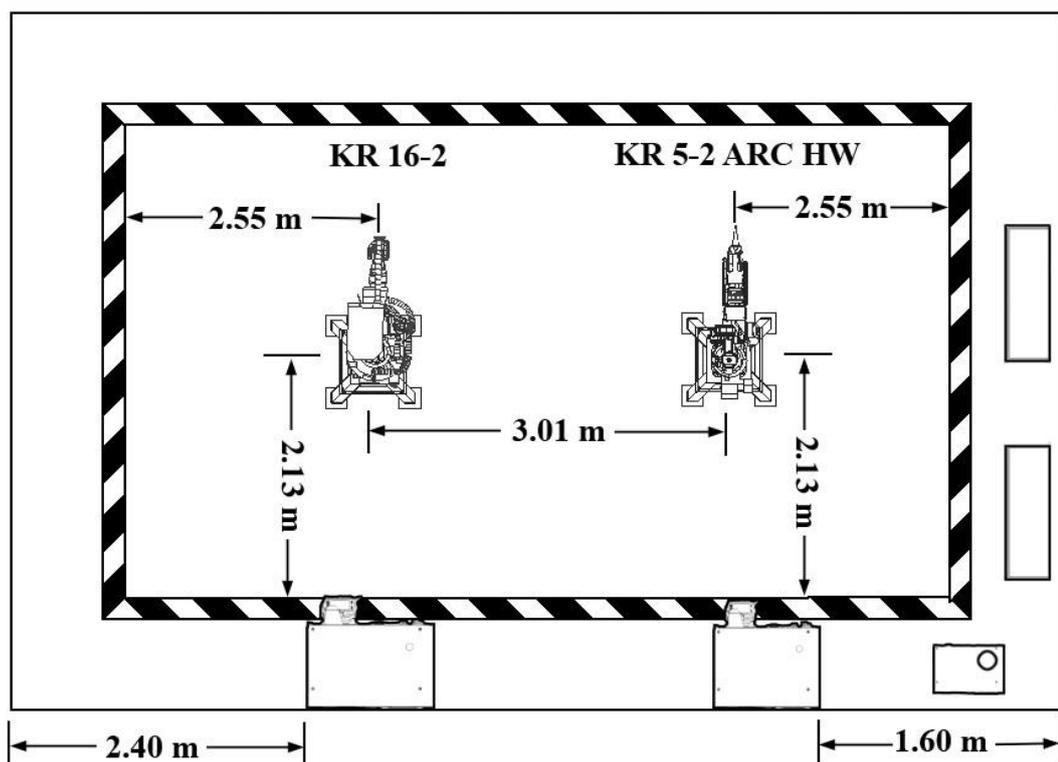
ambiente de trabajo es seco y de esta manera los robots y los equipos usados en el laboratorio no serán afectados por la corrosión.

### 3.2.2. Ubicación de los robots y sus componentes

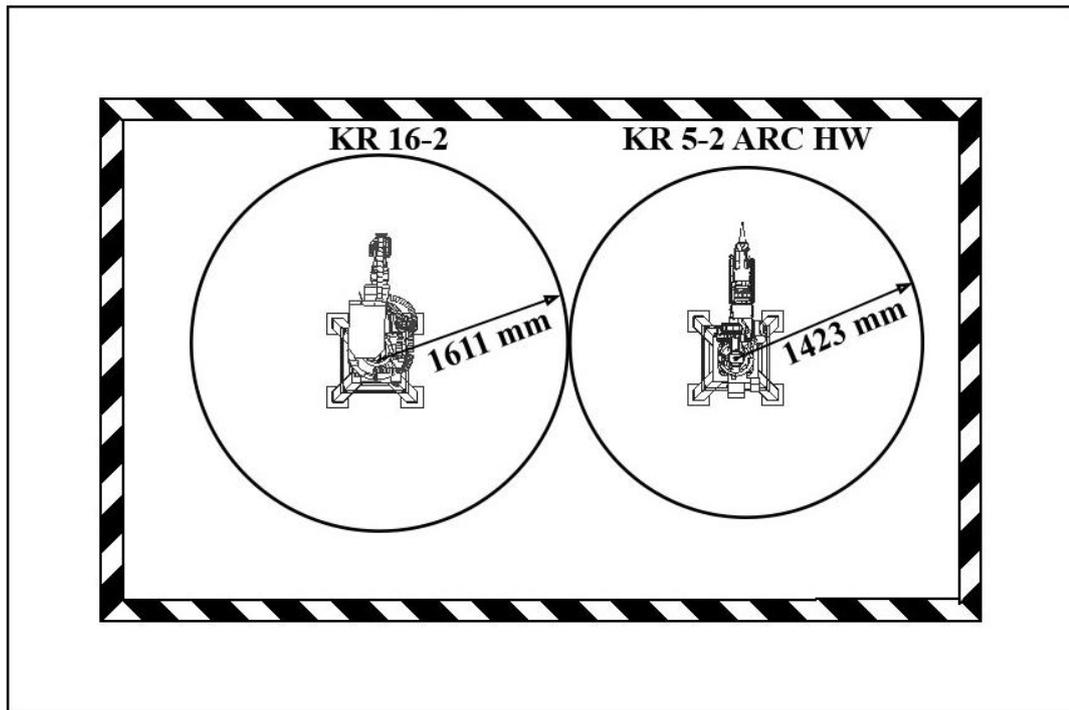
#### Ubicación de los robots

Los robots se encuentran colocados considerando sus respectivos volúmenes de trabajo para evitar colisiones entre ellos y elementos del laboratorio.

El robot KR 16-2 se encuentra localizado a 2.55 m de la cinta de precaución vertical y 2.13 m con respecto a la cinta horizontal (Véase Figura 16). El robot KR 5-2 ARC HW en tanto, se ubica a 2.13 m de la cinta de precaución vertical y 2.13 m con respecto a la cinta horizontal (Véase Figura 16). La distancia entre robots es de 3.01 m. Dicha distancia es adecuada para que ellos (sin herramienta) no colisionen entre sí (Véase Figura 17) en caso de que realicen un trabajo en un punto intermedio entre los mismos.



**Figura 16.** Ubicación de los Robots KR 16-2 y KR 5-2 ARC HW



**Figura 17.** Área de Trabajo de los Robots KR 16-2 y KR 5-2 ARC HW

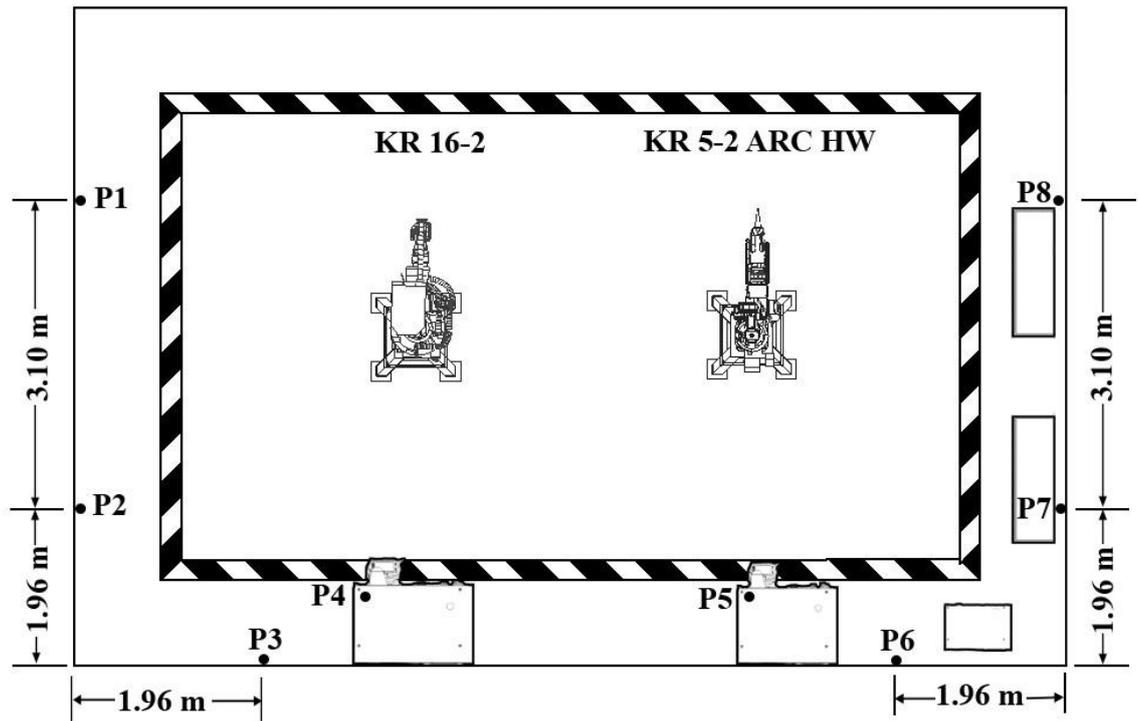
#### **Ubicación de los elementos de control KRC y programación KCP**

El elemento de control KRC, la unidad manual de programación KCP y la fuente de alimentación de los robots, se encuentran localizados en la parte externa del área de precaución del laboratorio de robótica (Véase Figura 18). El elemento de control KRC del robot KR 16-2 se encuentra localizado a 2.40 m con respecto a la pared vertical del laboratorio y sobre él se encuentra montado su unidad manual de programación KCP; y, el elemento de control KRC del robot KR 5-2 ARC HW a 1.60 m desde la pared vertical del laboratorio (Véase Figura 16) y sobre él se encuentra montado su unidad manual de programación KCP.

#### **Ubicación de los pulsantes de parada de emergencia.**

Los pulsantes de parada de emergencia se ubican en sitios cercanos a los elementos de control KRC de los robots.

Existen ocho pulsantes de parada de emergencia, de los cuales 4 están habilitados para el robot KR 16-2 y 4 para el KR 5-2 ARC HW. La distribución de los pulsantes en el laboratorio se puede ver en la figura 18.



**Figura 18.** Ubicación de los pulsadores de parada de emergencia

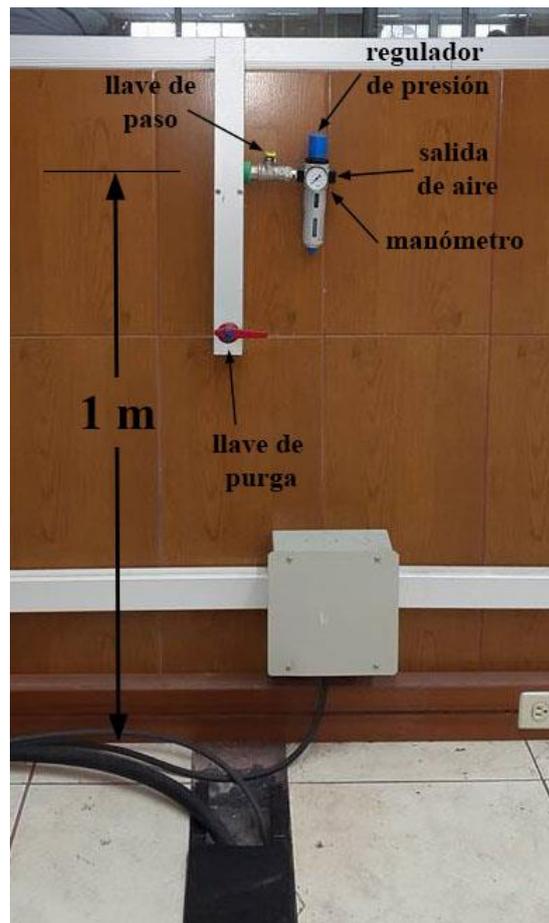
Los pulsantes P1, P2, P3, P6, P7, P8 están anclados a las paredes del laboratorio a una altura de 1.15 m (Véase Figura 19). Los pulsantes P4 y P5 se encuentran colocados en los KRC de los robots.



**Figura 19.** Pulsador de parada de emergencia

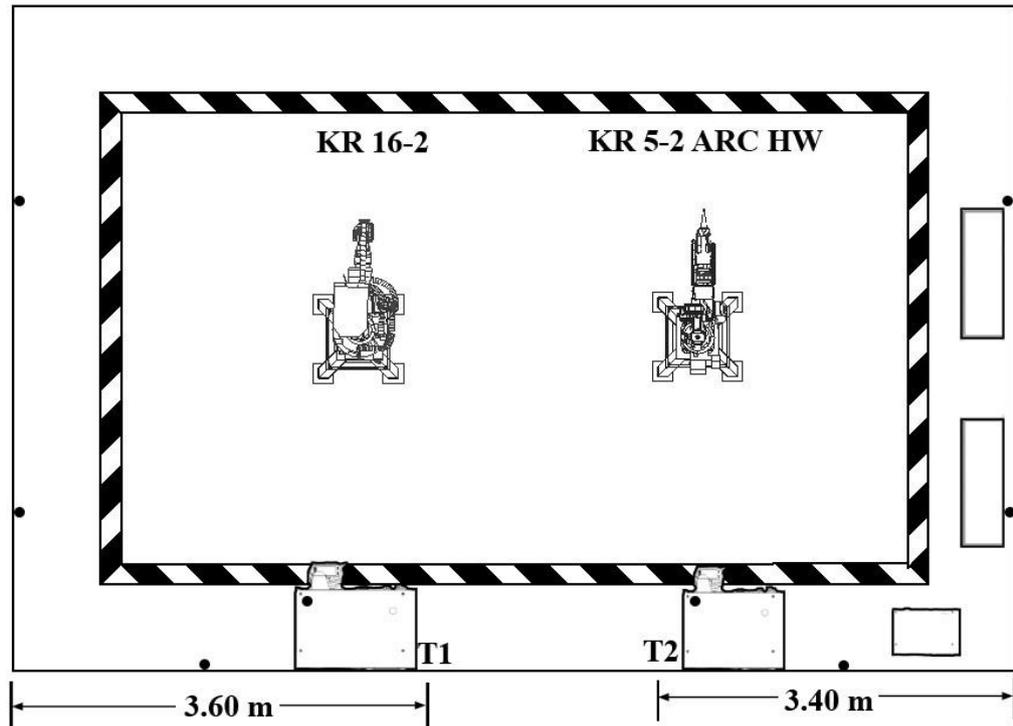
## Ubicación de las tomas de aire

El laboratorio de robótica cuenta con dos fuentes neumáticas para accionar las herramientas de los robots en caso de que se lo requiera. Cada fuente neumática está conformada por una unidad de mantenimiento para proteger las válvulas y actuadores a los que se dirige el aire. La unidad de mantenimiento consta de un regulador de presión con manómetro cuya función consiste en mantener la presión constante, para evitar fluctuaciones que pongan en riesgo el funcionamiento de la instalación.



**Figura 20.** Toma de Aire

Las tomas de aire se anclan en la pared cerca de los KRC de los robots a una altura de 1 m (Véase Figura 20) y son usados para habilitar el funcionamiento de herramientas neumáticas como en el caso del KR 16-2 que posee con gripper neumático de acción on-off. La distribución de las tomas de aire del laboratorio se pueden observar en la figura 20; T1 es la número uno ubicada a 3.60 m de la pared vertical y T2 la número dos a 3.40 m de la pared vertical (Véase Figura 21).



**Figura 21.** Ubicación de las Tomas de aire

### **3.3.TEORÍAS Y MÉTODOS DE APRENDIZAJE APLICADOS AL DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

A través de la historia se han impartido tipos de aprendizaje memorísticos, repetitivos, en los cuales los estudiantes no son capaces de desarrollar conocimientos extras a los determinados por un maestro o una guía de aprendizaje; sin embargo, en los últimos tiempos han surgido nuevos paradigmas como la teoría del aprendizaje significativo o el aprendizaje constructivista. Estos permiten que los estudiantes generen sus propios conocimientos por medio de experiencias previas o conocimientos previos relacionándolos con un contexto real cambiando la manera abstracta de enseñanza tradicional.

Con este antecedente, el diseño y elaboración de las prácticas de laboratorio de robótica industrial, consiste en direccionar a las y los estudiantes a crear sus propios conocimientos basados en aquellos que precedieron y los actuales que surgen a raíz de procesos de asimilación y acomodación. Asimilación como resultado de la captación de información exterior a estructuras ya existentes y la acomodación como la modificación de las estructuras de conocimientos [15]. Así cada estudiante poseerá la información y el conocimiento necesario brindado en las prácticas de laboratorio que

será complementado con nuevos adquiridos a través de la experimentación y observación que realice en el laboratorio.

### **3.3.1. Teoría del aprendizaje significativo**

El aprendizaje significativo es el aprendizaje a través del cual los conocimientos, habilidades y destrezas, valores y hábitos adquiridos pueden ser utilizados en circunstancias que viven o vivirán las y los estudiantes. Mientras que, el aprendizaje constructivista se basa en la creación a través de las experiencias y conocimientos previos.

Para el Psicólogo Estadounidense David Ausubel, las y los estudiantes son conscientes de los contenidos que desean aprender, de esta manera un estudiante aprende cuantos conocimientos le resulten interesantes y puedan atribuírseles algún significado. Según Ausubel para concebir un aprendizaje significativo es necesario poseer estructuras de conocimientos anteriores, elementos necesarios o experiencias que permitan a los nuevos conocimientos y experiencias fortalecerse. Es por esta razón que el aprendizaje según Ausubel se desarrolla a partir de dos ejes elementales: la actividad constructiva y la interacción con los otros. Esta actividad consiste en establecer relaciones entre el nuevo contenido y sus esquemas de conocimiento [15] que no basta únicamente mantener una estructura cognitiva previa, para encajar conocimientos nuevos, sino además que aquellos contenidos impartidos consistan en información relevante, trabajada, estructurada, mantenga coherencia y lógica.

