



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y REINGENIERÍA DEL ROBOT ABB 6400 PARA
SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: GUSTAVO ANDRÉS NÚÑEZ SANTOS

TUTOR: RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA

Quito - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gustavo Andrés Núñez Santos con documento de identificación N.º 0604692210; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 10 de septiembre del 2024

Atentamente,



Gustavo Andrés Núñez Santos

0604692210

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

Yo, Gustavo Andrés Núñez Santos con documento de identificación N.º 0604692210; expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la Propuesta Tecnológica: “Estudio de factibilidad y reingeniería del robot ABB 6400 para su futura implementación”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de septiembre del 2024

Atentamente,



Gustavo Andrés Núñez Santos

0604692210

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Patricio Quitiaquez Sarsoza con documento de identificación N° 1710597269, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y REINGENIERÍA DEL ROBOT ABB 6400 PARA SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN, realizado por Núñez Santos Gustavo Andrés, con documento de identificación N° 0604692210, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de septiembre del 2024

Atentamente,



Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza Mgtr.
1710597269

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a mi padre, cuya dedicación y compromiso han sido una fuente constante de inspiración. Gracias a su ejemplo y apoyo incondicional, he logrado alcanzar metas que parecían inalcanzables.

A mi madre, por sus innumerables sacrificios y por su amor incondicional. En los momentos difíciles, cuando el camino se volvió empinado y las fuerzas flaqueaban, su apoyo constante y su capacidad para infundirme valor fueron cruciales para seguir adelante.

Extiendo mi más sincera gratitud al departamento electrónico de Coca Codo Sinclair por brindarme la oportunidad de realizar mis pasantías en la hidroeléctrica. Durante ese tiempo, adquirí conocimientos y experiencias invaluableles que han sido esenciales para mi desarrollo profesional. En especial, agradezco a Marcelo Suntaxi, quien además de ser un jefe excepcional, se convirtió en un amigo y mentor. Su guía y apoyo fueron invaluableles, y siempre recordaré con aprecio su disposición para compartir su sabiduría y experiencia.

Finalmente, agradezco a mis amigos y colegas, quienes han estado a mi lado durante este arduo pero gratificante camino. Sus palabras de aliento, compañía y apoyo han sido fundamentales para superar los desafíos y celebrar los éxitos. A todos ustedes, gracias por creer en mí y por ser parte de esta travesía.

DEDICATORIA

A mi madre, el pilar de mi vida, cuyo amor incondicional y fortaleza me han dado la fuerza para avanzar y alcanzar este logro. Tus sacrificios y dedicación son la base sobre la cual he construido mis sueños. Eres la persona más importante en mi vida, y todo lo que he conseguido es gracias a tu apoyo constante y a tus invaluable enseñanzas.

A mi padre, quien desde pequeño me enseñó el arte de la mecánica y me mostró que en la vida somos engranajes, siempre girando a pesar de las adversidades. Pero para alcanzar una meta, se necesita más de un engranaje, y en mi caso, ese engranaje es mi familia, que me da la fuerza para seguir adelante. Gracias, papá, por ser un modelo de integridad y por enseñarme a ver la vida como una máquina perfecta, donde cada pieza tiene su lugar y propósito.

A mi hermana Gabi, quien ha sido como una segunda madre para mí. Tu cariño, protección y apoyo incondicional han sido una fuente constante de ánimo y fortaleza. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome tu amor y comprensión en los momentos más importantes.

A mi hermana Pauly, por tu constante apoyo y compañía a lo largo de este camino. Tu alegría y energía han sido un faro de luz en mi vida, y tu presencia me ha motivado a seguir adelante y a no rendirme jamás.

A mi primer sobrino, a quien quiero como si fuera mi hijo. Tu presencia en mi vida ha sido una fuente de felicidad indescriptible. Gracias por recordarme siempre la importancia de la familia y por ser una luz en mi camino.

Al Ing. Patricio Quitiaquez, mi director de tesis, quien confió y creyó en mí para la realización de este trabajo. Su decisión de llevar esta tesis hasta su finalización es algo por lo que siempre estaré en deuda. Su guía experta, paciencia y compromiso con la excelencia académica han sido fundamentales para el éxito de este proyecto. Gracias por su dedicación y por brindarme la oportunidad de demostrar mi potencial.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
RESUMEN.....	11
Palabras claves: Estudio de factibilidad, reingeniería, robot, ABB 6400.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN.....	1
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
Alcance del proyecto o la investigación	5
CAPÍTULO 1.....	7
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE REINGENIERÍA DEL ROBOT ABB 6400.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Marco teórico de la investigación.....	8
1.2.1 Antecedentes de la investigación	8
1.2 Aspectos teóricos fundamentales.....	24
2.1. Introducción.....	27
2.2. Diseño de la investigación	27
2.3. Modalidad de la investigación	28
2.4 Análisis de alternativas.....	30
2.4.1 Cuadros comparativos de Selección de alternativas.....	32
A continuación, en la tabla 4 se proporciona un análisis detallado de cada uno de estos factores y su importancia en la toma de decisiones.	32
3.1. Introducción.....	35
3.2. Descripción de la situación actual	35
Entrevista: Segundo Experto	39