Parte esencial del aprendizaje significativo radica en la labor que desempeña el docente durante el proceso de enseñanza-aprendizaje; sin embargo, el objetivo fundamental de este proceso es el autoaprendizaje sin la necesidad de un docente al frente que genere un conocimiento previo. En lugar del docente, se presenta un una guía teórica en la cual los estudiantes podrán referirse para generar sus experiencias y conocimientos. Es por esta razón que el contenido de las guías de aprendizaje deben ser potencialmente significativas y el estudiante debe estar motivado a aprender; así, el aprendizaje será útil, funcional y aplicable en cualquier contexto.

Las condiciones necesarias para aplicar el aprendizaje significativo son:

- Lo que va a aprender el estudiante debe ser representativo, es decir tener sentido lógico, secuencia y estar de acuerdo al nivel intelectual del estudiante.

- El estudiante debe estar dispuesto y tener una actitud favorable ante un nuevo proceso de aprendizaje.
- La información debe ser pertinente para que el estudiante pueda relacionarlo con ideas que se encuentren dentro de sus conocimientos previos.
- El material informativo se encuentre correctamente estructurado y que el nuevo conocimientos tenga una relación directa con lo que el estudiante ya conoce.

Para plasmar estos conceptos en las prácticas de laboratorio, es necesario contar con metodologías de aprendizaje que permitan a los estudiantes adquirir y desarrollar habilidades y aptitudes, adquirir información desarrollando nuevas relaciones conceptuales y desarrollar objetivos formativos [18]. Entre los métodos utilizados en la teoría del aprendizaje significativo se encuentran los métodos por descubrimiento, deductivo y cooperativo.

### **3.3.2. Teoría del aprendizaje constructivista**

El constructivismo propone que el ambiente de aprendizaje debe sostener múltiples perspectivas o interpretaciones de realidad, construcción de conocimiento, actividades basadas en experiencias ricas en contexto. Esta teoría se centra en la construcción del conocimiento, no en su reproducción. Un componente importante del constructivismo es que la educación se enfoca en tareas auténticas. Estas tareas son las que tienen una relevancia y utilidad en el mundo real [24].

El ambiente de aprendizaje constructivista se puede diferenciar por ocho características: 1) el ambiente constructivista en el aprendizaje provee a las personas del contacto con múltiples representaciones de la realidad; 2) las múltiples representaciones de la realidad representan la complejidad del mundo real; 3) el aprendizaje constructivista se enfatiza al construir conocimiento dentro de la reproducción del mismo; 4) el aprendizaje constructivista resalta tareas auténticas de una manera significativa en el contexto en lugar de instrucciones abstractas fuera del contexto; 5) el aprendizaje constructivista proporciona entornos de aprendizaje como entornos de la vida diaria o casos basados en el aprendizaje en lugar de una secuencia predeterminada de instrucciones; 6) los entornos de aprendizaje constructivista fomentan la reflexión en la experiencia; 7) los entornos de aprendizaje constructivista permiten el contexto y el contenido dependiente de la construcción del conocimiento; 8) los entornos de aprendizaje constructivista apoyan la construcción colaborativa del

aprendizaje, a través de la negociación social, no de la competición entre los estudiantes para obtener apreciación y conocimiento.

Las ideas del constructivismo trajeron como resultado avances importantes de cómo funciona el entendimiento cognitivo en las personas. Brinda un aporte importante sobre la incidencia de los ambientes de trabajo en el aprendizaje de un estudiante; es así, que una sala de clases tradicional sin ningún tipo de herramienta que enlace la teoría impartida con el contexto real, brindan un pobre aporte a la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes. Es por esta razón que se toman ciertos parámetros con los cuales se efectiviza el conocimiento como la participación en grupos y la conexión con el contexto del mundo real.

La participación en grupos como un contexto social según Vygotsky brinda a los estudiantes una manera más exitosa de llevar a cabo tareas y procedimientos, habilidades en tareas complejas. Llevar a cabo tareas en grupo les proporciona una oportunidad en la que no sólo empiezan a comprender y adoptar ideas de los demás, sino también empiezan a discutir sus actividades y hacen que sus pensamientos sean visibles. El aprendizaje está relacionado con el significado y el uso correcto de las ideas, símbolos y representaciones. A través de las conversaciones sociales y los gestos, los estudiantes pueden proporcionar consejos explícitos, resolver confusiones y asegurar que sus errores sean corregidos.

Las conexiones con el contexto del mundo real trata de solucionar uno de los inconvenientes que se encuentra en el aprendizaje de los estudiantes que es la frecuencia con la que fracasan en el momento de aplicar lo aprendido en el aula a los problemas con los que se enfrentan en la vida real. Las investigaciones realizadas sobre el tema concluyen que las personas deben primero llegar a dominar los conceptos esenciales, no simplemente memorizar hechos y técnicas de solución de una manera simplificada o contextos artificiales. Las asignaciones típicas de resolución de problemas no ofrecen al estudiante la oportunidad de aprender cuándo aplicar ideas particulares, porque es usualmente obvio que las ideas correctas para emplear son aquellas que preceden inmediatamente al texto. El relacionar lo aprendido dentro de una cátedra con el contexto real puede proporcionar al estudiante herramientas excelentes para la aplicación de conceptos en una variedad de contextos, por lo tanto, rompen con el aislamiento artificial escolar llevando a situaciones del mundo real. Esta

relación entre las aulas y un ambiente real traen oportunidades para la participación activa de los estudiantes en la experimentación, diseño y reflexión [24].

Para potenciar el aprendizaje constructivista es necesario generar conceptos con una concepción clara que muestre las posibles aplicaciones en situaciones reales en las que el estudiante pueda asimilar fácilmente el nuevo conocimiento impartido como el manejo de un brazo robótico industrial en el que se describan sus partes y funcionamiento. Se debe también, conseguir que el estudiante observe, comprenda y critique las causas que originaron sus prejuicios y nociones erradas. Además, es necesario crear un clima para la libre expresión sin temor a equivocaciones; así, el estudiante podrá despejar sus inquietudes y construir un nuevo aprendizaje. Otra condición se da al inmiscuir al estudiante en la planificación del proceso de aprendizaje desde la selección de actividades hasta el análisis de los resultados [25].

### **3.3.3. Método por descubrimiento**

El aprendizaje por descubrimiento es una metodología de aprendizaje en la que el sujeto en vez de recibir los contenidos de forma pasiva, descubre los conceptos y sus relaciones reordenándolos para adaptarlos a su esquema cognitivo. La enseñanza por descubrimiento coloca en primer plano el desarrollo de las destrezas de investigación del estudiante y se basa principalmente en el método inductivo para la solución de problemas.

Entre las ventajas que presente este método se encuentran: Pone en primer plano los procesos de aprendizaje y en segundo lugar las acciones de enseñanza, el estudiante se coloca en primer plano como el constructor de su aprendizaje, busca el desarrollo cognoscitivo, con capacidad de comprender y resolver problemas en lugar de intelectualista, memorista y acumulador o almacenado, contribuye a la formación de la mentalidad cooperativa y de participación social inteligente, disminuye el olvido y la falta de interés y se puede aplicar en todas las asignaturas.

### **3.3.4. Método deductivo**

El método deductivo se trata de un procedimiento que consiste en desarrollar una teoría formulando puntos de partida o hipótesis básicas y deduciendo luego su consecuencia. Para ello un estudiante establecerá conclusiones generales basándose en hechos recopilados mediante la observación directa al realizar actividades planteadas en el aula de clase o el laboratorio.

Este método aplicado permite construir al estudiante conocimientos en base a fenómenos externos a lo planteado en el procedimiento de las guías de laboratorio o el fundamento teórico. Además, brinda al estudiante mejorar su capacidad de observación de experimentos, en búsqueda de situaciones diferentes a las establecidas en una guía de prácticas y que conlleven una mejor construcción de su conocimiento.

### **3.3.5. Método cooperativo**

El método de aprendizaje cooperativo es un enfoque que trata de organizar las actividades dentro del laboratorio para convertirlas en una experiencia social y académica de aprendizaje. Los estudiantes trabajan en grupo para realizar las tareas de manera colectiva. El aprendizaje en este enfoque depende del intercambio de información entre los estudiantes, los cuales están motivados tanto para lograr su propio aprendizaje como para acrecentar los logros de los demás.

Entre los elementos que conforman el aprendizaje cooperativo se encuentran grupos para el desarrollo de diversas actividades que puede desenvolverse a través de diversos instrumentos de trabajo [20], ya que las interacciones en el aula se dan de forma espontánea. Las principales ideas en el aprendizaje cooperativo se pueden definir en:

- Formación de grupos: Éstos son heterogéneos, donde se debe construir una identidad de grupo, práctica de la ayuda mutua y la valorización de la individualidad para la creación de una sinergia.
- Interdependencia positiva: Es necesario promover la capacidad de comunicación adecuada entre el grupo, para el entendimiento de que el objetivo es la realización de producciones y que éstas deben realizarse de forma colectiva.
- Responsabilidad individual: El resultado como grupo será finalmente la consecuencia de la investigación individual de los miembros. Ésta se apreciará en la presentación pública de la tarea realizada.

### **3.4.METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

La metodología utilizada para el diseño de las prácticas de laboratorio de robótica industrial son piezas claves para que cada estudiante asimile adecuadamente la información y los procedimientos para el manejo de un brazo robótico industrial. Para esto, se utilizarán los métodos de aprendizaje deductivo, cooperativo y por descubrimiento basados en las teorías de aprendizaje constructivista y significativo. Con estos métodos el estudiante estará en capacidad de asimilar y crear nuevos conocimientos basado en experiencias previas y en base a actividades que sean significativas como el desarrollo de problemas en la industria, en el cual, el conocimiento no se forme de manera abstracta sino en base a las competencias desarrolladas al cumplir con un objetivo de aprendizaje planteado implícitamente en la práctica.

El término objetivo de aprendizaje se aplica para una intención o propósito, es el resultado que se pretende obtener a través de un proceso de enseñanza-aprendizaje. Se expresa en forma de un enunciado que describe en términos de cambios conductuales lo que se espera del estudiante al finalizar la tarea. El objetivo no describe la actividad sino qué se logrará a través de la actividad. Además, los objetivos relacionan en su formulación las competencias, los conocimientos y las actitudes plasmados y evidencian en forma clara y precisa cuál es el aprendizaje que el estudiante debe lograr. Al mismo tiempo, un objetivo de aprendizaje será medible, específico, realista, alcanzable y circunscrito a un tiempo.

De esta manera, las prácticas son desarrolladas de manera secuencial, cuyos conocimientos adquiridos desde la primera práctica son requeridos en las prácticas posteriores, generando en los estudiantes conocimientos previos para la resolución de nuevas tareas y la creación de sus propios conocimientos. Otro aspecto implícito en el desarrollo de las prácticas está la construcción de conocimientos de forma deductiva, en el cual los estudiantes deben ser capaces de desarrollar procedimientos para la resolución de problemas puntuales dados en el ámbito de la industria, utilizando los conocimientos y competencias adquiridas en prácticas posteriores. Además, los problemas planteados permiten al estudiante asimilar de manera significativa el conocimiento, mediante el planteamiento de problemas en el ámbito real de una industria.

### **3.4.1. Estructura de las prácticas de laboratorio**

Basados en las teorías y métodos de aprendizajes constructivistas y significativos la estructura de las prácticas de laboratorio constan de las siguientes partes.

1. Objetivos
2. Fundamento Teórico
3. Desarrollo de la Práctica
4. Autoevaluación

#### **3.4.1.1.Objetivos**

Los objetivos plasmados en cada una de las prácticas, proporcionan las habilidades que el estudiante obtendrá al finalizar la práctica. Implícitos en estos objetivos se encuentra el objetivo de aprendizaje de cada una de las prácticas de laboratorio.

#### **3.4.1.2.Fundamento Teórico**

El fundamento teórico tiene como finalidad crear los conocimientos previos utilizados en la teoría del aprendizaje constructivista, para que el estudiante desarrolle mediante la experimentación y el desarrollo de las prácticas, nuevos conocimientos enfocados en la robótica industrial.

El diseño del marco teórico presenta al estudiante los conceptos básicos y necesarios para la realización de las prácticas con la finalidad que estas sean fácilmente legibles, entendibles estructural y conceptualmente y visualmente llamativas.

#### **3.4.1.3.Desarrollo de la Práctica**

El desarrollo de la práctica presenta al estudiante el proceso a seguir para realizar diferentes tareas enfocadas a la resolución de problemas en el ámbito industrial. Además, se encuentra en esta sección los materiales necesarios para la realización de cada una de las prácticas de laboratorio, a más de las consideraciones de seguridad necesarias para el manejo de los brazos robots KUKA localizados en el laboratorio de robótica industrial de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

#### **3.4.1.4.Autoevaluación**

La autoevaluación es un elemento clave en el proceso de evaluación. Autoevaluarse es la capacidad del estudiante para juzgar sus logros respecto a una tarea determinada,

significa describir cómo lo logró, cuándo y qué puede hacer para mejorar. La autoevaluación no es sólo una parte del proceso de evaluación sino un elemento que permite producir aprendizajes. Debe ser enseñada y practicada para que los estudiantes puedan llegar a ser sus propios evaluadores. A su vez, permite hacer inferencias sobre los logros, potenciales, aptitudes del estudiante permitiendo inferir el nivel de conocimiento creado al realizar las actividades planteadas dentro de cada práctica.

El punto inicial de la autoevaluación es diseñar pruebas de conocimientos sobre las tareas que realizaron y sobre el nivel de conocimiento teórico con el que cuenta el estudiante. Estas pruebas deben estar alineadas con el objetivo de aprendizaje de cada práctica y las habilidades que se desea que desarrollen los estudiantes. Así, las tareas para evaluar deben diseñarse para que sean oportunidades en las cuales los estudiantes puedan demostrar sus logros en el aprendizaje de la materia [26].

El modelo de autoevaluación desarrollado se basa en reactivos con preguntas de elección de elementos en las cuales existen una o varias respuestas correctas y una o varias respuestas denominadas distractores. Los distractores son respuestas verdaderas pero de un tema diferente al tema formulado por la pregunta con el objetivo de desarrollar la capacidad analítica del estudiante fortaleciendo los conocimientos adquiridos durante y después del desarrollo de la práctica en el laboratorio [26].

#### **3.4.2. Estructura capitular de las prácticas de laboratorio**

Las prácticas de laboratorio desarrolladas se encuentran organizadas por capítulos, que cuentan con sus respectivos objetivos generales, mismos que los estudiantes serán capaces de desarrollar al finalizar el conjunto de prácticas propuestas. A continuación se exponen los capítulos planteados con sus respectivas prácticas y objetivos. (Véase tabla 2).

#### **3.4.3. Estructura de las prácticas de laboratorio por objetivos de aprendizaje**

Las prácticas de laboratorio desarrolladas cuentan con objetivos de aprendizaje y habilidades que los estudiantes serán capaces de desarrollar al finalizar cada una de las prácticas. La descripción de las habilidades y objetivos por práctica se muestran en la tabla 3.

**Tabla 2.** Descripción de la organización de las prácticas de laboratorio por capítulos

Capítulo No.	Id.	Nombre de la Práctica
<p>Capítulo 1: Estructura básica y fundamentos de operación de brazos robots industriales</p> <p>Objetivo: Conocer los elementos que conforman de un sistema robótico industrial, su funcionamiento y manipulación por medio del brazo robot KUKA KR 5-2 ARC HW</p>	P1	Identificación de los componentes y subsistemas de un sistema robot KUKA
	P2	Unidad Manual de Programación KCP
	P3	Desplazamiento Manual del Robot
	P4	Calibración de ejes del brazo robot
<p>Capítulo 2: Sistemas de Coordenadas, características y aplicaciones</p> <p>Objetivo: Conocer el funcionamiento y características de los sistemas de coordenadas en los sistemas robóticos industriales para el trabajo con distintas herramientas y bases.</p>	P5	Sistema de coordenadas del sistema robótico KUKA
	P6	Aplicación del Sistema de Coordenadas Base
	P7	Aplicación del Sistema de Coordenadas de la Herramienta
<p>Capítulo 3: Programación básica de brazos robóticos industriales</p> <p>Objetivo: Conocer los fundamentos básicos de programación mediante la generación de trayectorias por medio de la programación de movimientos en el brazo robot KUKA KR 5-2 ARC HW.</p>	P8	Programación de movimientos del tipo PTP en modo Usuario
	P9	Programación de movimientos LIN y CIRC en modo Usuario
	P10	Programación de movimientos con posicionamiento aproximado y movimientos SPLINE
	P11	Aplicación de la programación de movimientos básicos en modo Usuario
	P12	Aplicación de la programación de movimientos básicos en modo Usuario

### 3.4.4. Objetivos de aprendizaje y habilidades Práctica 1: Identificación de los componentes y subsistemas de un sistema robot KUKA

**Tabla 3.** Descripción de la organización de las prácticas de por objetivos de aprendizaje y competencias

ID. Práctica	Competencias	
	Cognitivas	Afectivas
<b>P1</b> <b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Reconocer las partes y características de un sistema robótico industrial antropomorfo de seis ejes.	Identifica los componentes y subsistemas de un brazo robótico	Evita conductas de riesgo dentro del laboratorio
	Identifica los tipos de mensajes visualizados en la pantalla del KCP.	
	Identifica los ejes del manipulador KR 5-2 ARC HW	
	Identifica los topes por software de los ejes del manipulador KR 5-2 ARC HW.	
<b>P2</b> <b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Conocer el funcionamiento de la Unidad Manual de Programación en un sistema robótico industrial permitiendo el desplazamiento y visualización de la posición de cada uno de los ejes del brazo robot KUKA	Identifica las partes que conforman el KCP.	Toma decisiones responsables que no afecten la integridad de los equipos del laboratorio
	Visualiza procesos para el control del brazo robot usando el HMI de KUKA.	
	Ingresa valores y funciones para el control del brazo robot usando el HMI de KUKA	
	Configura valores y funciones para el control del brazo robot usando el HMI de KUKA	
<b>P3</b> <b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Aplicar los métodos de desplazamiento manual de un sistema robótico industrial posicionando el brazo robot en puntos definidos en el espacio mediante el uso de la unidad manual de programación.	Manipula los diferentes sistemas de desplazamientos del robot KR 5-2 ARC HW.	Trabaja en equipo para la resolución de problemas planteados en el procedimiento de la práctica de laboratorio.
	Manipular los métodos de desplazamiento del robot KR 5-2 ARC HW.	
	Configurar la velocidad de desplazamiento manual y el valor de desplazamiento manual incremental.	