Elaboración propia	48
Evaluación Comparativa	48
Análisis:	48
3.3. Cálculos y Selección	49
<i>Análisis Detallado de Componentes Mecánicos y Electrónicos</i>	<i>50</i>
CAPÍTULO 4.....	77
ANÁLISIS ECONÓMICO	77
4.1. Introducción	77
4.2. Comprobación de la hipótesis.....	78
4.3. Evaluación ambiental.....	78
4.4. Comprobación de Resultados.....	79
4.5. Manual de Operación y mantenimiento.....	81
Introducción	81
Estructura del Manual.....	81
4.6. Análisis de costos de la implementación del proyecto	84
4.7. Justificación de costos.....	86
4.8. Análisis económico.....	88
Cálculo del Valor Actual Neto (VAN):	90
Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR):	91
Periodo de Recuperación de la Inversión	91
Bibliografía	95
ANEXOS.....	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Robot Industrial. [8].....	13
Figura 2 Anatomía de un robot industrial. Fuente: [8].....	14
Figura 3 <i>Tipos de efectores finales.</i> [8].....	14
Figura 4 <i>Área de trabajo de un robot.</i> [8].....	15
Figura 5 Esquema de robot plano con tres grados de libertad [8].....	16
Figura 6 Esquema grafico de los conceptos de resolución, exactitud y repetibilidad. [8]	17
Figura 7 Dimensiones IRB 6400RF [9]	19
Figura 8 <i>Vistas lateral, posterior y superior del manipulador (dimensiones en mm).</i> [9]	20
Figura 9 ABB IRB 6400 [9].....	20
Figura 10 Eje manipulador [9]	21
Figura 11 Matriz de descripción para el conexionado eléctrico.....	54
Figura 12 Diagrama de conexionado eléctrico. (220VAC/24 VDC)	55
Figura 13 Conexionado de entradas digitales 6ES7521 – 1BHDI-100.....	56
Figura 14 Conexionado de entradas analógicas GES7531 -7NF1 AI -100.....	57
Figura 15 Conexionado de entradas analógicas GES7531 -7NF1 AI -200.....	58
Figura 16 Conexionado de salida analógicas GES7531 – 5HD AO -100.....	59
Figura 17 Matriz de descripción para el diagrama de montaje.	60
Figura 18 Diagrama de Montaje.	61
Figura 19 Robot ABB 6400 desde el modelo de la interfaz gráfica de ROBODK.....	61
Figura 20 Conexión del robot	61
Figura 21. Conexión de relés y contactores unidos al brazo	62
Figura 22 Catálogo de SIEMENS para servomotores.....	71
Figura 23 Simulador de relación de caja reductora para la selección del servomotor	72
Figura 24 Elección del servomotor para la articulación 1	72
Figura 25 Elección del servomotor para la articulación 2.....	73
Figura 26 Elección del servomotor para la articulación 3.....	74
Figura 27 Elección del servomotor para la articulación 4.....	74
Figura 28 Elección del servomotor para la articulación 5.....	75
Figura 29 Elección del servomotor para la articulación 6.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Carga útil [4]	18
Tabla 2 Estructura ABB 6400 [9].....	21
Tabla 3 Distintas versiones del robot [9].....	23
Tabla 4 Matriz Comparativa.....	32
Tabla 5 Matriz explicativa.....	36
Tabla 6 Entrevista Semiestructurada: Evaluación de Viabilidad Técnica y Operativa de la Reingeniería del Robot ABB 6400.....	37
Tabla 7 Entrevista Semiestructurada: Evaluación de Viabilidad Técnica y Operativa de la Reingeniería del Robot ABB 6400.....	39
Tabla 8 Comparación de Costos.....	42
Tabla 9 Riesgos de Compra de Nuevo Robot ABB IRB 6400.....	45
Tabla 10 Riesgos de Reingeniería del Robot ABB 6400	46
Tabla 11 Evaluación Comparativa de Riesgos	47
Tabla 12 Matriz Comparativa de Proveedores para PLC Siemens S7-1511 DC:	52
Tabla 13 Descripción de los relés y contactores del robot	62
Tabla 14 Par del freno estático con relación al servomotor, tabla del manual de usuario del robot	70
Tabla 15 Para la articulación 1 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0	73
Tabla 16 Para la articulación 2 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0	73
Tabla 17 Para la articulación 3 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0	74
Tabla 18 Para la articulación 4 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0	75
Tabla 19 Para la articulación 5 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0	75
Tabla 20 Para la articulación 6 se debe seleccionar el servomotor 1FT2105-6AFA0	76
Tabla 21 Matriz de verificación	81
Tabla 22 Carga y ejecución de programas	82
Tabla 23 Interfaz de usuario.....	82
Tabla 24 Procedimientos de Seguridad.....	82
Tabla 25 Mantenimiento básico	83
Tabla 26 Solución de problemas	83
Tabla 27 Costos Directos	85
Tabla 28 Matriz de justificación de costos	86
Tabla 29 Costos Operativos	89
Tabla 30 Mano de Obra Directa	89
Tabla 31 Flujo de caja	89
Tabla 32 Costo - Beneficio.....	89
Tabla 33 Periodo de Recuperación de la Inversión.....	89

RESUMEN

El proyecto de reingeniería del robot ABB 6400 se centra en optimizar su rendimiento y eficiencia mediante la actualización tecnológica. Esta decisión surge de la obsolescencia del equipo original y la necesidad de mejorar su capacidad operativa en entornos industriales complejos. Durante la fase de ejecución, se realizó un análisis exhaustivo que destacó áreas críticas de obsolescencia tecnológica, como el controlador PLC y los módulos de comunicación. La evaluación comparativa entre la reingeniería del robot ABB 6400 y la adquisición de un brazo robot nuevo revela importantes consideraciones para la empresa. La reingeniería del Robot ABB 6400, aunque viable en términos de mejora tecnológica y eficiencia operativa, no se muestra como la opción más rentable a largo plazo. A pesar de sus beneficios inmediatos en términos de actualización y adaptación a nuevas tecnologías, los costos operativos proyectados y la posible obsolescencia futura de componentes críticos hacen que la inversión inicial de \$16,083.12 sea menos atractiva frente al costo de adquisición de \$25,000 USD para un equipo nuevo. Por lo que se recomienda considerar la adquisición de un brazo robot nuevo, lo cual aseguraría la integración de tecnologías de punta y minimizaría los riesgos asociados con la obsolescencia a largo plazo.