ID. Práctica	Competencias	
	Cognitivas	Afectivas
<p><b>P4</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Conocer el proceso de calibración de ejes de un brazo robótico industrial para su calibración mediante el uso de la unidad electrónica de ajuste de KUKA.</p>	Entiende el proceso de calibración de los robots industriales KUKA	Evita conductas de riesgo dentro del laboratorio
	Calibra el robot KR5-2 ARC HW mediante el uso de la Unidad Electrónica de Ajuste.	
	Configurar la velocidad de desplazamiento manual y el valor de desplazamiento manual incremental.	
<p><b>P5</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Aplicar los sistemas de coordenadas para el trabajo con distintas herramientas y superficies de trabajo.</p>	Identifica los sistemas de coordenadas utilizadas por los sistemas robóticos KUKA.	Toma decisiones responsables que no afecten la integridad de los equipos del laboratorio
	Define la posición y orientación del sistema de coordenadas BASE en un nuevo plano de trabajo	
	Define la posición y orientación del sistema de coordenadas TOOL de la herramienta montada en la brida de acople del brazo robot KUKA KR 5-2 ARC HW.	
<p><b>P6</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Desarrollar procedimientos para la resolución de problemas dados en la industria y planteados dentro de un caso de estudio mediante la utilización del sistema de coordenadas BASE.</p>	Configura distintos planos de trabajo usando el sistema de coordenadas BASE del sistema robótico KUKA.	Trabaja en equipo para la resolución de problemas planteados en el procedimiento de la práctica de laboratorio.
	Usa los distintos planos de trabajo configurados en el sistema de coordenadas BASE.	
	Desplaza el extremo final del brazo robot KR 5-2 ARC HW por los planos de trabajo configurados utilizando el sistema de coordenadas BASE.	

ID. Práctica	Competencias	
	Cognitivas	Afectivas
<p><b>P7</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Desarrollar procedimientos para la resolución de problemas dados en la industria y planteados dentro de un caso de estudio mediante la utilización del sistema de coordenadas TOOL.</p>	Configura el sistema de coordenadas de la herramienta usando el sistema de coordenadas TOOL del brazo robot KR 5-2 ARC HW	Evita conductas de riesgo dentro del laboratorio
	Usa la herramienta configurada en el sistema de coordenadas TOOL.	
<p><b>P8</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Programar movimientos del tipo PTP para el desarrollo de tareas específicas.</p>	Desplaza el extremo final del robot KR 5-2 ARC HW por distintos planos de trabajo utilizando el sistema de coordenadas TOOL.	Toma decisiones responsables que no afecten la integridad de los equipos del laboratorio
	Conoce la estructura básica de un programa en modo usuario del KUKA Robot Language (KRL)	
	Manipula carpetas y ficheros dentro de la ventana de navegador del sistema robótico KUKA.	
	Programa movimientos del tipo punto a punto en modo usuario.	
<p><b>P9</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Programar movimientos del tipo LIN y CIRC para el desarrollo de tareas específicas.</p>	Implementa movimientos del tipo punto a punto para la el desplazamiento automático del extremo final del brazo robot KR 5-2 ARC HW.	Trabaja en equipo para la resolución de problemas planteados en el procedimiento de la práctica de laboratorio.
	Conoce los formularios de programación para movimientos LIN y CIRC.	
	Configura los parámetros de movimiento en formularios INLINE	
	Implementa movimientos lineales y circulares para la el desplazamiento automático del extremo final del brazo robot KR 5-2 ARC HW.	

ID. Práctica	Competencias	
	Cognitivas	Afectivas
<p><b>P10</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Programar movimientos aproximados y SPLINE para el desarrollo de tareas específicas.</p>	Conoce las características del posicionamiento aproximado y su funcionamiento	Evita conductas de riesgo dentro del laboratorio
	Conoce el funcionamiento de los movimientos lineales, circulares y punto a punto utilizando el posicionamiento aproximado	
	Implementa movimientos con posicionamiento aproximado lineales, circulares y puntos a punto para el desplazamiento del extremo final del brazo robot KR 5-2 ARC HW	
	Conoce las características de los movimientos SPLINE y su funcionamiento.	Toma decisiones responsables que no afecten la integridad de los equipos del laboratorio
	Conoce el funcionamiento de los movimientos lineales, circulares y punto a punto utilizando SPLINE	
	Implementa movimientos SPLINE lineales, circulares y puntos a punto para el desplazamiento del extremo final del brazo robot KR 5-2 ARC HW	
<p><b>P11</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Desarrollar procedimientos para la resolución de problemas dados en la industria y planteados dentro de un caso de estudio mediante la programación de movimientos PTP, LIN y CIRC en el brazo robot KUKA.</p>	Configura distintos planos de trabajo usando el sistema de coordenadas BASE del sistema robótico KUKA.	Trabaja en equipo para la resolución de problemas planteados en el procedimiento de la práctica de laboratorio.
	Implementa distintos tipos de movimientos para la el desplazamiento automático del extremo final del brazo robot KR 5-2 ARC HW	
	Realizar tareas de manera automática sobre los planos de trabajo configurados usando el sistema de coordenadas BASE.	

ID. Práctica	Competencias	
	Cognitivas	Afectivas
<p><b>P12</b></p> <p><b>Objetivo de Aprendizaje:</b> Desarrollar procedimientos para la resolución de problemas dados en la industria y planteados dentro de un caso de estudio mediante la programación de movimientos aproximados y SPLINE en el brazo robot KUKA.</p>	Configura distintos planos de trabajo usando el sistema de coordenadas BASE del sistema robótico KUKA.	Evita conductas de riesgo dentro del laboratorio
	Implementa distintos tipos de movimientos para la el desplazamiento automático del extremo final del brazo robot KR 5-2 ARC HW	Toma decisiones responsables que no afecten la integridad de los equipos del laboratorio
	Realizar tareas de manera automática sobre los planos de trabajo configurados usando el sistema de coordenadas TOOL.	Trabaja en equipo para la resolución de problemas planteados en el procedimiento de la práctica de laboratorio.

## **CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

---

### **4.1.INTRODUCCIÓN**

En éste capítulo se realiza el análisis de los resultados recopilados en cuatro distintas formas que son: encuestas, autoevaluaciones, observación y grupo focal. La información recopilada de las encuestas fue tabulada y analizada con el fin de medir el nivel de satisfacción de los estudiantes con respecto al formato y el contenido de las prácticas. Por otro lado, las autoevaluaciones fueron usadas para medir si los objetivos de aprendizaje de cada práctica se cumplieron correctamente o no; los datos recopilados fueron tabulados y analizados de tal modo que se obtuvo el nivel de dificultad de cada práctica y de cada pregunta, se anotó también los datos estadísticos de cada pregunta de las prácticas para realizar el análisis respectivo. Se apuntaron también las observaciones realizadas durante la ejecución de las prácticas como el propósito de observar el desenvolvimiento de los estudiantes. Finalmente el grupo focal está enfocado a encontrar respuestas directamente de los estudiantes con respecto al desempeño de las prácticas realizadas, inconvenientes, fortalezas y posibles acciones de mejora. Para concluir con éste capítulo, se realizó un análisis FODA en el cual se sintetiza la información recopilada.

### **4.2.ENCUESTAS DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

#### **4.2.1. Actitudes y Escalas**

Según Fishbein y Ajzen, actitud es una predisposición para responder conscientemente de una manera favorable o desfavorable ante un objeto. Así, los seres humanos denotamos actitudes hacia muy diversos objetos. Las actitudes se relacionan con comportamientos que giran en torno a los objetos. Según Hernández Sampieri, las actitudes tienen diversas propiedades, entre las más importantes están la dirección (positiva o negativa) e intensidad (alta o baja) [28].

Las escalas son instrumentos muy utilizados para medir actitudes y valores; son una serie de ítems o frases que se seleccionan cuidadosamente, de tal forma que se emita un criterio válido para medir los fenómenos sociales. Existen tres tipos principales de escalas.

- Escala Thurstone.
- Escala Guttman.
- Escala de Likert.

#### **4.2.2. Escala de Likert**

La escala de Likert, contiene un conjunto de preguntas que busca valorar las actitudes, cada una de ellas con igual valor. Los sujetos que actuaron en la muestra, responden a las interrogantes señalando su acuerdo o desacuerdo. Generalmente se establecen cinco rangos, pero puede ser tres, siete o más [28].

Los indicadores del rango de valores de las escalas de Likert son:

1. Muy de acuerdo.
2. De acuerdo.
3. Indiferente.
4. En desacuerdo.
5. Muy en desacuerdo.

#### **4.2.3. Elaboración de encuestas**

Se elaboró una encuesta con la finalidad de recopilar información respecto al nivel de satisfacción del estudiante al realizar cada una de las prácticas del laboratorio propuestas en el manual de robótica industrial; para ello, se usó la escala de Likert con cinco rangos: totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo. Los cinco rangos de dicha escala fueron asignados con valores numéricos que van del 1 al 5.

La encuesta contiene diez preguntas, divididas en tres bloques que son: aspectos teóricos, aspectos visuales y tiempo y evaluación. La recopilación y sistematización de la información permitió verificar el nivel de satisfacción de los estudiantes que participaron en las prácticas de laboratorio.

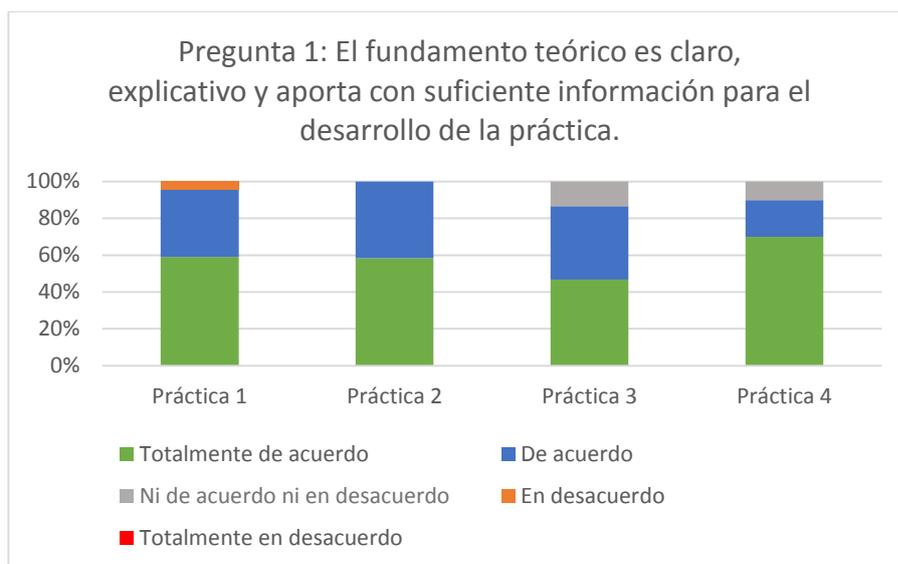
 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <b>SALESIANA</b> ECUADOR		1.	Totalmente en desacuerdo				
		2.	En desacuerdo				
		3.	Ni de acuerdo ni en desacuerdo				
		4.	De acuerdo				
		5.	Totalmente de acuerdo				
<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA</b> <b>ENCUESTA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL</b>							
No.	Pregunta	1	2	3	4	5	Observaciones
<b>ASPECTOS TEÓRICOS</b>							
1	El fundamento teórico es claro, explicativo y aporta con suficiente información para el desarrollo de la práctica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
2	Las imágenes son claras y explicativas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
3	El procedimiento está correctamente detallado y facilita el desarrollo de la práctica.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
4	La información se encuentra correctamente organizada, lo que facilita la lectura y comprensión de la práctica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>ASPECTOS VISUALES</b>							
5	El tamaño de las imágenes permite una correcta visualización de sus detalles.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
6	La distribución del texto e imágenes permite al estudiante un fácil manejo de la información.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
7	El tamaño del texto permite una clara lectura de los procedimientos y aspectos teóricos de la práctica.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>TIEMPO Y EVALUACIÓN</b>							
8	El tiempo para el desarrollo de la práctica fue el adecuado para llevar a cabo sin inconvenientes los procesos descritos en la práctica.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
9	La evaluación permite reforzar los conocimientos adquiridos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
10	El tiempo que le tomó leer la práctica en min fue de:	0-30		30-60		mas de 60	
Recomendaciones: _____							
_____							
_____							
_____							

**Figura 22.** Modelo de encuesta según la escala de Likert

En la figura 22 se muestra la encuesta que fue aplicada a los estudiantes de la materia de Robótica de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, los mismos que realizaron las prácticas de laboratorio propuestas en el manual. Se realizaron 24 encuestas de la práctica 1, 23 de la práctica 2, 17 de la práctica 3 y 12 de la práctica 4.

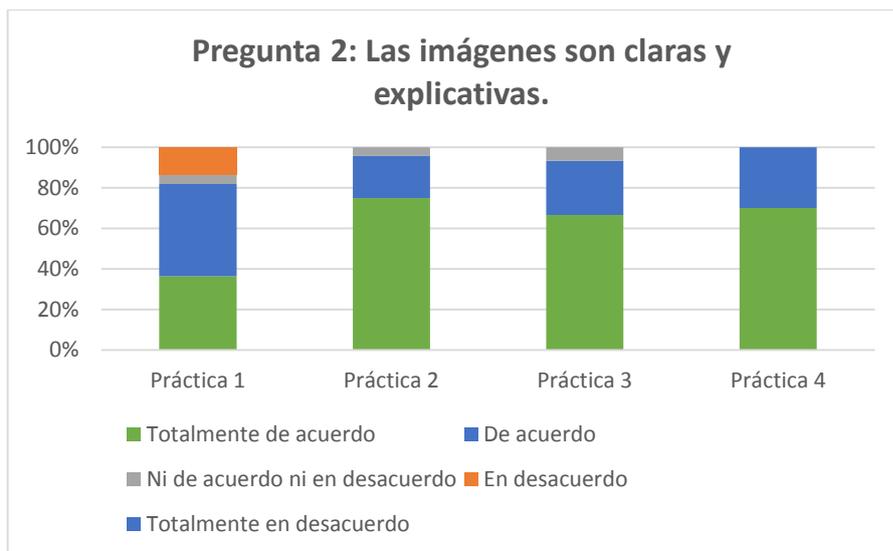
#### 4.2.4. Análisis de Resultados de las Encuestas

Se realizó el análisis de cada pregunta usando gráficos de columnas 100% apiladas de modo que se obtuvo nueve gráficos correspondientes a las preguntas planteadas, cada gráfica contiene 4 barras pertenecientes al número de prácticas realizadas y pueden tener cinco componentes de acuerdo al grado de satisfacción de los encuestados según la escala de Likert. A continuación se muestran las preguntas y los resultados de las encuestas.



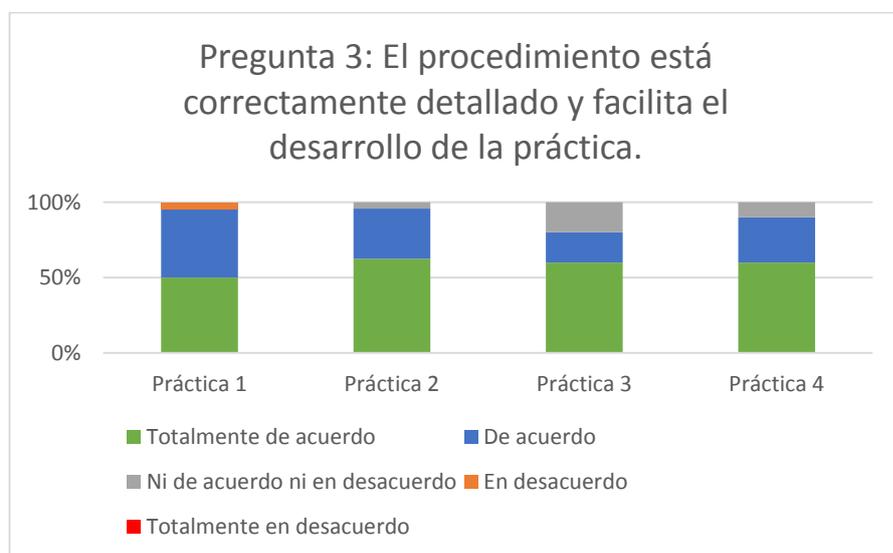
**Figura 23.** Resultados de la evaluación de la pregunta 1

Los estudiantes que están en desacuerdo con el fundamento teórico de las prácticas (Véase Figura 23) manifiestan, que es necesario adicionar información con más profundidad y detallar algunos procesos adicionales a la práctica, como el encendido y apagado de los sistemas robóticos. Por otra parte se pudo observar que los estudiantes no conocían el fundamento teórico descrito en las prácticas por lo que se puede inferir, que los estudiantes no leen o destinan muy poco tiempo para la lectura de la práctica antes de realizarla.



**Figura 24.** Resultados de la evaluación de la pregunta 2

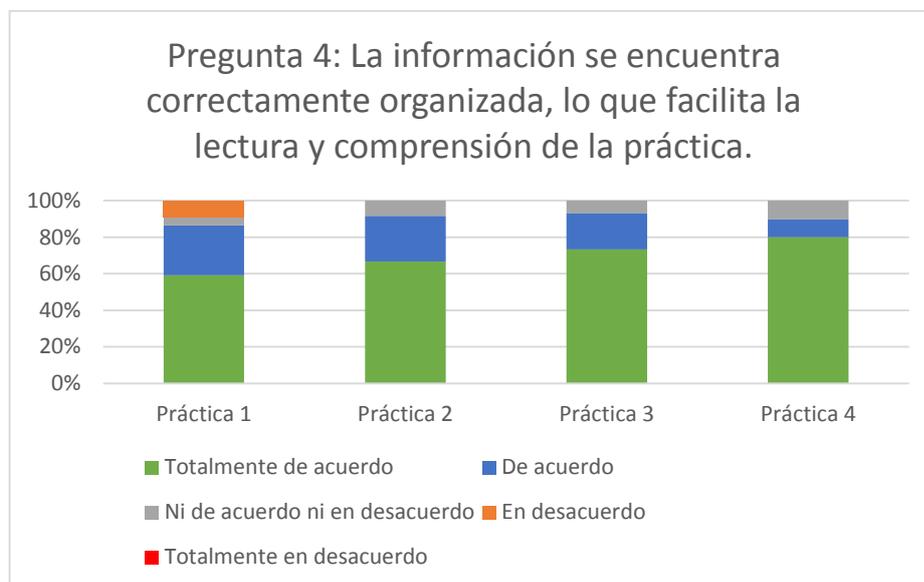
El porcentaje de estudiantes que están en desacuerdo con la claridad de las imágenes de la práctica 1, (Véase Figura 24) manifiestan que las imágenes confunden a los estudiantes por lo que se debería segmentar las imágenes para mostrar sus detalles por separado y evitar confusiones al momento de ser interpretadas.



**Figura 25.** Resultados de la evaluación de la pregunta 3

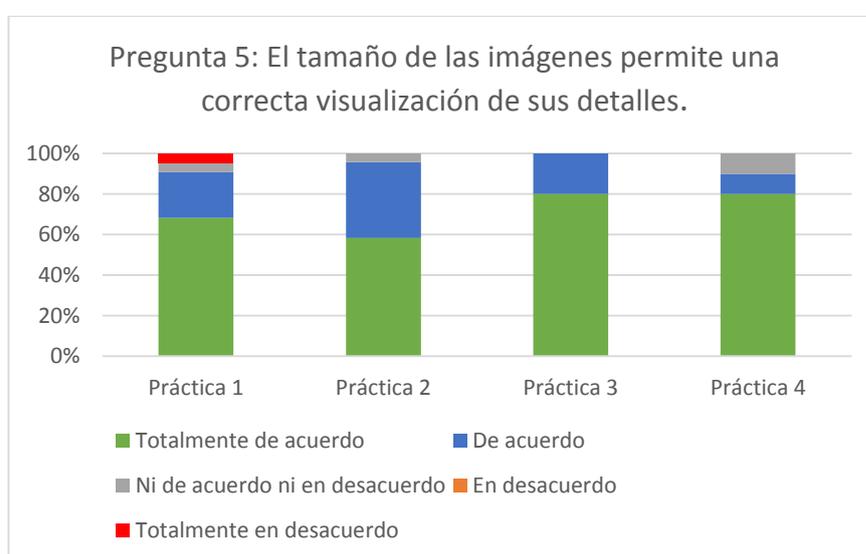
Los estudiantes que están en desacuerdo con el procedimiento anotado en las prácticas, (Véase Figura 25) sugieren que se usen más imágenes para explicar algunos pasos del procedimiento; además de colocar imágenes que indiquen los resultados que se deben obtener. Un grupo de estudiantes manifiestan que para poder realizar el procedimiento de la práctica 3 es necesario incluir algunos pasos del procedimiento de las prácticas 1

y 2, lo que refleja, que lo presentado en las prácticas 1 y 2 no fue correctamente asimilado.



**Figura 26.** Resultados de la evaluación de la pregunta 4

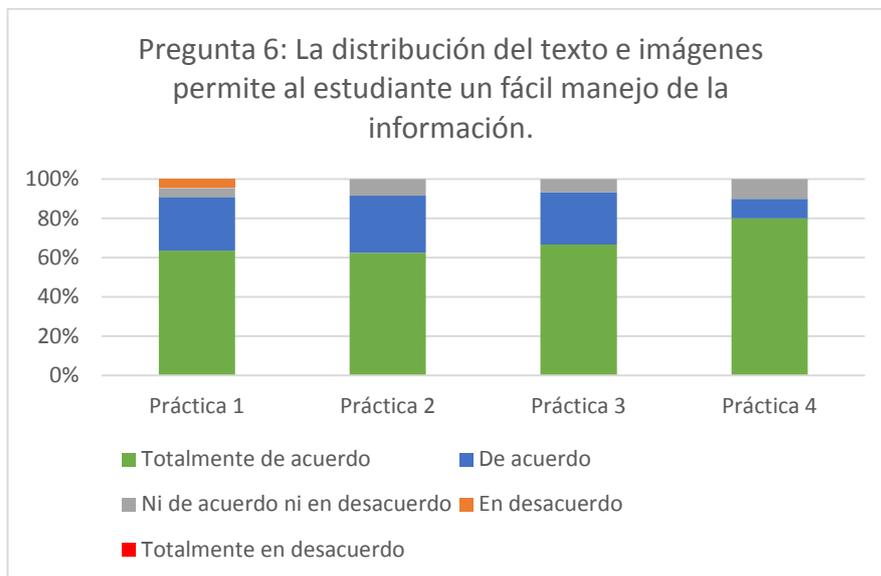
La inclusión de imágenes en el procedimiento, facilitaría el trabajo a los estudiantes, pero se extendería el tamaño de la práctica, pudiendo ocasionarse otro tipo de problemas como confusión en la interpretación de las imágenes.



**Figura 27.** Resultados de la evaluación de la pregunta 5

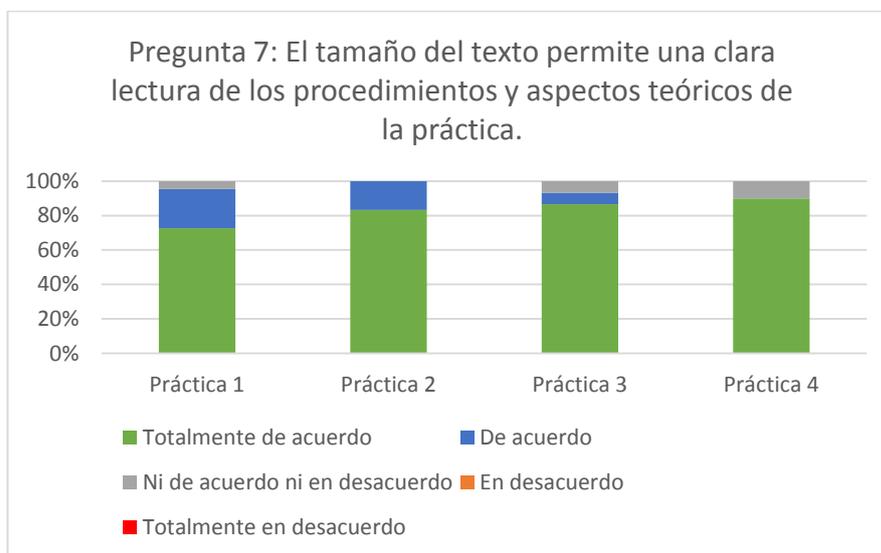
Para que las imágenes sean correctamente visualizadas, un grupo de estudiantes sugieren usar imágenes de mayor nitidez, mayor tamaño e imágenes a colores. (Véase Figura 27). Además se evidencia que algunas imágenes usadas en las prácticas son

difíciles de interpretar por su tamaño reducido lo cual es un problema para algunos estudiantes que tienen problemas visuales.



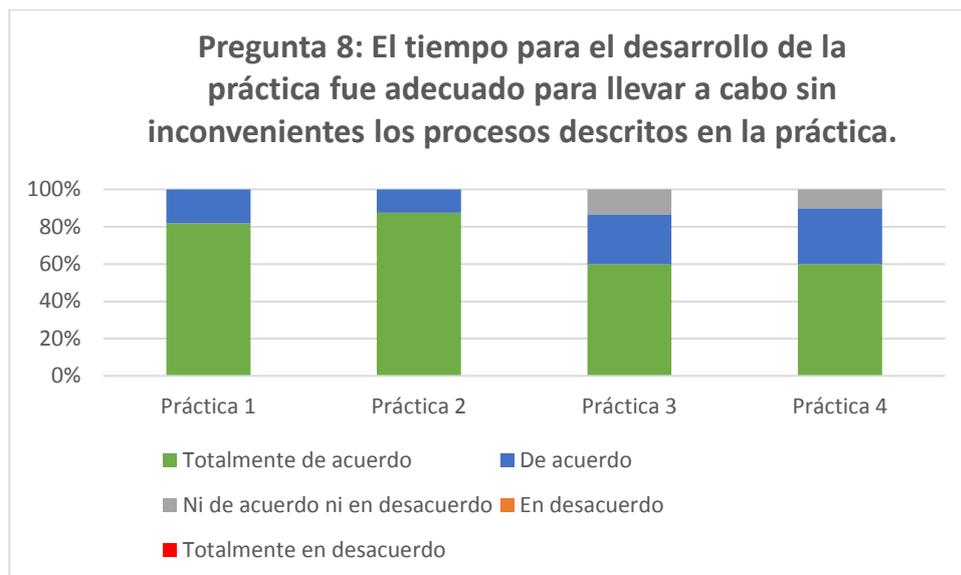
**Figura 28.** Resultados de la evaluación de la pregunta 6

Como una posible mejora de la distribución de texto e imágenes de la práctica, algunos estudiantes sugieren colocar las imágenes junto al texto en el que se mencionan (Véase Figura 28). Sin embargo la mayoría de estudiantes están de acuerdo con la distribución del texto e imágenes de las prácticas.



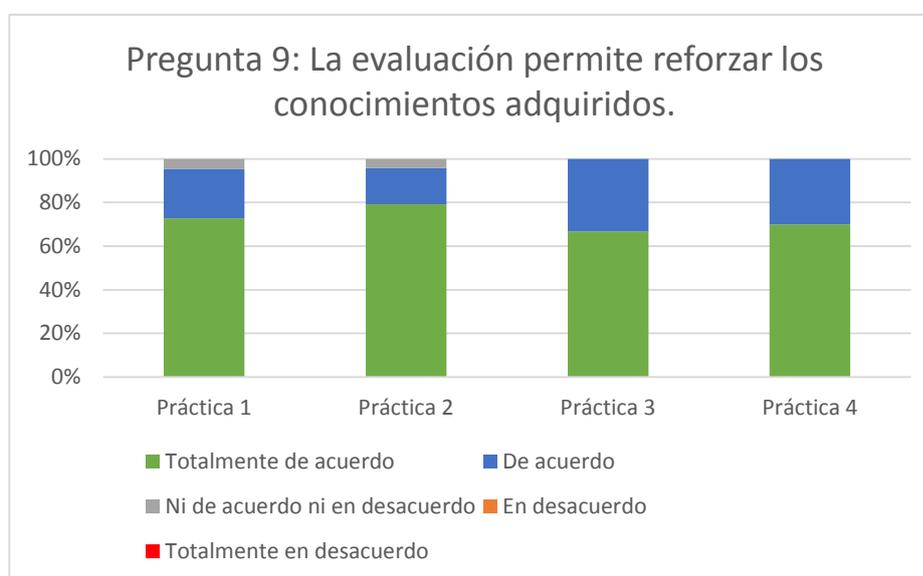
**Figura 29.** Resultados de la evaluación de la pregunta 7

Como se puede observar en la Figura 29, la mayoría de estudiantes están de acuerdo con el tamaño del texto y no existen recomendaciones con respecto a esta pregunta.



**Figura 30.** Resultados de la evaluación de la pregunta 8

Un grupo de estudiantes sugieren que el tiempo para realizar la práctica 3 debe ser de dos horas, ya que inicialmente se estableció como tiempo estimado una hora, sin embargo ningún grupo pudo realizar la práctica en ese tiempo. Probablemente la dificultad de la práctica 3 es más elevada de la que se planificó, sin embargo se constató que los estudiantes no leen con anterioridad el fundamento teórico de la práctica, lo que incrementa la duración de la práctica. (Véase figura 30)



**Figura 31.** Resultados de la evaluación de la pregunta 9

Los estudiantes manifiestan que las autoevaluaciones, sí permiten reforzar los conocimientos adquiridos sin embargo sugieren que las preguntas sean más claras y

las respuestas más específicas (Véase Figura 31). Algunas preguntas de las autoevaluaciones son netamente teóricas mismas que tienen un nivel de dificultad reducido, no así las preguntas teórico-prácticas en las que se necesitan de la generalización del conocimiento para responder correctamente.

### **4.3. AUTOEVALUACIONES DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

Las autoevaluaciones fueron aplicadas al finalizar cada una de las prácticas con el fin de verificar el cumplimiento de los objetivos planteados; evaluándose así los aspectos más relevantes. Este instrumento contiene cinco preguntas de opción múltiple, con cuatro a cinco opciones de respuesta. Cada una de las preguntas tiene un valor de un punto, que en total suman 5 puntos.

Se usó una escala de calificaciones que consisten en un listado de notas desde la mínima de 0 hasta la máxima de 5, que se adapta fácilmente a la calificación por criterios como se muestra a continuación:

- Menor a 3.5 → Insuficiente
- De 3.5 a 4 → Suficiente o Buena
- De 4 a 4.5 → Muy buena
- De 4.5 a 4.7 → Sobresaliente
- De 4.7 a 5 → Excelente

Usando el criterio de evaluación de la Universidad Politécnica Salesiana, es necesario que el estudiante obtenga una calificación mínima del 70% de la nota máxima para su aprobación, es decir 3,5 sobre 5.

#### **4.3.1. Autoevaluación práctica 1**

Está direccionada a evaluar el cumplimiento del siguiente objetivo:

- Reconocer las partes y características de un sistema robótico industrial antropomorfo de seis ejes.

Luego de realizar la práctica 1, se espera que los estudiantes hayan desarrollado las siguientes competencias: identificar los componentes y subsistemas mecánicos de un brazo robótico, identificar los tipos de mensajes visualizados en la pantalla del KCP, identificar los ejes del manipulador KR 5-2 ARC HW, identificar los topes por software de los ejes del manipulador KR 5-2 ARC HW.

A continuación se adjunta el instrumento de autoevaluación de la práctica 1.

## **AUTOEVALUACIÓN**

**Seleccione la/las respuestas correctas.**

**1. Al presionar el botón de hombre muerto hasta su estado de presión intermedia:**

- Se presenta un mensaje de confirmación de activación en el KCP.
- Se energiza la sección de potencia del brazo robot.
- El sistema se bloquea sin poder realizar el desplazamiento manual de los ejes.
- La tarjeta ESC se activa y conecta la alimentación de la sección de potencia.
- Los accionamientos se desconectan.

**2. Para confirmar un mensaje de estado de la pantalla del KCP producto de una falla del sistema es necesario:**

- La atención de la falla que produce el mensaje de estado.
- Energizar la sección de potencia para desbloquear los accionamientos y activar el teclado del KCP.
- Confirmar los mensajes únicamente con las teclas del menú inferior.
- Detener el movimiento del manipulador KR 5-2 ARC.

**3. Al accionar un pulsador de parada de emergencia se genera:**

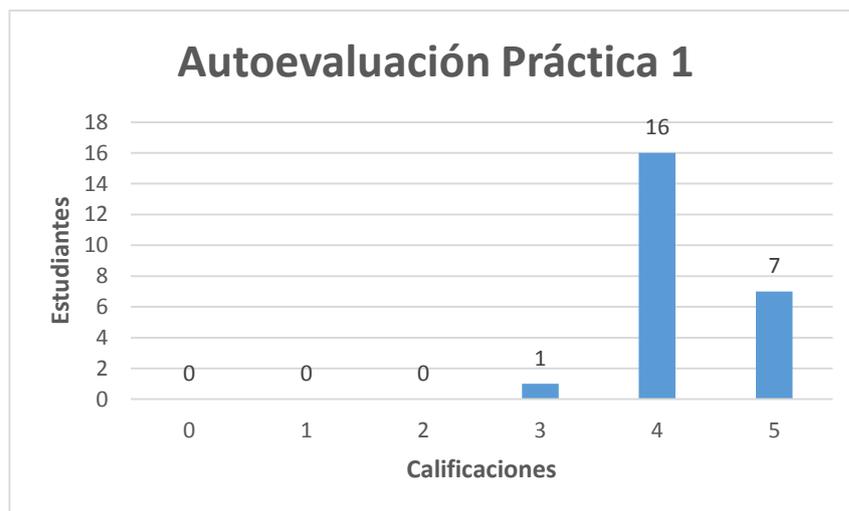
- Un mensaje de confirmación en la pantalla del KCP.
- La detención automática de los ejes y desconexión de accionamientos.
- El bloqueo de los comandos del KCP evitando el desplazamiento manual de los ejes.
- El bloqueo de los accionamientos al intentar desplazar manualmente los ejes del robot.
- La desconexión automática de la alimentación de la sección de potencia.

**4. Para realizar el desplazamiento manual de los ejes del robot:**

- Los mensajes de confirmación deben ser atendidos y confirmados.
- Los pulsadores de parada de emergencia deben encontrarse activados.
- El botón de hombre muerto debe mantenerse presionado en su estado de presión intermedia.