Palabras claves: Estudio de factibilidad, reingeniería, robot, ABB 6400.

ABSTRACT

The reengineering project for the robot ABB 6400 focuses on optimizing its performance and efficiency through technological upgrades. This decision stems from the obsolescence of the original equipment and the need to enhance its operational capability in complex industrial environments. During the execution phase, a comprehensive analysis highlighted critical areas of technological obsolescence, such as the PLC controller and communication modules. A comparative evaluation between reengineering the robot ABB 6400 and acquiring a new robot arm reveals significant considerations for our company. Despite being viable in terms of technological improvement and operational efficiency, reengineering the Robot ABB 6400 does not appear to be the most cost-effective option in the long term. Despite immediate benefits in terms of upgrade and adaptation to modern technologies, projected operational costs and potential future obsolescence of critical components make the initial investment of \$16,083.12 less attractive compared to the \$25,000 USD acquisition cost of a new unit. Therefore, it is recommended to consider acquiring a new robot arm, which would ensure the integration of cutting-edge technologies and minimize the risks associated with long-term obsolescence.

Keywords: Feasibility study, reengineering, robot, ABB 6400.

INTRODUCCIÓN

La robótica y la automatización han trascendido de ser meras disciplinas tecnológicas para convertirse en pilares fundamentales en el panorama industrial contemporáneo. En este contexto, el estudio de la factibilidad y reingeniería del robot ABB 6400 emerge como un eslabón crucial en la cadena de innovación y desarrollo tecnológico. Este proyecto se enmarca en la necesidad de adaptar y modernizar equipos heredados para hacer frente a las demandas cambiantes de la industria, que exigen niveles cada vez mayores de eficiencia, precisión y adaptabilidad.

El presente trabajo se propone explorar en detalle el proceso de evaluación y posible reingeniería del robot ABB 6400, una pieza de tecnología que, si bien ha sido pionera en su época, se encuentra actualmente frente al desafío de mantener su relevancia y competitividad en un entorno industrial en constante evolución. A través de un análisis exhaustivo del contexto tecnológico, metodologías de investigación y análisis de resultados, se pretende ofrecer una visión integral sobre la viabilidad y potencial de mejora de este equipo robótico.

Al proporcionar un análisis exhaustivo del estado actual del robot ABB 6400 y explorar las posibles mejoras mediante la reingeniería, esta investigación tiene como objetivo ofrecer recomendaciones prácticas y basadas en evidencia para empresas y profesionales del sector. Estas recomendaciones podrían incluir estrategias para optimizar la inversión en tecnología robótica, mejorar la eficiencia operativa y mantener la competitividad en un mercado industrial cada vez más exigente.

En resumen, esta investigación no solo contribuirá al conocimiento en el campo de la robótica y la ingeniería industrial, sino que también proporcionará una guía práctica para abordar los desafíos asociados con la actualización y mejora de sistemas robóticos heredados. Su significancia radica en su potencial para impulsar la innovación y el crecimiento en el sector industrial, mejorando la productividad y la competitividad a largo plazo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La robótica y la automatización han emergido como campos de investigación y aplicación cruciales en una amplia gama de industrias y sistemas de control. Desde sus inicios, se han caracterizado por su capacidad para mejorar la eficiencia, la precisión y la autonomía en diversas tareas y entornos [1]. En este contexto, el estudio de factibilidad y reingeniería del robot ABB 6400 surge como una respuesta a la necesidad de mantener la competitividad en un entorno industrial cada vez más exigente y dinámico.

A nivel macro, la evolución tecnológica ha sido un motor clave en el desarrollo de la robótica y la automatización [2]. La creciente demanda de eficiencia y productividad en las industrias ha impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras, como la reconfiguración y actualización de sistemas robóticos heredados.

A nivel meso, dentro del campo de la ingeniería robótica, la reingeniería de robots existentes se ha convertido en un desafío estratégico para muchas empresas. La necesidad de adaptar equipos antiguos a las demandas actuales del mercado, como la flexibilidad, la precisión y la seguridad, ha generado un interés creciente en la optimización de la inversión en tecnología robótica [3]. Asimismo, la competencia global y la presión por reducir costos han impulsado la búsqueda de soluciones rentables para mejorar la capacidad y la eficiencia de los sistemas robóticos [2].

A nivel micro, el Robot ABB 6400, una pieza de tecnología datada en 1996 se enfrenta a desafíos significativos en términos de rendimiento y eficiencia en comparación con los estándares actuales de la industria [3]. Su tecnología obsoleta y posible desgaste lo hacen menos competitivo en un mercado que demanda mayor flexibilidad y adaptabilidad. Por lo tanto, la evaluación de la factibilidad de una reingeniería se convierte en una medida estratégica para maximizar la utilidad y prolongar la vida útil del equipo [4]. Este diagnóstico inicial destaca la necesidad de actualizar y mejorar el robot para garantizar su relevancia y utilidad en un entorno industrial en constante cambio. Su análisis abarca desde la consideración de tendencias macroeconómicas y tecnológicas hasta la evaluación de desafíos específicos a nivel micro, con el objetivo de identificar oportunidades para mejorar la competitividad y la eficiencia en el uso de la tecnología robótica.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo afecta la obsolescencia tecnológica del robot ABB 6400 y su posible desgaste a la viabilidad de su reingeniería, considerando los aspectos de rendimiento, eficiencia y adaptabilidad a las demandas actuales del mercado industrial?

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es el proceso de evaluación y rediseño del robot ABB 6400 con el fin de determinar su viabilidad para una eventual reingeniería y posterior implementación en aplicaciones industriales. Este proceso implica analizar detalladamente las características técnicas, el estado de la tecnología utilizada, los costos asociados, así como las necesidades y requerimientos del mercado, con el objetivo de determinar si la actualización del robot es factible y beneficiosa en términos de rendimiento, eficiencia y competitividad en el contexto industrial actual.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación responde a un estudio de factibilidad y reingeniería del robot ABB 6400 para su posible implementación, en este orden; partiendo del planteamiento del problema es importante entender que los sistemas tradicionales heredados y la idea de una cultura empresarial inamovible son algunas de las principales barreras que limitan la implementación de mejoras en los procesos. En esta línea, entra la reingeniería de procesos constituye una solución respecto a los cambios para adecuar sus procesos a las exigencias del mercado actual, a fin de transformar sus empresas, en el aprovechamiento de la tecnología y en la optimización de procesos [4]. Estos cambios permitirán que las empresas consigan una mejora continua de sus procesos internos que les hagan ser más rápidas, efectivas y, en definitiva, más competitivas y rentables. Es por ello por lo que, la revitalización del Robot ABB 6400, un equipo esencial en procesos de fabricación desde su introducción en 1996 se fundamenta en la urgencia de actualizar infraestructuras tecnológicas y en la presión por mantener un desempeño competitivo en la era actual de la automatización. La rápida evolución tecnológica puede llevar a la rápida desactualización de maquinarias, pero mediante una reingeniería efectiva, estos sistemas pueden ser modernizados, ampliando su funcionalidad y contribuyendo a la eficiencia operativa [5].

Este enfoque no solo es una alternativa costeable frente a la inversión en nueva maquinaria, sino que también promueve la sostenibilidad al extender el ciclo de vida del equipo existente y minimizar el desperdicio electrónico. Económicamente, es crítico determinar si la inversión en la mejora del robot justifica los beneficios obtenidos en términos de rendimiento mejorado. Técnicamente, analizar las mejoras en el desempeño dinámico después de la reingeniería brindará conocimientos valiosos para futuras actualizaciones de equipos industriales [6].

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la factibilidad y reingeniería del robot ABB 6400 para su posible implementación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado de los componentes electrónicos y mecánicos del robot ABB 6400 empleando técnicas para la identificación de áreas obsoletas.
- Evaluar la viabilidad y rentabilidad de una actualización del robot ABB 6400 comparando los costos totales y beneficios a largo plazo con la adquisición de un brazo robot nuevo, enfocándose en el análisis de inversión inicial, costos operativos, vida útil y rendimiento.
- Examinar el comportamiento dinámico del robot ABB 6400 después de las actualizaciones con un software adecuado para la verificación de su eficiencia operativa en tareas industriales

Hipótesis del proyecto o la investigación

La reingeniería del robot ABB 6400, mediante la actualización de su tecnología y la optimización de su diseño, se traducirá en una mejora significativa de su rendimiento y eficiencia, lo que posibilitará su integración exitosa en sistemas de producción complejos, fortaleciendo su competitividad en el mercado industrial.

Alcance del proyecto o la investigación

El alcance del proyecto de investigación se centrará en realizar un análisis exhaustivo del estado actual del robot ABB 6400, evaluando su tecnología, rendimiento y eficiencia en comparación con los estándares actuales de la industria. Además, se llevará a cabo un estudio detallado de las necesidades y requerimientos del mercado industrial en términos de robótica y automatización. Con base en esta evaluación, se determinará la viabilidad de llevar a cabo una reingeniería del robot ABB 6400, considerando aspectos como la actualización tecnológica, la

optimización del diseño y los costos asociados.

El resultado esperado de este proyecto será la formulación de recomendaciones y propuestas concretas para la posible reingeniería del robot ABB 6400, con el objetivo de mejorar su rendimiento, eficiencia y competitividad en el mercado industrial. Estas recomendaciones se basarán en un análisis detallado de los datos recopilados y se presentarán de manera clara y objetiva, brindando una guía para la toma de decisiones respecto a la implementación de mejoras en el robot.

El método utilizado para obtener estos resultados incluirá la recopilación de información relevante sobre el robot ABB 6400 y las tendencias del mercado industrial, así como la realización de análisis comparativos y evaluaciones técnicas. Además, se podrían llevar a cabo pruebas piloto o simulaciones para validar las propuestas de reingeniería antes de su implementación final. El proceso de investigación se llevará a cabo de manera sistemática y rigurosa, utilizando métodos científicos y herramientas de análisis adecuadas para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE REINGENIERÍA DEL ROBOT ABB 6400