- Se debe presionar las teclas del menú derecho correspondientes a cada eje del robot.
- 5. Al alcanzar un tope por software con uno de los ejes del manipulador KR 5-2 ARC HW se produce:**
- Un mensaje de estado y bloqueo de los accionamientos del sistema.
  - Una parada de emergencia ante posibles daños en el sistema y un mensaje de estado indicando la causa del desperfecto.
  - El accionamiento del módulo ESC y bloqueo de los movimientos manuales de los ejes.
  - La interrupción del movimiento del eje en la dirección de bloqueo.

En la Figura 32 se presenta el histograma de las calificaciones que obtuvieron los estudiantes en la autoevaluación de la práctica 1.

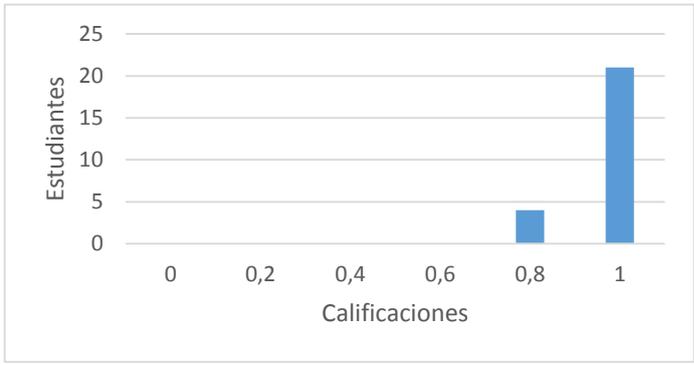
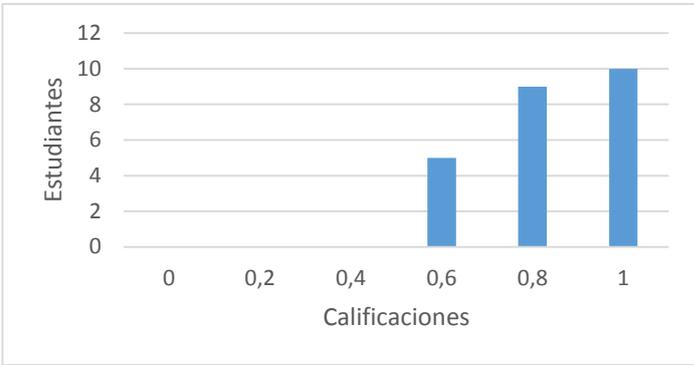
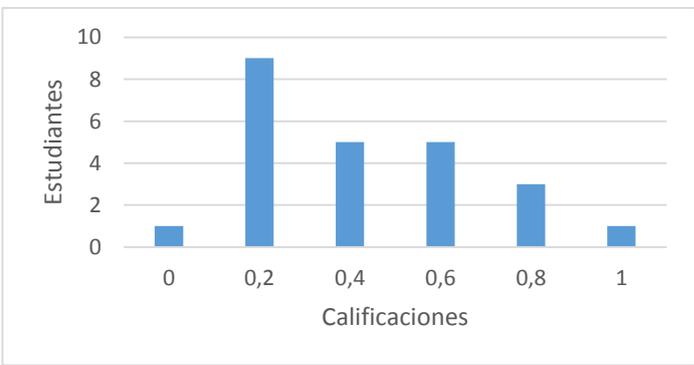
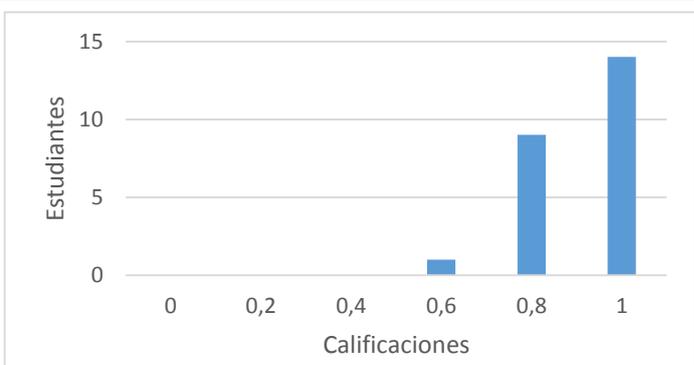


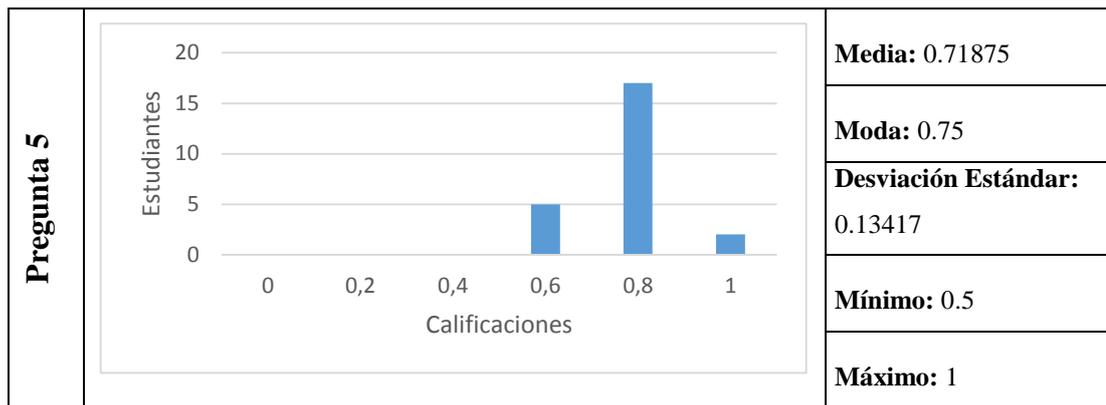
**Figura 32.** Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 1

En figura 31, el promedio alcanzado por los estudiantes es de 3,802 que equivale al 76% de la nota total, es decir que los resultados obtenidos fueron buenos o suficientes de acuerdo a las calificaciones por criterios. Por otra parte, la desviación estándar es de 0,4862, por lo tanto no hubo una dispersión amplia de las respuestas dando a entender que el cuestionario estuvo correctamente elaborado.

En la Tabla 4, se denota el análisis estadístico de cada pregunta de la autoevaluación de la práctica 1.

**Tabla 4.** Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 1

<b>Distribución de los estudiantes respecto a las calificaciones</b>		
<b>Pregunta 1</b>		<b>Media:</b> 0.966667
		<b>Moda:</b> 1
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.0761
		<b>Mínimo:</b> 0.8
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 2</b>		<b>Media:</b> 0.80208
		<b>Moda:</b> 1
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.19475
		<b>Mínimo:</b> 0.5
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 3</b>		<b>Media:</b> 0.425
		<b>Moda:</b> 0.2
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.2591
		<b>Mínimo:</b> 0
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 4</b>		<b>Media:</b> 0.885416
		<b>Moda:</b> 1
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.14704
		<b>Mínimo:</b> 0.5
		<b>Máximo:</b> 1



Como se puede apreciar en la Tabla 4, las preguntas 1, 2, 4 y 5 tienen una cantidad de respuestas correctas muy altas obteniendo valores medios de 0,718 a 0,966 y desviaciones estándar de 0,19475 a 0,076 lo cual da a entender que la mayoría de estudiantes se acercaron a las respuestas correctas. Este hecho se atribuye a que las preguntas fueron en su mayor parte teóricas cuyas respuestas se encuentran en el marco teórico o en el procedimiento de las prácticas. Por otra parte la pregunta 3 es la que menos respuestas correctas tiene, alcanzando un valor medio de 0,425 y una desviación estándar de 0,2591. Luego de realizar el análisis de la pregunta 3 se ha identificado que la pregunta tuvo opciones de respuestas subjetivas que confunden demasiado a los estudiantes por lo tanto existe una mayor tasa de fracaso.

De acuerdo al nivel de dificultad de las preguntas de la autoevaluación de la práctica 1 la pregunta 1 fue la más fácil para los estudiantes ya que tiene un valor medio de 0,966 y una moda de 1, lo que significa que la mayoría de estudiantes respondió correctamente mientras que la pregunta 2, 4 y 5 fueron más complejas aunque se hayan alcanzado valores medios de 0,71 a 0,802 (valores altos), sin embargo se nota que tuvo un mayor grado de dificultad que la pregunta 1 debido a que sus desviaciones estándar son más grandes. Las preguntas de la autoevaluación de la práctica 1 se podrían clasificar en una pregunta sencilla, 3 con dificultad intermedia y 1 mal planteada.

Se concluye que el objetivo planteado en ésta práctica 1 se ha cumplido ya que el valor medio es superior al 70% de la nota total, sin embargo hay una tasa relativamente grande de estudiantes que reprobarían. La mayoría de los estudiantes pueden reconocer las partes y características del sistema robótico KUKA.

### 4.1.1. Autoevaluación práctica 2

La autoevaluación de la práctica 2 está enfocada a evaluar el cumplimiento del siguiente objetivo:

- Conocer el funcionamiento de la Unidad Manual de Programación en un sistema robótico industrial permitiendo el desplazamiento y visualización de la posición de cada uno de los ejes del brazo robot KUKA.

Luego de realizar la práctica 2, se espera que los estudiantes hayan desarrollado las siguientes competencias: identificar las partes que conforman el KCP, ingresar valores y configuraciones para el control del brazo robot usando el HMI de KUKA.

A continuación se muestra el contenido de la autoevaluación de la práctica 2.

## AUTOEVALUACIÓN

**Seleccione la/las respuestas correctas.**

### 1. Las funciones de las teclas especiales permiten:

- Energizar la sección de potencia del brazo robot.
- Ejecutar las líneas de un programa de atrás hacia adelante.
- Generar una señal de parada en la tarjeta ESC.
- Detener la ejecución del desplazamiento manual del robot.
- Confirmar los datos y variables introducidos en formularios.

### 2. Al seleccionar el modo de servicio T1:

- El pulsador de parada de emergencia carece de funcionalidad.
- El botón de accionamiento conectado carece de funcionalidad.
- El botón de hombre muerto carece de funcionalidad.
- El botón de accionamiento desconectado carece de funcionalidad.

### 3. Las teclas del menú derecho sirven para:

- El desplazamiento entre las ventanas del HMI de KUKA.
- El desplazamiento manual de los ejes del brazo robot.
- El desplazamiento entre las funciones al pulsar repetidamente una de las teclas.
- La modificación de valores en el menú de teclas del menú derecho.

### 4. Para seleccionar una de las opciones del menú superior es necesario:

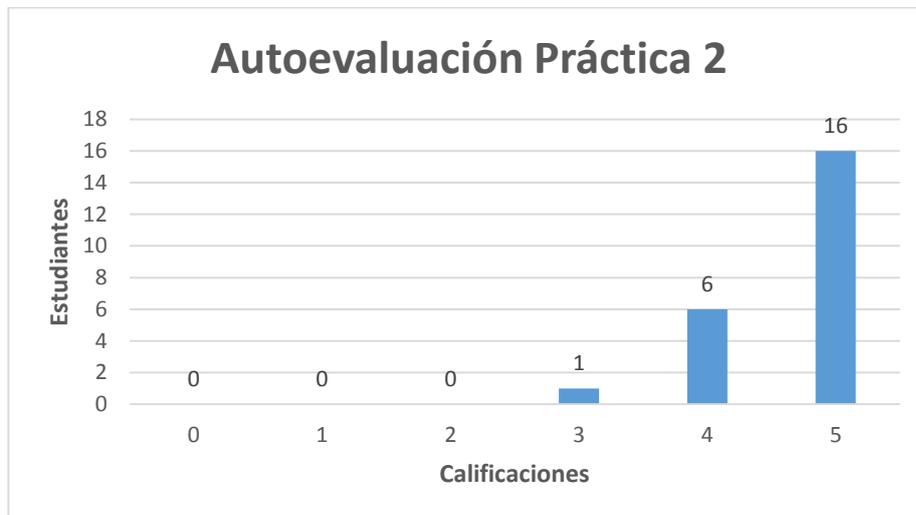
- Pulsar en repetidas ocasiones las teclas del menú superior.

- Pulsar la tecla del menú superior correspondiente a la opción deseada.
- Introducir el número que se encuentran a la izquierda del menú superior.
- Presionar las teclas del menú superior correspondiente a cada opción del menú superior.

**5. Para realizar el desplazamiento del brazo robot a velocidad reducida es necesario:**

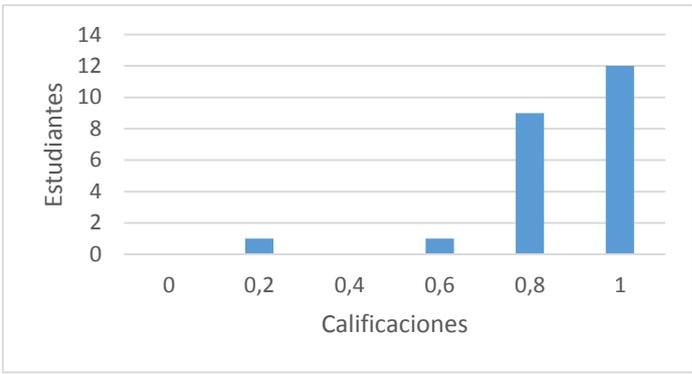
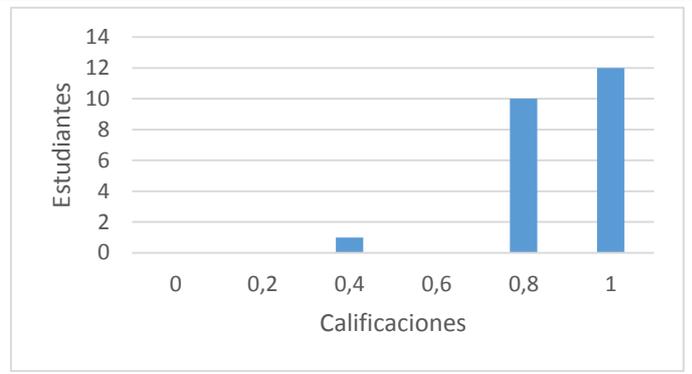
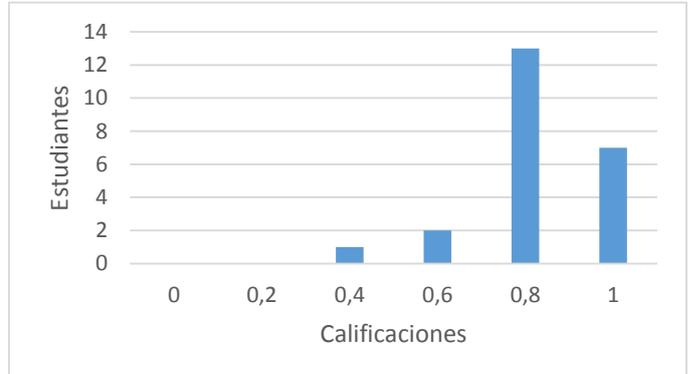
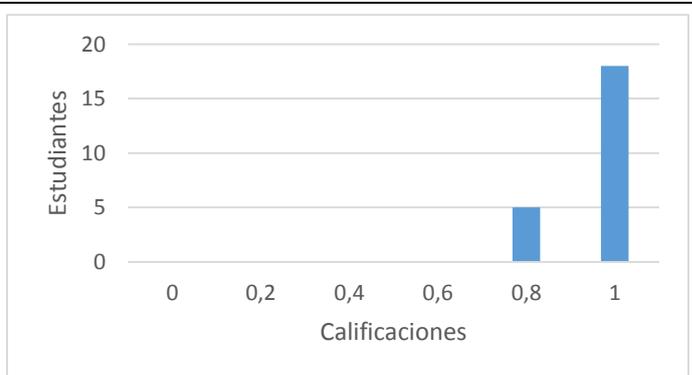
- Colocar el selector de modos de servicio en modo T1.
- Mantener presionado el botón de hombre muerto en su estado de presión intermedia.
- Disminuir el valor de velocidad de desplazamiento (POV).
- Mantener presionada la tecla de arranque durante el desplazamiento del robot.
- Pulsar el botón de accionamiento previo al desplazamiento del robot.

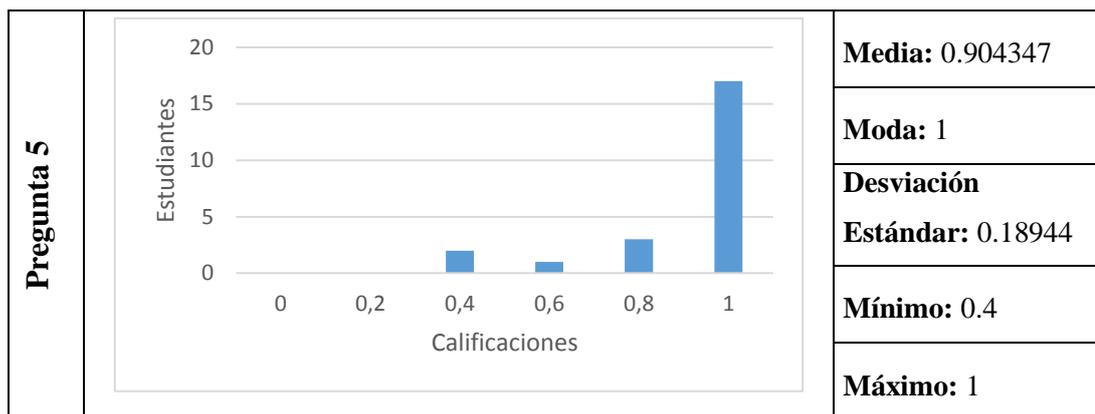
En la Figura 33 se puede ver un histograma de las calificaciones de la práctica 2 obtenidas por los estudiantes. La gráfica nos muestra el número de estudiantes que han obtenido una determinada calificación.



**Figura 33.** Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 2. Como se puede ver en la Figura 33, el valor medio alcanzado por los estudiantes es de 4,22 equivalentes al 84% de la nota total, es decir que los valores alcanzados fueron muy buenos de acuerdo a las calificaciones por criterios. Por otra parte la desviación estándar es de 0,61733 dando a entender que hubo una dispersión reducida en las respuestas, alcanzando una moda de 4,75. En la tabla 5 se muestra el análisis estadístico de las preguntas de la práctica 2.