1.1 Introducción

El progreso tecnológico en el campo de la robótica y la automatización se ha producido un notable desarrollo constantes desafíos y oportunidades para mejorar la eficiencia y competitividad en diversas industrias [1]. En este contexto, el estudio de la reingeniería del robot ABB 6400 emerge como una respuesta estratégica para adaptar esta tecnología a las demandas cambiantes del mercado industrial. En esta sección, se explorará el marco contextual y teórico que respalda el proceso de reingeniería de este robot, abordando desde los fundamentos de la robótica hasta las metodologías y enfoques aplicados en este tipo de proyectos [2]. Se realizará un análisis del estado actual de la robótica, destacando los avances tecnológicos recientes y las tendencias emergentes en el campo. Se abordarán temas como la inteligencia artificial, la visión por computadora, los sistemas de control y la interacción humano-robot, contextualizando la relevancia de la reingeniería en un entorno tecnológico dinámico y en constante evolución [3]. Se explorarán los conceptos básicos de la reingeniería de sistemas, centrándose en los principios y metodologías aplicadas para optimizar el rendimiento y la eficiencia de los equipos existentes. Se discutirán enfoques como el análisis de procesos, la mejora continua y la innovación tecnológica, destacando su importancia en la actualización y modernización del robot ABB 6400 [4]. Se revisarán casos de estudio y experiencias prácticas relacionadas con la reingeniería de robots industriales, tanto a nivel nacional como internacional. Se analizarán los resultados obtenidos, los desafíos enfrentados y las lecciones aprendidas, proporcionando ejemplos concretos de cómo la reingeniería puede impactar positivamente en la competitividad y productividad de las empresas [5]. Se aplicarán los conceptos y metodologías revisados al caso específico del robot ABB 6400, identificando áreas de mejora y oportunidades de innovación. Se examinará su diseño, tecnología y desempeño actual, estableciendo un punto de partida para el proceso de reingeniería que se desarrollará en este estudio [6]. En conjunto, este apartado proporcionará una base sólida de conocimientos y teorías que respaldarán la planificación y ejecución de la reingeniería del robot ABB 6400, ofreciendo una visión integral de los factores que influyen en este proceso y su impacto potencial en el ámbito industrial [7].

1.2 Marco teórico de la investigación

1.2.1 Antecedentes de la investigación

La gestión de investigaciones de producción literaria ha permitido evidenciar diversos proyectos y artículos científicos que fundamenta este estudio, el primero de ellos, se enmarca en la reutilización de software en el contexto de la robótica industrial ha sido objeto de un mapeo sistemático la autoría de Solís y Hurtado para la Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, en donde los investigadores mostraron la adopción de los diferentes enfoques de reutilización, mediante un mapeo sistemático de la literatura, dentro de los cuales se analizan los más utilizados como la Ingeniería Basada en Modelos o como se conoce en sus siglas en (MDE - Model-Driven Engineering), el Desarrollo Basado En Componentes (CBSE- Component-based Software Engineering por sus siglas en inglés) y la Arquitectura Basada En Servicios (por sus siglas en inglés, SOA). Por otro lado, se analizan los marcos de trabajo por ser las soluciones más utilizados y en términos de herramientas, se enfatiza en el Sistema Operativo de Robot, conocido por sus siglas en inglés como (ROS - Robot Operating System) como una plataforma de referencia para el desarrollo rápido de aplicaciones. El desafío principal identificado en esta área de investigación es formular estrategias combinadas y prácticas para los enfoques de reutilización MDE, CBSE y SOA, con el objetivo de aprovechar las diversas ventajas de reutilización que cada uno proporciona.

Otro estudio que sustenta la investigación de Marcela Jara y Mayra Pacheco, titulado “Diseño e implementación de un robot cartesiano, para el montaje de tapa y/o pasador, en el proceso de paletizado” el proyecto comprende el diseño y la construcción de un robot cartesiano para el ensamblaje de partes, como tapas y pasadores, en una línea de pallets. Este robot tiene la capacidad de mover y colocar piezas dentro de un espacio tridimensional. Se eligió el aluminio como material principal debido a su ligereza y resistencia, empleándose en diversas formas como perfiles de aluminio estructurado, planchas y ángulos, principalmente para la construcción de la estructura y la mesa de trabajo. Además, se utilizaron otros materiales como nailon para las piezas de soporte de los pasadores. Los actuadores empleados incluyen cilindros neumáticos sin vástago para el movimiento en los ejes X e Y, y un cilindro neumático de doble efecto para el movimiento en el eje Z, encargado de proporcionar el desplazamiento al actuador final, una pinza neumática, cuya función es transportar y colocar las piezas en su posición correspondiente.

Para el proceso de ensamblaje, se utilizan los datos recibidos desde un módulo de

comprobación preexistente, que instruyen al robot sobre la tarea específica a ejecutar [13].

En esta línea, otra investigación complementaria, reside en el estudio de Vinuesa Alexander y Vera Daniela en donde delimitan que la reingeniería en los negocios aplicada a los sistemas de producción impacta de manera crucial en la modernización industrial, mejorando la competitividad y la eficiencia del sistema productivo. En este contexto, los investigadores se propusieron evaluar cómo la reingeniería de los procesos de producción en Cerrajería Artística Vera, ubicada en Riobamba, afecta la comercialización de sus productos. Este estudio es relevante, ya que en un entorno de creciente competencia global, resulta esencial modernizar los procesos productivos mediante la reingeniería de procesos empresariales, productivos, tecnológicos y organizativos.

El diseño de reingeniería propuesto para los procesos de producción abarca la integración de innovaciones desde su concepción hasta su producción a gran escala. Este enfoque tiene como objetivo cerrar las brechas y eliminar los obstáculos institucionales, superar las barreras existentes y disminuir los costos de transacción en la industria [6].

En este sentido, la reingeniería de procesos es un sistema holístico (global) de mejora continua y enfoque en los procesos oportunos para la transformación del robot ABB 6400 a fin de optimizar con el uso de buenas prácticas y nuevas tecnologías su funcionamiento. Esta monitorización permite un análisis de los procesos en busca de una mejora continua y que pueda adaptarse a las nuevas necesidades de los clientes y a la incorporación de innovaciones tecnológicas que mejoren los procesos.

1.1 Estado del arte

1.1.1 Evolución y reingeniería de la robótica.

El desarrollo de herramientas especializadas, y mecanismos que contribuyan a mejorar y facilitar la división del trabajo en tareas más pequeñas constituyeron el eje principal que admitió la automatización a partir del siglo XVIII [7]. En cuanto más avanzaba la tecnología más se evidenciaba la utilidad de Las máquinas especializadas para tareas como la colocación de tapones en botellas o el vertido de caucho líquido en moldes neumáticos, entre otras, han experimentado una notable evolución desde sus inicios. Originalmente, estas máquinas carecían de la versatilidad del brazo humano y no podían alcanzar objetos distantes ni ubicarlos en posiciones precisas. Funcionaban principalmente mediante movimientos generados por aire o agua caliente ascendentes [8]. El vertido gradual de un líquido causaba rupturas de equilibrio o caídas de peso en varios recipientes equipados con válvulas. Otros

mecanismos operaban mediante palancas o contrapesos.

En continuidad con la evolución de estas máquinas, se enmarca la obra de Isaac Asimov, “Yo robot” publicada en 1940, esta postula tres leyes que los robots deberán seguir según Bernúdez:

1. Un robot no puede actuar contra un ser humano o, mediante la inacción, permitir que un ser humano sufra daños.
 2. Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflicto con la Primera Ley.
 3. Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.
- Las máquinas más próximas a lo que hoy en día se entiende como robots fueron los “teleoperadores”, utilizados en la industria nuclear para la manipulación de sustancias radiactivas. Básicamente se trataba de servomecanismos que, mediante sistemas mecánicos, repetían las operaciones que simultáneamente estaba realizando un operador [2].

Por lo tanto, el objetivo primordial de la robótica ha sido automatizar procesos para lograr una reducción de costos directos y una mejora en las condiciones laborales [3]. Un ejemplo representativo es la industria automotriz, que requirió la implementación de automatización flexible debido a los altos costos asociados con la automatización tradicional.

Los primeros robots en esta industria eran esencialmente manipuladores de puesto fijo con controles básicos; sus sensores solo ofrecían información sobre el estado interno del robot, sin capacidad para percibir su entorno [4]. Estos robots se empleaban principalmente en tareas como soldadura por puntos, pintura, y carga y descarga de máquinas. Con el tiempo, los robots industriales encontraron aplicaciones en una variedad de procesos, incluyendo líneas de soldadura por arco, desbarbado, mecanizado y corte, entre otros [10]. Los sensores integrados en estos robots, tales como sensores táctiles, infrarrojos, ultrasonidos y cámaras de visión, ofrecen información detallada sobre el entorno de trabajo. Gracias a estos sensores, los robots pueden realizar tareas como el seguimiento de contornos, la manipulación autónoma de piezas y la prevención de colisiones [11].

Las tendencias actuales en robótica industrial se orientan hacia el desarrollo de robots con controles más rápidos y robustos, mayor capacidad de carga y menor peso. La segunda generación de robots se distingue por su capacidad para interactuar con el entorno de trabajo, representando la tecnología disponible en la actualidad. Estos robots industriales son capaces

de llevar a cabo diversas operaciones en paralelo, incluyendo guiado, procesamiento de la información recibida de sensores (como visión y tacto), y toma de decisiones para la ejecución de tareas [12].

1.1.2 Antecedentes

La gestión de investigaciones de producción literaria han permitido evidenciar diversos proyectos y artículos científicos que fundamenta este estudio, el primero de ello, se enmarca en la *Reutilización de software en la robótica industrial: un mapeo sistemático* de la autoría de Solís y Hurtado para la Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, en donde los investigadores mostraron la adopción de los diferentes enfoques de reutilización, mediante un mapeo sistemático de la literatura, dentro de los cuales se analizan los más utilizados como la Ingeniería Basada en Modelos o como se conoce en sus siglas en (*MDE - Model-Driven Engineering*), el Desarrollo Basado En Componentes (*CBSE-Component-based Software Engineering por sus siglas en ingles*) y la Arquitectura Basada En Servicios (por sus siglas en inglés, *SOA*). Por otro lado, se analizan los marcos de trabajo por ser las soluciones más utilizados y en términos de herramientas, se enfatiza en el Sistema Operativo de Robot, conocido por sus siglas en inglés como (*ROS - Robot Operating System*) como una plataforma de referencia para el desarrollo rápido de aplicaciones. El desafío central en esta área de investigación consiste en desarrollar estrategias integradas y prácticas para los enfoques de reutilización MDE, CBSE y SOA, con el objetivo de maximizar las diversas ventajas de reutilización que cada uno de estos enfoques proporciona.

Otro estudio que sustenta la investigación de Marcela Jara y Mayra Pacheco, titulado “*Diseño e implementación de un robot cartesiano, para el montaje de tapa y/o pasador, en el proceso de paletizado*” en este el proyecto incluye el diseño y la construcción de un robot cartesiano destinado al ensamblaje de partes como tapas y pasadores en una línea de pallets. Este robot está diseñado para mover y ubicar piezas dentro de un espacio tridimensional. El principal material utilizado es el aluminio, elegido por su ligereza y resistencia, y se emplea en formas diversas como perfiles estructurales, planchas y ángulos, principalmente para la estructura y la mesa de trabajo. Además, se emplearon otros materiales, como el nailon, para las piezas de soporte que facilitan la colocación de pasadores.

Los actuadores incorporados incluyen cilindros neumáticos sin vástago para los movimientos en los ejes X e Y, mientras que en el eje Z se utiliza un cilindro neumático de doble efecto, encargado de proporcionar movimiento al actuador final, una pinza neumática.