**Tabla 5.** Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 2

<b>Distribución de los estudiantes respecto a las calificaciones</b>		
<b>Pregunta 1</b>		<b>Media:</b> 0.867391
		<b>Moda:</b> 1
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.18805
		<b>Mínimo:</b> 0.2
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 2</b>		<b>Media:</b> 0.858695
		<b>Moda:</b> 1
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.181941
		<b>Mínimo:</b> 0.25
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 3</b>		<b>Media:</b> 0.7826087
		<b>Moda:</b> 0.75
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.18926
		<b>Mínimo:</b> 0.25
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 4</b>		<b>Media:</b> 0.94565
		<b>Moda:</b> 1
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.10543
		<b>Mínimo:</b> 0.75
		<b>Máximo:</b> 1



La tabla 5 indica que la mayoría de estudiantes respondieron correctamente las preguntas, alcanzando valores medios de 0,782 a 0,945 con desviaciones estándar de 0,105 a 0,189 lo que significa que un gran porcentaje de estudiantes se aproximaron a las respuestas correctas. Las altas calificaciones obtenidas en la autoevaluación de la práctica 2 se debe a que las preguntas fueron teóricas cuyos resultados se encuentran en el fundamento teórico y en el procedimiento. De acuerdo a los datos obtenidos se puede ver que la pregunta 4 fue la más fácil para los estudiantes obteniendo una media de 0,94564 con una desviación estándar de 0,105 dando a entender que todos los estudiantes se aproximaron a las respuestas correctas. Esta pregunta es de carácter teórico y al hacer hincapié en el procedimiento a ese concepto se obtienen mejores resultados, fortaleciendo así el aprendizaje de los estudiantes. Las preguntas 1, 2 y 5 tienen una dificultad ligeramente superior a pregunta 4, esto se puede ver en sus desviaciones estándar que es de 0,18 sin embargo tuvo una gran cantidad de respuestas correctas alcanzando una moda de 1. Por otra parte la pregunta más compleja de esta práctica es la pregunta 3 en la que se ha alcanzado un valor medio de 0,7826, una desviación estándar de 0,189 y una moda de 0,75. De acuerdo al análisis realizado, la pregunta 3 está planteada de manera muy general cuyas respuestas abarcan varios conceptos lo que aumentó su nivel de dificultad.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que se cumplió con el objetivo planteado para esta práctica, debido a que el valor medio es de 84% de la nota máxima, sin embargo una tasa pequeña de estudiantes reprobarían esta práctica de acuerdo a los criterios de evaluación planteados inicialmente. Los estudiantes están en capacidad de conocer el funcionamiento de la Unidad Manual de Programación en un sistema

robótico industrial para realizar el desplazamiento y la visualización de la posición de cada uno de los ejes del brazo robot KUKA.

#### **4.1.2. Autoevaluación práctica 3**

La autoevaluación de la práctica 3 está enfocada a cumplir con el siguiente objetivo:

- Aplicar los métodos de desplazamiento manual de un sistema robótico industrial posicionando el brazo robot en puntos definidos en el espacio mediante el uso de la unidad manual de programación.

Luego de realizar la práctica 3, se espera que los estudiantes hayan desarrollado las siguientes competencias: Manipular los diferentes sistemas de desplazamiento, manipular los métodos de desplazamiento del robot, configurar la velocidad de desplazamiento manual y el valor de desplazamiento incremental del robot KR 5-2 ARC HW. Además es necesario la generalización del conocimiento adquirido en las prácticas 1 y 2.

A continuación se muestra el contenido de la autoevaluación de la práctica 3.

### **AUTOEVALUACIÓN**

**Seleccione la/las respuestas correctas.**

**1. Al realizar la configuración del puntero del Space Mouse es posible:**

- Restringir el desplazamiento en dirección de los ejes cartesianos X, Y, Z.
- Liberar las rotaciones en los ejes A1, A2, A3, A4, A5, A6.
- Restringir la rotación alrededor de los ejes cartesianos X, Y, Z.
- Liberar los desplazamientos y rotaciones en dirección y alrededor de los ejes cartesianos X, Y, Z.

**2. El Override Manual permite la modificación de**

- Los valores de los incrementos predefinidos.
- La velocidad de desplazamiento manual.
- Las restricciones de movimiento de los ejes del manipulador.
- Los valores de las variables de los sistemas de desplazamiento.

**3. Usando las teclas de desplazamiento es posible:**

- Incrementar o decrementar los valores de las variables de un sistema de desplazamiento.

- Realizar únicamente el desplazamiento de un eje a la vez.
- Desplazar el extremo final del robot sin pasos predefinidos.
- Modificar la velocidad de desplazamiento manual del robot.

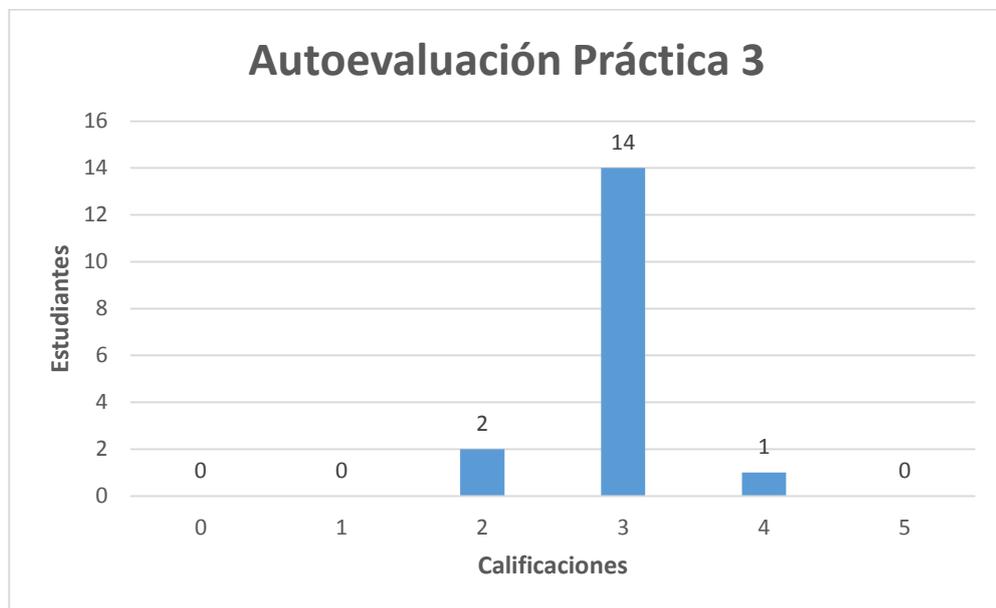
**4. Usando el Space Mouse es posible realizar:**

- Desplazamientos en el sistema específico de ejes.
- Movimientos a velocidades predefinidas.
- Rotaciones y desplazamientos en el sistema cartesiano.
- Movimientos en distancias predefinidas.

**5. La configuración de la posición del puntero del Space Mouse sirve para:**

- Especificar la posición del operario con respecto al robot.
- Ejecutar desplazamientos en modo dominante o no dominante.
- Restringir el desplazamiento cartesiano.
- Desplazar el extremo final del robot en incrementos predefinidos

En la Figura 34 se puede ver un histograma de las calificaciones de la práctica 3 obtenidas por los estudiantes. La gráfica nos muestra el número de estudiantes que han obtenido una determinada calificación.



**Figura 34.** Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 3

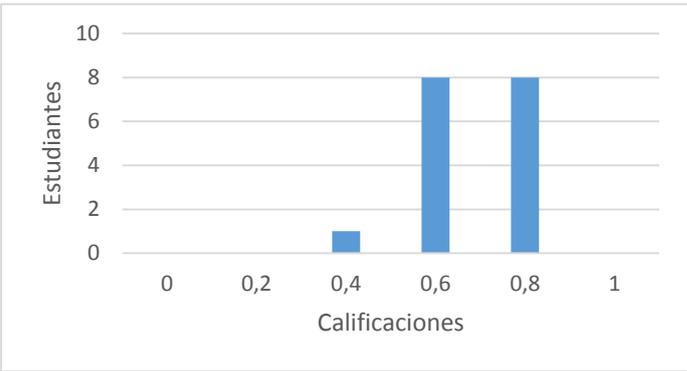
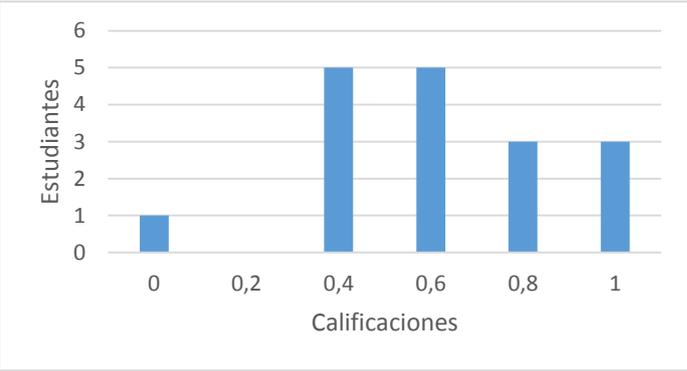
Los resultados de la autoevaluación de la práctica 3 indican que los estudiantes alcanzaron una media de 2,779 equivalentes al 55,4% de la nota total que es una calificación regular de acuerdo a las calificaciones por criterios. Por otra parte la

desviación estándar es de 0,4039 lo cual denota que hubo una dispersión reducida acercándose a respuestas erróneas.

En la Tabla 6 se muestra el análisis estadístico de las preguntas de la autoevaluación de la práctica 3.

**Tabla 6.** Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 3

<b>Distribución de los estudiantes respecto a las calificaciones</b>		
<b>Pregunta 1</b>		<b>Media:</b> 0.51470588
		<b>Moda:</b> 0.25
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.257247
		<b>Mínimo:</b> 0.25
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 2</b>		<b>Media:</b> 0.70588235
		<b>Moda:</b> 0.75
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.158983
		<b>Mínimo:</b> 0.5
		<b>Máximo:</b> 1
<b>Pregunta 3</b>		<b>Media:</b> 0.4117647
		<b>Moda:</b> 0.25
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.175472
		<b>Mínimo:</b> 0.25
		<b>Máximo:</b> 0.75

<b>Pregunta 4</b>		<b>Media:</b> 0.602941
		<b>Moda:</b> 0.5
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.154586
		<b>Mínimo:</b> 0.25
		<b>Máximo:</b> 0.75
<b>Pregunta 5</b>		<b>Media:</b> 0.52941176
		<b>Moda:</b> 0.5
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.304681
		<b>Mínimo:</b> 0
		<b>Máximo:</b> 1

La Tabla 6 indica que un gran porcentaje de estudiantes no respondieron correctamente las preguntas, alcanzando valores medios de 0,411 a 0,705 con desviaciones estándar de 0,1545 a 0,304 lo que significa que hubo una gran dispersión de respuestas. Las bajas calificaciones obtenidas en la autoevaluación de la práctica 3 se deben a que las preguntas requerían de la generalización del conocimiento de las prácticas anteriores y del conocimiento del fundamento teórico de la práctica 3. Los resultados mostrados en la Tabla 6 dan a conocer que la pregunta 2 presentó un mayor número de respuestas correctas, alcanzando un valor medio de 0,705 con una baja dispersión de 0,1589, es decir que la mayoría de estudiantes se acercaron a las respuestas correctas, sin embargo la moda tiene un valor bajo que es de 0,75. Los resultados de las calificaciones de las autoevaluaciones de la práctica 3, muestran que las preguntas 3 y 4 no fueron respondidas correctamente por un gran grupo de estudiantes, alcanzando valores medios de 0,411 y 0,602 respectivamente. Estas preguntas fueron de carácter teórico-práctico, sin embargo para responderlas se requería del manejo de varios conceptos, lo que aumenta la dificultad de la pregunta, obteniendo desviaciones estándar de 0,175 y 0,154 con modas de 0,25 y 0,5 respectivamente. Como se puede ver en la Tabla 6, en las preguntas 1 y 5, se observa que existieron dispersiones muy altas, con desviaciones

estándar de 0,257 y 0,304; posiblemente los estudiantes no conocían las respuestas correctas. La pregunta 1 es de carácter teórica pero su dificultad es elevada por los conceptos que el estudiante debe manejar para responder ésta pregunta, por lo que se alcanzó una media de 0,514 y una moda de 0,25 que indica la falta de claridad de conceptos en los estudiantes. Luego del análisis de la pregunta 5 se concluyó que la redacción de la pregunta no fue clara y comprensible, situación que produjo un nivel de confusión alta en los estudiantes.

En base a este análisis, se concluye que el objetivo planteado en la práctica 3 no fue cumplido debido a que casi todos los estudiantes alcanzaron una nota insuficiente para la aprobación de ésta práctica. Esta práctica exigía una mayor combinación de la parte teórica con la parte práctica para realizar la configuración y la manipulación de los métodos de desplazamiento manual del robot KUKA.

#### **4.1.3. Autoevaluación práctica 4**

La autoevaluación de la práctica 4 está direccionada a evaluar el cumplimiento del siguiente objetivo:

- Aplicar los sistemas de coordenadas para realizar trabajos con distintas herramientas y superficies de trabajo.

Luego de realizar la práctica 4, se espera que los estudiantes hayan desarrollado las siguientes competencias: identificar los sistemas de coordenadas utilizados por los sistemas robóticos KUKA, definir la posición y orientación del sistema de coordenadas del plano de trabajo (coordenadas BASE) y del sistema de coordenadas de la herramienta (coordenadas TOOL) del manipulador KR 5-2 ARC HW.

A continuación se adjunta la autoevaluación de la práctica 4.

### **AUTOEVALUACIÓN**

**Seleccione la/las respuestas correctas.**

#### **1. Al trasladar el brazo robot sobre un eje lineal externo:**

- El origen del sistema de coordenadas BASE se desplaza de manera solidaria con la base del robot.
- El origen del sistema de coordenadas WORLD permanece en la posición definida por el usuario.

- El origen del sistema de coordenadas ROBROOT permanece fijo sobre la base del robot.
- El origen del sistema de coordenadas TOOL permanece en una posición definida por el usuario.

**2. Para definir la posición del sistema de coordenadas BASE por el método de ingreso numérico es necesario conocer:**

- La distancia entre el origen de los sistemas de coordenadas WORLD y BASE.
- Las coordenadas de origen del nuevo plano de trabajo referidas al sistema de coordenadas ROBROOT.
- El giro de los ejes del nuevo plano de trabajo referido al sistema de coordenadas WORLD
- Las coordenadas del origen del sistema de coordenadas ROBROOT referidas al sistema de coordenadas WORLD.

**3. Para definir la posición del sistema de coordenadas BASE por el método de 3 puntos es necesario desplazar el TCP:**

- Al origen del sistema de coordenadas en el nuevo plano de trabajo
- A un punto sobre el eje XBase positivo del nuevo plano de trabajo
- A un punto sobre el eje ZBase positivo del nuevo plano de trabajo.
- A un punto sobre el eje YBase positivo del nuevo plano de trabajo.

**4. Para definir la posición del sistema de coordenadas TOOL por el método de 4 puntos es necesario:**

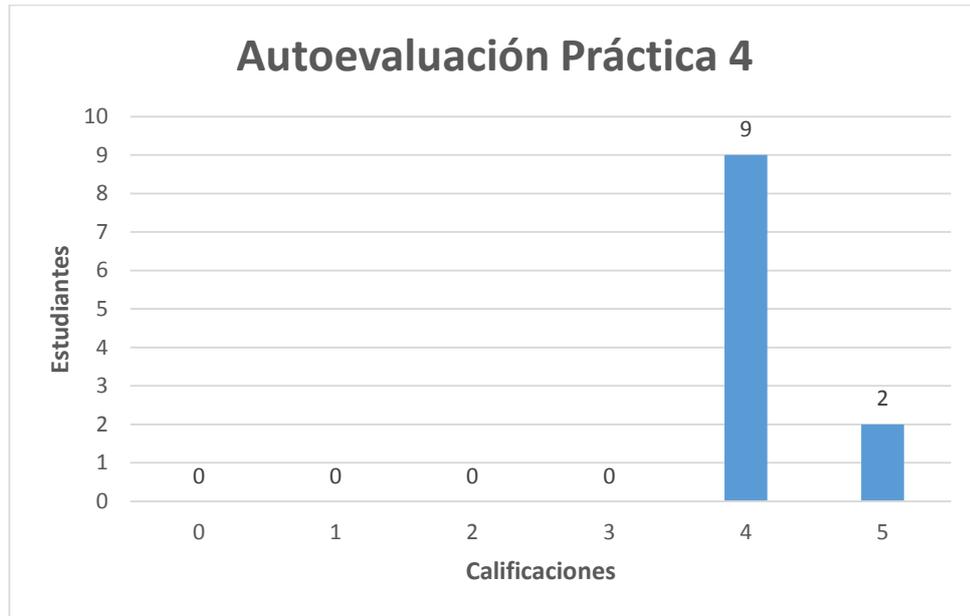
- Llevar al TCP sobre un punto de referencia.
- Mantener un margen de error entre las coordenadas de los 4 puntos de 5cm
- Llevar al TCP hacia el punto de referencia por 3 ocasiones con orientaciones diferentes
- Guardar la orientación del punto de referencia.

**5. Para definir la orientación del sistema de coordenadas TOOL por el método ABC WORLD 5D es necesario:**

- Llevar al TCP a un punto de referencia situado en el plano de trabajo.
- Orientar la dirección de avance de la herramienta para que sea paralela al eje Zworld
- Desplazar el TCP a un punto sobre el plano XYtool

- Orientar los ejes del sistema de coordenadas TOOL de forma tal que sean paralelos a los ejes del sistema de coordenadas WORLD.