Esta pinza tiene la función de transportar y colocar las piezas en sus posiciones correctas. El proceso de ensamblaje se basa en los datos proporcionados por un módulo de comprobación preexistente, que instruye al robot sobre las tareas específicas a realizar [13].

En esta línea, otra investigación complementaria, reside en el estudio de Vinueza Alexander y Vera Daniela en donde delimitan que la reingeniería aplicada a los negocios en los sistemas de producción tiene incidencia en los procesos de modernización industrial basados en la competencia y la eficiencia del aparato productivo. Los investigadores establecieron el objetivo de determinar como la reingeniería de los procesos de producción en la empresa Cerrajería Artística Vera de la ciudad de Riobamba, influye en la comercialización de sus productos. En este sentido, la relevancia del tema de investigación permite que en condiciones de aumento hipercompetencia global, se hace necesario modernizar los procesos productivos sobre la base de reingeniería de procesos empresariales, productivos, tecnológicos y sistemas organizativos [7].

El diseño propuesto para la reingeniería de los procesos de producción abarca todo el ciclo de creación de innovaciones, desde la conceptualización de ideas hasta su implementación en producción masiva. Este enfoque tiene como objetivo eliminar brechas y obstáculos institucionales, superar barreras y reducir los costos de transacción dentro de la industria [6]-

En este sentido, la reingeniería de procesos es un sistema holístico (global) de mejora continua y enfoque en los procesos oportunos para la transformación del robot ABB 6400 a fin de optimizar con el uso de buenas prácticas y nuevas tecnologías su funcionamiento. Esta monitorización permite un análisis de los procesos en busca de una mejora continua y que pueda adaptarse a las nuevas necesidades de los clientes y a la incorporación de innovaciones tecnológicas que mejoren los procesos.

1.1.3 Definición, anatomía y características de los robots

Definición de Robot.

Se trata de una máquina programable de uso general que presenta ciertas características antropomórficas o humanoides [2]. La característica más distintiva de los robots actuales con diseño humanoide es la presencia de brazos móviles. Estos robots pueden ser programados para mover sus brazos a través de una secuencia específica de movimientos, con el propósito de llevar a cabo tareas útiles [5].

En este contexto, la capacidad de programación permite que los robots sean

empleados en una amplia gama de operaciones industriales. Muchas de estas aplicaciones requieren que el robot trabaje en conjunto con otros componentes de equipos automatizados o semiautomatizados [7]. Estas operaciones abarcan la carga y descarga de máquinas, la soldadura por puntos y la pintura por pulverización. La definición “oficial” de un robot industrial se proporciona por la Asociación de Industrias de Robótica (*Robotics Industries Association, RIA*).

Estos sistemas están compuestos por múltiples máquinas o robots que colaboran en conjunto y generalmente se controlan mediante una computadora o un controlador programable [5].

Se trata principalmente de máquinas con un solo brazo, que suelen operar desde una posición fija en la superficie de la fábrica. No obstante, no existe ninguna objeción a que la tecnología robótica evolucione para otorgar a estas máquinas capacidades cada vez más semejantes a las humanas. Ver figura 1 [4].

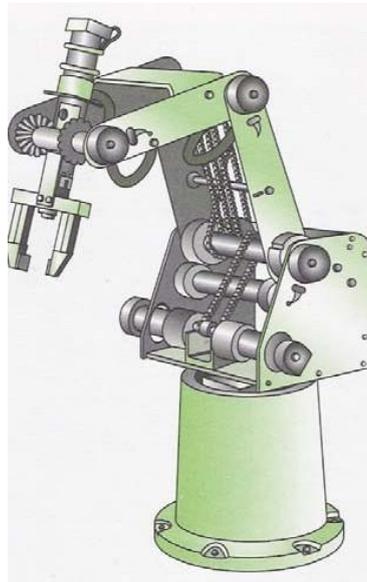


Figura 1 *Robot Industrial.* [8]

Anatomía de los robots.

La estructura de un robot se refiere a su construcción física, que incluye el cuerpo, el brazo y la muñeca de la máquina. En la mayoría de los robots industriales actuales, estos se montan sobre una base fija que está anclada al suelo. El cuerpo del robot está fijado a esta

base, y el brazo se conecta al cuerpo. La muñeca, situada al final del brazo, está compuesta por varios componentes que permiten una orientación versátil en diferentes posiciones.

En la Figura 2, se representa la estructura de un robot industrial, mostrando cómo los movimientos relativos entre el cuerpo, el brazo y la muñeca son facilitados por una serie de articulaciones. Estas articulaciones permiten movimientos de deslizamiento o rotación. A menudo, el conjunto formado por el cuerpo, el brazo y la muñeca se denomina manipulador.

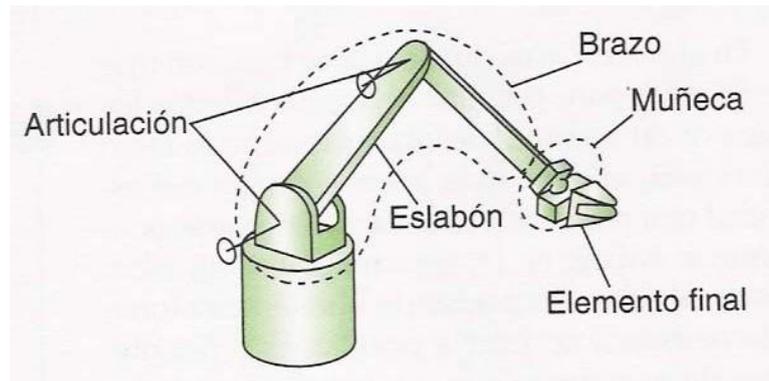


Figura 2 Anatomía de un robot industrial. Fuente: [8]

El nombre técnico aplicado a la mano es “efector final” [13]. En la figura 3 se representan los tipos de efectores finales que, aunque no se incluye dentro de la anatomía del robot el efector final; en cambio, las articulaciones del cuerpo y del brazo del manipulador se utilizan para posicionar el efector final, mientras que las articulaciones de la muñeca del manipulador permiten la orientación precisa de dicho efector final [5].