En la Figura 35 se puede ver un histograma de las calificaciones de la práctica 4 obtenidas por los estudiantes. La gráfica nos muestra el número de estudiantes que han obtenido una determinada calificación.

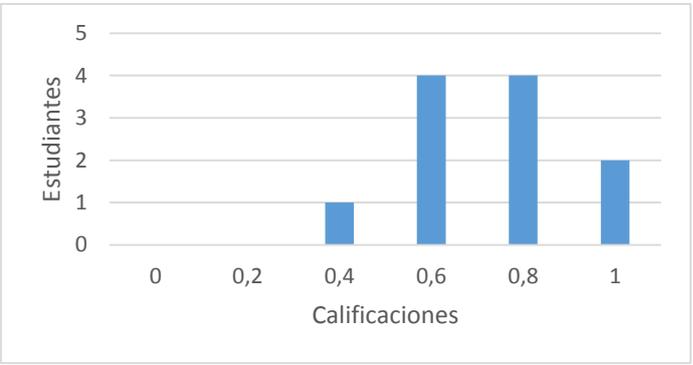
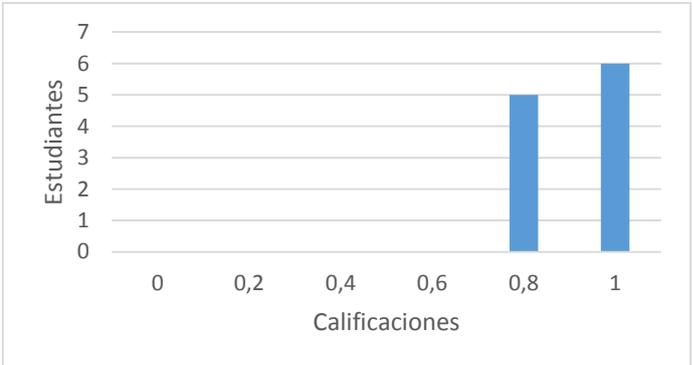
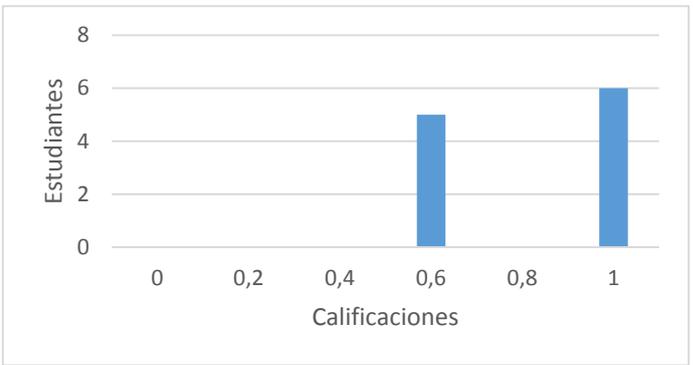
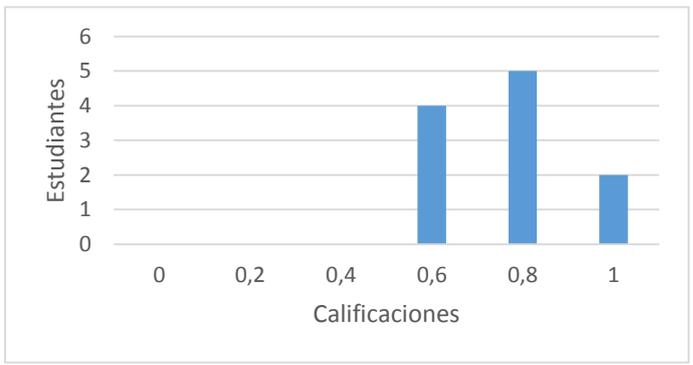


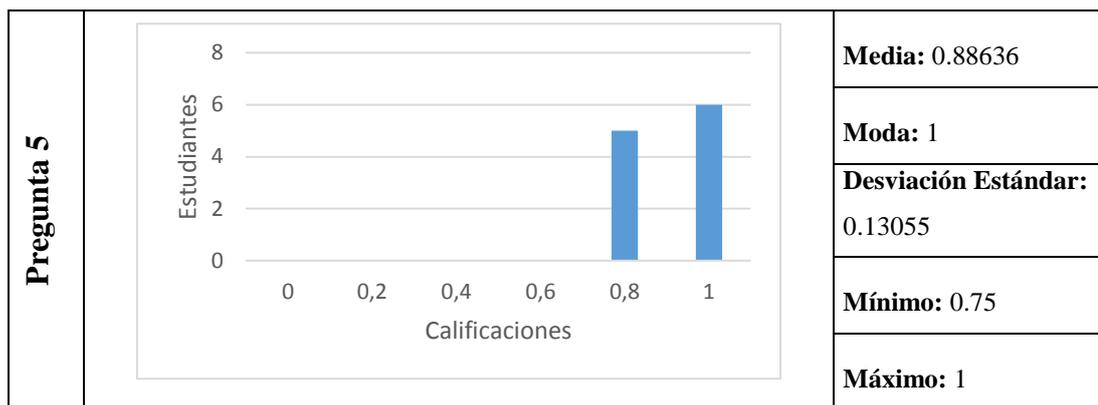
**Figura 35.** Histograma de las calificaciones de la autoevaluación de la práctica 4

En figura 35, el promedio alcanzado por los estudiantes es de 3,909 que equivale al 78,18% de la nota total, es decir que los resultados obtenidos fueron buenos o suficientes de acuerdo a las calificaciones por criterios. Por otra parte, la desviación estándar es de 0,4223, por lo tanto no hubo una dispersión amplia de las respuestas dando a entender que el cuestionario estuvo correctamente elaborado.

En la Tabla 7, se denota el análisis estadístico de cada pregunta de la autoevaluación de la práctica 4.

**Tabla 7.** Análisis estadístico de las preguntas de la práctica 4

<b>Distribución de los estudiantes respecto a las calificaciones</b>					
<b>Pregunta 1</b>		<b>Media:</b> 0.659	<b>Moda:</b> 0.75		
		<b>Desviación Estándar:</b> 0.2311	<b>Mínimo:</b> 0.25		
		<b>Máximo:</b> 1			
		<b>Pregunta 2</b>		<b>Media:</b> 0.88636	<b>Moda:</b> 1
				<b>Desviación Estándar:</b> 0.13055	<b>Mínimo:</b> 0.75
<b>Máximo:</b> 1					
<b>Pregunta 3</b>				<b>Media:</b> 0.7727	<b>Moda:</b> 1
				<b>Desviación Estándar:</b> 0.2611	<b>Mínimo:</b> 0.5
		<b>Máximo:</b> 0.1			
		<b>Pregunta 4</b>		<b>Media:</b> 0.7045	<b>Moda:</b> 0.75
				<b>Desviación Estándar:</b> 0.18768	<b>Mínimo:</b> 0.5
<b>Máximo:</b> 1					



De acuerdo a los resultados de la tabla 7 se puede ver que las preguntas 2 y 5 fueron las que más respuestas correctas tienen, alcanzando una moda de 1 y un valor promedio de 0,886, nota que equivale a muy buena de acuerdo a la calificación por criterios. Estas preguntas tienen una desviación estándar reducida de 0,13 dando a entender que los estudiantes se aproximaron a las respuestas correctas debido a que fueron de carácter teórico. Las preguntas 3 y 4 tienen un nivel de dificultad levemente superior a la de las preguntas 2 y 5, esto se puede evidenciar en sus valores medios que son: 0,7727 y 0,7045 respectivamente. Las desviaciones estándar de 0,2611 y 0,1876 dan a conocer que existió una mayor dispersión de respuestas sin embargo se alcanzaron modas de 1 y 0,75. La pregunta más compleja es la 1 que tiene su valor medio de 0,659 que significa que los estudiantes alcanzaron el 65,9% de la nota total, la misma que es insuficiente de acuerdo a las calificaciones por criterios. Por otra parte la desviación estándar tiene un valor elevado que es de 0,23 reflejando así la falta de dominio de los conceptos necesarios para responder correctamente la pregunta.

En base a este análisis, se concluye que el objetivo planteado en la práctica 4 fue cumplido correctamente, debido a que los estudiantes alcanzaron una nota de buena o suficiente de acuerdo a las calificaciones por criterios. Los estudiantes están en capacidad de aplicar los sistemas de coordenadas para realizar trabajos con distintas herramientas y superficies de trabajo.

#### **4.4.GRUPO FOCAL**

Los grupos focales son entrevistas de grupo de 6 a 8 participantes, donde un moderador guía una entrevista colectiva; sirven básicamente para escuchar lo que dicen los participantes en torno a las características y las dimensiones del tema propuesto para la discusión, con el fin de recopilar datos y realizar un análisis. El moderador

generalmente es una persona miembro del equipo de investigación que trabaja durante el proceso focal partiendo desde un conjunto predeterminado de tópicos de discusión, en un tiempo de 90 a 120 minutos.

A los grupos focales se les puede dar varios usos, sin embargo los más relevantes son: identificación de problemas, planeamiento, implementación y monitoreo.

Para la identificación de problemas las discusiones son relativamente no estructuradas y abiertas, tratando de generar hipótesis de investigación a cerca de nuevas problemáticas.

A nivel de planteamiento el objetivo principal del grupo focal es buscar la mejor alternativa de alcanzar un conjunto de metas, cuyas alternativas son propuestas por los participantes que sugieren como cumplir dichas metas. Este nivel se lo ejecuta luego de la identificación de problemas.

A nivel de la implementación de un proyecto, los grupos focales responden si los planes de ejecución están bien encaminados, pueden también disminuir la distancia entre expectativas y actualidades en torno al proyecto.

En la etapa de monitoreo se busca entender que ha sucedido con el proyecto y puede ayudar a efectuar un mejor trabajo la próxima vez. (Mella, 2000)

#### **4.4.1. Planificación del Grupo Focal**

Las decisiones básicas del grupo focal que se deben considerar son los siguientes:

1. Definir el propósito del estudio o proyecto.
2. Identificar el rol del patrocinador o contratante del grupo focal.
3. Identificar recursos humanos para el grupo focal de manera que permita realizar una actividad investigativa con propósito social.
4. Definir un cronograma inicial del grupo focal.
5. Determinar quiénes serán los participantes en el grupo focal.
6. Escribir las preguntas para la guía de discusión del grupo focal.
7. Desarrollar un plan de reclutamiento de participantes.
8. Definir local, fechas y tiempos para las sesiones.
9. Diseñar el plan de análisis.
10. Especificar los elementos del informe final.

El grupo focal tiene el propósito de recopilar información del nivel de satisfacción de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca de la materia de Robótica, luego de realizar las prácticas del laboratorio, se desea además averiguar cuáles eran las principales dificultades al realizar las prácticas y cuáles son las sugerencias para el manejo de la cátedra y del laboratorio.

El grupo focal se realizó en la sala de posgrados de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca el día jueves 5 de febrero del 2015 desde las 10 am con duración de una hora. Los participantes fueron los estudiantes de Ingeniería Eléctrica y Electrónica que cursaban la materia de Robótica. Las preguntas aplicadas a los estudiantes fueron:

1. ¿Cuáles son las fortalezas y las debilidades de las prácticas de laboratorio de robótica?
2. ¿Qué habilidades creen que desarrollaron luego de realizar las prácticas de laboratorio de robótica?
3. ¿Ha notado alguna diferencia entre las prácticas de laboratorio de robótica con prácticas de otros laboratorios? ¿Cuáles son esas diferencias? (lectura, combinación de conceptos de prácticas)
4. ¿El número de personas por grupo que realizaron la práctica fue el adecuado? ¿Qué recomendación tiene sobre el número de personas por grupo que deberían realizar la práctica?
5. ¿A qué se atribuye el nivel de dificultad de las prácticas de laboratorio de robótica?

Para el análisis de los resultados obtenidos, se tomarán en cuenta cada opinión de los estudiantes y se examinará cuidadosamente para considerar o no una acción a realizar a futuro para la mejora de la cátedra y del laboratorio de robótica industrial.

#### **4.4.2. Resultados del Grupo Focal**

Con respecto a las fortalezas y debilidades de las prácticas de laboratorio los estudiantes manifestaron que una de las fortalezas es la manipulación y familiarización con los sistemas robóticos KUKA, debido a que en el laboratorio se simula un ambiente industrial real. Indicaron también que las prácticas están bien estructuradas, con fundamentos teóricos claros y específicos, un procedimiento secuencial correctamente elaborado y entendible, imágenes claras y explicativas que refuerzan el

fundamento teórico, por lo que no ha existido inconvenientes al realizar las prácticas. Una de las debilidades manifestadas es la falta de herramientas y materiales de laboratorio para realizar tareas reales como cortar, soldar, etc.

Sugieren también establecer un horario de laboratorio de robótica para poder cumplir adecuadamente las prácticas. Un estudiante expuso que el inconveniente más grande es la falta del hábito de la lectura centrándose únicamente en cumplir el objetivo planteado en la práctica de cualquier manera, lo que produce una pérdida de tiempo por el desconocimiento del fundamento teórico. La falta de lectura de los estudiantes se ha manifestado de varias formas, una de ellas es por el incumplimiento de las consideraciones de seguridad anotadas en las prácticas del laboratorio.

Los estudiantes indicaron que sí existen diferencias entre las prácticas de laboratorio de robótica con las prácticas de los demás laboratorios, debido a que en las prácticas de robótica existe una guía preestablecida no así en las prácticas de los demás laboratorios en donde los estudiantes realizan sus prácticas centrándose fundamentalmente en cumplir los objetivos planteados sin tomar en cuenta un fundamento teórico ni un procedimiento a seguir. Comentan además que las prácticas de laboratorio de robótica se han manejado de forma más autónoma y gracias a guía correctamente estructurada se pudo cumplir los objetivos.

Una de las principales diferencias es la existencia de una autoevaluación en las prácticas del laboratorio de robótica, debido a que en los demás laboratorios no se maneja dicho instrumento de evaluación que permite reforzar los conocimientos haciendo énfasis en los conceptos más relevantes de la práctica.

Con respecto a la dificultad de las prácticas, los estudiantes manifiestan que están estructuradas para ser realizarlas secuencialmente y su dificultad radica en el manejo de los conceptos acumulados de las prácticas anteriores; comentan también que las preguntas fueron confusas situación que aumentó la dificultad de la resolución de la autoevaluación.

Las principales destrezas desarrolladas fueron la lectura y la manipulación de los sistemas robóticos KUKA.

La lectura de la práctica tomo a los estudiantes un tiempo de 15 a 45 minutos para la lectura previa de la práctica de laboratorio. En algunos casos los estudiantes se

demoraron más tiempo del planificado en la ejecución de la práctica debido a la falta de continuidad del uso del laboratorio.

Es adecuado realizar las prácticas entre dos estudiantes durante todo el ciclo para usar los conceptos constantemente y conseguir un adecuado aprendizaje.

Los estudiantes consideran que no se puede realizar las prácticas sin ayuda de un laboratorista debido a que siempre surgen dudas o inconvenientes con respecto a la manipulación de los sistemas robóticos.

Para mejorar la seguridad en el laboratorio de robótica los estudiantes sugieren colocar carteles con las consideraciones de seguridad para que las personas puedan leer y obedecer dichas advertencias. Sugieren también implementar sistemas de seguridad basados en sensores para bloquear a los sistemas robóticos si censa la presencia de alguien dentro del área de trabajo de los robots.

Para un rápido aprendizaje sugieren que la descripción general del robot se la haga conocer a través de tutoriales y simuladores y que las prácticas se enfoquen más a la resolución de problemas reales.

#### **4.5. OBSERVACIONES DE LA RESOLUCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE ROBÓTICA**

Al realizar las prácticas de laboratorio se pudo observar que el principal problema de los estudiantes fue la falta de lectura previa a realizar las prácticas en el laboratorio. Este hecho se evidenció, debido a que en el momento de realizar las prácticas, los estudiantes se acercaban constantemente a preguntar sobre algunos conceptos anotados en el fundamento teórico. En algunos casos se observó que los estudiantes no destinaron nada de tiempo para la lectura previa de la práctica a realizar, debido a que se informaban del contenido de la práctica mientras la realizaban, lo que produjo que se emplee un mayor tiempo del estimado en la ejecución de la práctica. En otros casos se evidencia el problema anotado anteriormente porque los estudiantes desconocían de la existencia de la autoevaluación colocada en la parte final de cada práctica.

Los estudiantes sí tomaron en cuenta algunas normas de seguridad debido a que no ocurrió ningún incidente en laboratorio, pero algunos estudiantes estrellaron al robot por su falta de conocimiento acerca de la manipulación del mismo.

Se pudo observar también que en algunos casos los estudiantes no interpretaban correctamente los ítems del procedimiento, lo cual hacía que las prácticas sean más largas de lo planificado, ya que los estudiantes requerían de una explicación para poder realizarla correctamente.

Los estudiantes no se acercaban a realizar las prácticas en un tiempo oportuno, habiendo una acumulación de prácticas, lo que mostraba que no tenían interés por realizar las prácticas o que tenían demasiado trabajo a realizar.

Se observó también que los estudiantes que se familiarizaron rápidamente con la manipulación de los sistemas robóticos KUKA se mostraron satisfechos de realizar las prácticas de laboratorio y tenía interrogantes que denotaban su interés por el aprendizaje en el laboratorio; no así los estudiantes que tenían dificultad en la manipulación de los sistemas robóticos KUKA, debido a que empleaban un tiempo mayor al estimado en realizar las prácticas y mostraban una actitud de insatisfacción.

Se observó también que los estudiantes no tomaron con seriedad la resolución de las encuestas, esto se evidencia porque a pesar de que tenían problemas en la ejecución de las prácticas, respondieron dando el máximo puntaje a cada pregunta de las encuestas. Este hecho se presenció principalmente en las prácticas finales.

La falta de materiales apropiados para realizar algunas prácticas conllevó al uso improvisado de otros elementos encontrados en el laboratorio lo que produjo que la práctica sea realizada en un mayor tiempo del planificado.

#### 4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los 4 puntos analizados (encuestas, autoevaluaciones, grupo focal y observaciones) se puede realizar un análisis FODA que se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Análisis FODA

<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las guías de prácticas tienen un formato adecuado lo que permite que el estudiante pueda desarrollar la práctica correctamente.</li> <li>• Las guías de prácticas permiten reforzar el conocimiento de los estudiantes a través de autoevaluaciones.</li> <li>• Las guías de prácticas están diseñadas de tal forma que permiten el desarrollo de capacidad de síntesis de ideas, comprensión lectora y generalización de conceptos teóricos prácticos.</li> <li>• Las guías de prácticas están diseñadas para permitir el aprendizaje autónomo del estudiante.</li> <li>• Las prácticas de robótica permiten al estudiante acercarse a un robot industrial real.</li> <li>• El desarrollo de las prácticas de robótica permite a los estudiantes ganar confianza en el uso de los robots industriales al poderlos manipular en un entorno controlado.</li> <li>• El desarrollo de las prácticas de robótica permite aplicar los conocimientos adquiridos en el aula a los sistemas robóticos del laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El desarrollo de grupos de investigación en la sede podrían aprovechar las prácticas de laboratorio para vincular estudiantes en procesos de investigación.</li> <li>• Los cambios en la matriz productiva brindan la oportunidad para que el laboratorio de robótica participe con la resolución de problemas industriales.</li> <li>• La universidad podría usar su laboratorio de robótica en investigación aplicada al área industrial, debido a que en el Ecuador se está impulsando el uso de la robótica en la industria.</li> <li>• La universidad podría convertir su laboratorio de robótica en un centro regional de capacitación en el área de robótica, al ser uno de los pocos laboratorios en el Ecuador permitiendo resolver el problema de la ausencia de personal en ésta área.</li> </ul>
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las herramientas y elementos de laboratorio no son los adecuados para realizar procesos industriales reales limitando la experiencia del estudiante con un entorno industrial.</li> <li>• Algunas de las imágenes usadas en el diseño de las guías de prácticas son confusas y no permiten ser interpretadas por personas con problemas visuales.</li> <li>• Las guías de prácticas de robótica cuentan con algunas preguntas confusas que no aportan al aprendizaje del estudiante.</li> <li>• Las condiciones de seguridad del laboratorio de robótica no son óptimas, colocando en riesgo la integridad de los estudiantes mientras no se instalen las protecciones adecuadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos estudiantes sienten frustración al no poder manejar inicialmente los sistemas robóticos lo que genera desmotivación en el aprendizaje de la robótica.</li> <li>• No existe una homogeneidad en las prácticas de laboratorio en ingeniería lo que ocasiona que el estudiante no trabaje con la guía de la práctica de manera adecuada.</li> <li>• Al no existir un horario de laboratorio y un laboratorista, los estudiantes no usan continuamente el laboratorio olvidando algunos conceptos.</li> <li>• La malla curricular de la universidad no considera horas para el desarrollo de las prácticas de laboratorio de robótica lo que produce que algunos estudiantes no dispongan de tiempo para realizarlas.</li> </ul>

Se concluye que el formato de las guías de prácticas es el adecuado ya que dispone de fundamentos teóricos claros y específicos con un tamaño de letra apropiado, procedimientos secuenciales correctamente elaborados y entendibles con imágenes claras que refuerzan el fundamento teórico, lo que permite al estudiante desarrollar adecuadamente las prácticas de robótica. Sin embargo, algunas de las imágenes usadas en las guías de prácticas no fueron diseñadas para personas con problemas visuales, lo que provocó confusión y una mala interpretación; por lo que se debe segmentar las imágenes para mostrar sus detalles por separado. Por otra parte, las guías de prácticas de robótica están diseñadas de tal manera que permita el aprendizaje autónomo de los estudiantes, el desarrollo de la capacidad de síntesis de ideas, la comprensión lectora y la generalización de conceptos teóricos prácticos. Además permiten reforzar los conocimientos a través de las autoevaluaciones, en las que se consideran los conceptos más importantes de la práctica. Las autoevaluaciones de las prácticas pueden ser mejoradas usando preguntas más claras con ítems de respuestas más específicas.

El desarrollo de las prácticas de robótica permiten al estudiante acercarse a un robot industrial real y de esta manera ganar confianza en el uso de los robots industriales al poderlos manipular en un entorno controlado; la ejecución de las prácticas también permite aplicar los conceptos adquiridos en el aula a los sistemas robóticos del laboratorio. Para simular un ambiente industrial real y mejorar la experiencia de los estudiantes en el laboratorio, es necesario implementar herramientas y elementos reales de la industria para poder realizar procesos industriales. Se sugiere también implementar las condiciones de seguridad óptimas en el laboratorio como celdas y sensores en el área de trabajo de los robots para evitar colocar en riesgo la integridad de los estudiantes.

Se debe proyectar a futuro a que la malla curricular de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electrónica destine una carga horaria para el desarrollo de las prácticas de laboratorio de robótica con el fin de que los estudiantes dispongan de tiempo y use continuamente los laboratorios. Además es necesario la presencia de un laboratorista que satisfaga las dudas de los estudiantes. Se sugiere también que, todos los laboratorios tengan una homogeneidad en cuanto a las guías de prácticas y a su ejecución para que el estudiante se familiarice con ésta metodología y pueda ejecutar correctamente las prácticas.

Mediante la ejecución de las prácticas de laboratorio de robótica se puede vincular a los estudiantes en procesos de investigación aplicada al área industrial debido a que en el Ecuador se está impulsando el área de la robótica. Por otra parte, los cambios de la matriz productiva brindan la oportunidad para que el laboratorio de robótica participe en la resolución de problemas industriales. La universidad podría convertir su laboratorio de robótica en un centro regional de capacitación en el área de robótica debido a que en el Ecuador existen un déficit de personal capacitado en esta área y un limitado número de laboratorios de robótica industrial.

## **CAPÍTULO 5. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

### **5.1.RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el capítulo uno se presenta, antecedentes, objetivos y justificación sobre el sobre el Estudio de la programación y operación de los robots industriales KUKA KR16-2 y KR 5-2 ARC HW localizados en el laboratorio de robótica industrial de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

En el capítulo dos se enumeran aspectos básicos sobre la robótica industrial. Entre estos aspectos se detallan la evolución de los sistemas robóticos industriales, su desarrollo mecánico y de programación, su arquitectura, sus aplicaciones, el grado de incidencia dentro de la industria ecuatoriana y las oportunidades que en ella se podría encontrar. A su vez, se exponen índices de crecimiento de la robótica en los últimos dos años y que tipo de industrias han incorporado dentro de sus procesos a los sistemas robóticos, como alternativas para mejorar la productividad de la empresa y calidad en sus productos. Dentro de la evolución de los robots, se describen los tipos de robots desarrollados y la manera de programarlos. Esta evolución se da, tanto en hardware como en software, con nuevas estructuras y tipos de robots desarrollados; con nuevos métodos de programación basada en objetos o el ambiente en el que el robot va a trabajar ayudando a los programadores a realizar de mejor forma la estructura del programa. Para ello, realizan un breve estudio de los parámetros a tomar en cuenta para la programación de robots industriales como el entorno de programación, modelado del entorno, tipo de datos, manejo de entradas y salidas, control de movimientos del robot y control del flujo de ejecución del programa. Además, se detallan los aspectos básicos de la arquitectura tanto de hardware como de software, con lo cual se detallan aspectos importantes como las partes que conforman un sistema robótico industrial, el número de ejes y eslabones, el tipo de robot, los elementos de control que permiten el desplazamiento y manipulación de un sistema robótico industrial y los métodos de programación. Finalmente, en este capítulo, se dan a conocer algunos de los datos estadísticos sobre el crecimiento de los robots en las industrias, especialmente en la industria ecuatoriana. Este crecimiento revela las oportunidades con que cuenta la robótica, oportunidades como el cambio de la matriz productiva en el país, la estandarización de procesos y la competitividad que impulsan los entes estatales a la industria ecuatoriana. Con lo mencionado se puede concluir que

la robótica industrial, con el paso de los años se ha desarrollado a pasos agigantados, con nuevos métodos de programación, tecnología, herramientas y estructuras mecánicas, que ayudan a las industrias a mejorar los procesos de manufactura y productividad. En el caso de Ecuador el desarrollo de la robótica va mucho más lento que países como Estados Unidos, Alemania, entre otros; por lo cual, es necesario la formación de profesionales capacitados en este ámbito que exploten las oportunidades que el país brinda; con ello, propulsar el cambio de la matriz productiva del país, mejorando los procesos industriales y la calidad en todos los productos desarrollados por las industrias ecuatorianas.

En el capítulo tres, se describe el proceso completo de desarrollo de las guías de aprendizaje para el laboratorio de robótica industrial de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. La idea fundamental del diseño y elaboración de prácticas para el laboratorio de robótica industrial es la de amalgamar los conocimientos teóricos recibidos en la materia de robótica y en el manejo y solución de problemas en la industria utilizando los sistemas robóticos industriales. Para ello, se elabora un inventario completo con el cual se conoce de manera exacta con que implementos se cuenta dentro del laboratorio de robótica industrial para la planificación, diseño y aplicación de las prácticas de laboratorio. Además, se describen las teorías y métodos de aprendizaje, con los cuales los estudiantes serán capaces de asimilar de mejor manera los conocimientos impartidos. Estas teorías con métodos de aprendizaje permiten al estudiante la creación de sus propios conocimientos y asimilar otros, que representen su desarrollo como profesional en el ámbito industrial. Entre las teorías de aprendizaje utilizadas como guías para el desarrollo de las prácticas están las teorías de aprendizaje significativo y constructivista. A su vez, se describe la metodología y estructura para el diseño de cada una de las prácticas basadas en las teorías y métodos de aprendizaje planteados. Otro aspecto importante, son los objetivos y competencias planteadas en cada una de las prácticas, esto permite la medición de resultados obtenidos por cada uno de los estudiantes y realizar una comparación y análisis. Con esto, se puede concluir que las prácticas de laboratorio al ser elaboradas en base a teorías y métodos de aprendizaje, permite en los estudiantes la construcción de nuevos conocimientos en base a deducciones, experiencias previas y por descubrimiento. A su vez, estos conocimientos adquiridos se han visto fortalecidos al aplicarse tipos guías de laboratorio enfocadas a la resolución de problemas dentro de la industria; con lo

cual, el estudiante está en la capacidad de asimilar los conocimientos que crean significativos para su desarrollo profesional.

En el capítulo cuatro, se realiza el análisis de los resultados recopilados de cuatro maneras distintas como encuestas, autoevaluaciones, observación y grupo focal. La información recopilada de las encuestas ha sido tabulada y analizada con el fin de medir el nivel de satisfacción de los estudiantes con respecto al formato y el contenido de las prácticas. Por otro lado, las autoevaluaciones fueron usadas para medir si los objetivos de aprendizaje de cada una de las prácticas han sido cumplidos correctamente; para ello, los datos recopilados fueron tabulados y analizados de tal modo que se obtuvo el nivel de dificultad de cada práctica y cada pregunta. Además, se anotaron los datos estadísticos de cada una de las preguntas para realizar el análisis respectivo. Otro punto importante fueron las observaciones realizadas durante la ejecución de las prácticas con el propósito de constatar el desenvolvimiento de los estudiantes al realizar cada una de las prácticas. Finalmente el grupo focal está orientado a encontrar respuestas directamente de los estudiantes con respecto al desempeño de las prácticas realizadas, inconvenientes, fortalezas y posibles acciones de mejora. Finalmente, se realizó un análisis FODA en el cual se analizó la información recopilada y se determinan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas con las que al final del estudio cuentan las prácticas de laboratorio. Se concluye que el formato de las guías de prácticas de robótica es el adecuado permitiendo el aprendizaje autónomo de los estudiantes, el desarrollo de capacidad de síntesis de ideas, comprensión lectora, generalización de conceptos teóricos prácticos y el refuerzo de los conocimientos a través de las autoevaluaciones; sin embargo se pueden mejorar algunos aspectos de las prácticas considerando que algunos estudiantes tienen problemas visuales. El desarrollo de las prácticas de robótica ha permitido al estudiante acercarse a un robot industrial, manipularlos y ganar confianza en el uso de los robots industriales, sin embargo se puede mejorar la experiencia de los estudiantes implementando las herramientas, elementos industriales reales y condiciones de seguridad óptimas. Es necesario que a futuro se implemente un horario de laboratorio de robótica y un laboratorista que solvete las dudas de los estudiantes. Por otro lado, todas las prácticas de laboratorio deben tener una guía de prácticas similares para que los estudiantes se familiaricen a la metodología de las prácticas de laboratorio. Finalmente, mediante la ejecución de las prácticas de robótica se pueden

crear grupos de investigación dentro de la universidad; además se puede transformar el laboratorio en un centro de capacitación de profesionales en esta área para que participe en la resolución de problemas industriales, debido a los cambios de la matriz productiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [1] Robot Hall of Fame, powered by Carnegie Mellon Available [Online]: <http://www.robothalloffame.org/inductees/03inductees/unimate.html>
- [2] Historia da Robótica parte II. Available [Online]: <http://esabot.blogspot.com/2011/07/historia-da-robotica-seculo-xx-2a-parte.html>
- [3] The Puma 200 Available [Online]: <http://www.prsrobots.com/puma200.html>
- [4] Escandón R.; Interfaz de control de un brazo robot articulado basado en Software de Desarrollo Integral, Universidad Politécnica Salesiana Cuenca Ecuador 2013.
- [5] Blecha, P., Kolíbal, Z., Knoflíček, R., Pochylý, A., Kubela, T., Blecha, R., y Brezina, T. (2010). Mecatrónica Módulo 10: Robótica Libro de Texto Ejercicios Solución. República Checa.
- [6] Ultimate; PUMA Mark III Robot. 700 Series Equipment Manual. 1986.
- [7] Kuka Roboter GmbH; Principios de la programación de robots. Edición 19.12.2008.
- [8] Jaume Yebra Pérez, Núria Lagos Fernández; El lenguaje V+ Escola Universitaria Politècnica de ilanova i la Geltrú, Diciembre 2002.
- [9] G. Biggs and B. MacDonald. A survey of Robot Programming Systems, In proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation 2003.
- [10] Programación de robots industriales, Hilario López García, Rafael González Librán. Universidad de Oviedo, 1996.
- [11] IT. Robotics. Available [Online]: <http://www.it-robotics.com/ventajas.html>
- [12] De la ficción a la realidad Revista Vistazo Available [Online]: <http://www.vistazo.com/imprensa/ciencia/imprimir.php?Vistazo.com&id=5406>
- [13] Proforma presupuestaria República del Ecuador 2015 Available [Online]: <http://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/11/Proforma-del-PGE-2015.pdf>

- [14] Ing. Vinicio Sánchez Mst. / Damián Pizarro, Diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas industrias de la ciudad de Cuenca Available [Online]: <http://ingenius.ups.edu.ec/documents/2497096/2497482/Art.5.pdf>
- [15] Inmaculada, G. C. (2008). APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO Y CONSTRUCTIVISMO. Revista Enfoques Educativos, 77-83.
- [16] Alfageme, B. (2008). Introducción al aprendizaje colaborativo. 1-500.
- [17] BARRÓN RUIZ, A. Universidad de Salamanca. Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación. Paseo de Canalejas, 169.37008 Salamanca.
- [18] Que es un objetivo de aprendizaje Available [Online]: <http://hadoc.azc.uam.mx/objetivos/objetivodeaprendizaje.htm>
- [19] El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales Available [Online]: <http://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>
- [20] Panitz, T., y Panitz, P., (1998). Encouraging the Use of Collaborative Learning in Higher Education. En J.J. Forest (ed.) Issues Facing International Education, Junio, 1998, NY, NY: Garland Publishing
- [21] Navarro et al. (2013). Revista Electrónica de Didáctica en Educación Superior, Nro. 6. "Uso intensivo de herramientas de colaboración en línea en educación superior"
- [22] Kagan, S. (1994). Cooperative learning. San Clemente: Resources for Teachers.
- [23] Gómez-Pezuela Gamboa, G. (2007). Desarrollo psicológico y aprendizaje. México: Ed. Trillas
- [24] Stefany Hernández Requena. El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje Junio (2008)
- [25] Kléber Bermudez. Teorías del aprendizaje Módulo 3. Programa de licenciatura en educación básica modalidad de estudios a distancia. 2002.

- [26] Modelo de evaluación del conocimiento en un Sistema Tutorial Inteligente, Constanza Huapaya, Francisco Lizarralde, Jorge Vivas, Graciela Arona, julio 2007.
- [27] Elaboración de reactivos de opción múltiple, Información tomada del cuadernillo Material de apoyo para el taller de elaboración de reactivos de CENEVAL, 2012.
- [28] García Sánchez. J., Aguilera Terrats, J. R., & Castillo Rosas, A. (2011). Guía técnica para la construcción de escalas de actitud. *Odiseo, revista electrónica de pedagogía*.
- [29] González Álvarez, Natalia Ximena, Reinoso Mendoza, Efrén Patricio, Estudio, diseño y construcción de una plataforma robótica didáctica tipo Stewart aplicada al estudio de controladores difusos, Mar-2011
- [30] Ávila Torres Santiago Israel, Zambrano Abad Julio Cesar, Estudio, diseño y construcción de un robot cuadrúpedo omnidireccional, Mar-2007