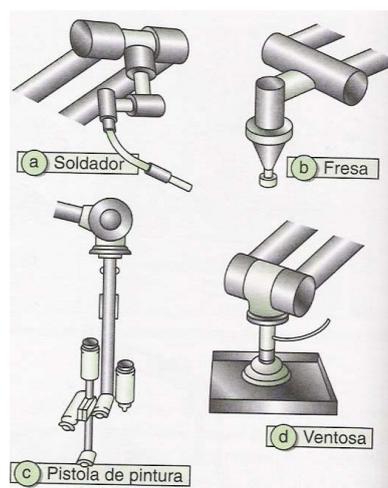


Figura 3 Tipos de efectores finales. [8]

Características de los robots.

En lo referente a cuando los fabricantes presentan sus robots, suelen proporcionar un cuadro detallado de características que describe las especificaciones del dispositivo [4]. Cuando este cuadro es completo, nos suministra los datos siguientes:

- **Área de trabajo (alcance):** El alcance espacial al que puede llegar el extremo del robot está determinado por el tamaño, forma y tipo de los eslabones que conforman el robot, así como por las restricciones impuestas por el sistema de control.

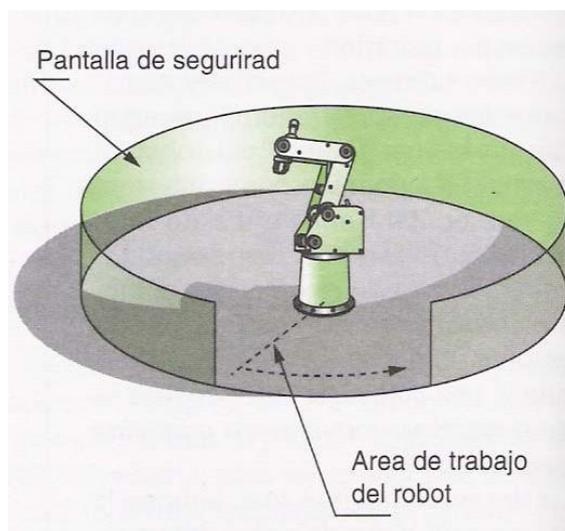


Figura 4 Área de trabajo de un robot. [8]

En la Figura 4 se ilustra el área de trabajo del robot. Es importante tener en cuenta que el efector final ubicado en la muñeca del robot no debe utilizarse en todo el espacio de trabajo, ya que se trata de un componente adicional al robot. Aunque el robot tenga acceso a toda el área de trabajo, esto no implica que pueda hacerlo con cualquier orientación.

- **Grados de libertad:** El número de grados de libertad (GDL) de un robot define su capacidad para acceder a diversas posiciones y orientar su efector final. Es importante considerar que un mayor número de grados de libertad incrementa el costo del robot [8].

En la figura 5 se esquematiza lo relacionado a la elección del número de grados de libertad necesarios ha de venir determinada por el tipo de aplicación. “Hay aplicaciones de paletizado

donde los objetos se recogen y se depositan sobre planos horizontales, en estos casos será suficiente un robot con tres grados de libertad para posicionar y uno más para orientar” [7].

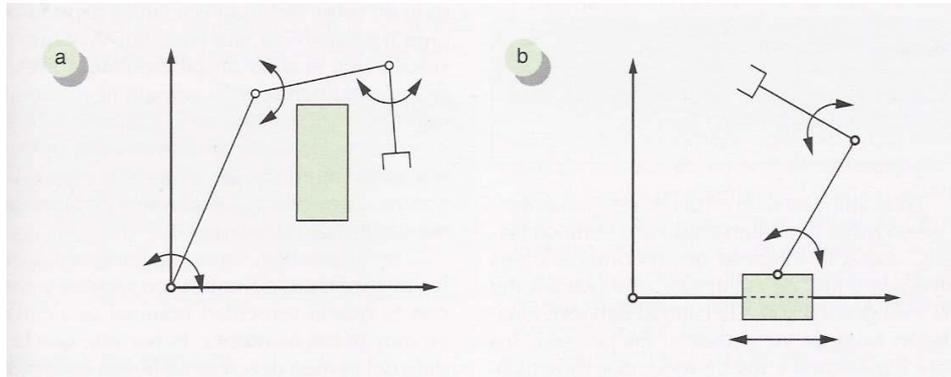


Figura 5 Esquema de robot plano con tres grados de libertad [8]

Los fabricantes de robots a menudo ofrecen la posibilidad de añadir uno o dos grados de libertad adicionales de forma opcional. Estos grados extra pueden incorporarse al robot en la base o en el extremo, dependiendo del diseño. Para aplicaciones más especializadas, es posible desarrollar robots que superen los seis grados de libertad que constituyen la configuración básica.

- **Resolución:** El incremento mínimo aceptable por la unidad de control del robot está determinado por varios factores. Este valor depende de la resolución de los sensores de posición y los convertidores analógico-digitales (A/D) y digital-analógicos (D/A). También influye el número de bits utilizados en las operaciones aritméticas de la CPU, así como los tipos de actuadores empleados, como motores paso a paso o sistemas neumáticos de conmutación total [11].
- **Exactitud:** La precisión se define como la distancia entre el punto programado y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces bajo condiciones de carga y temperatura nominales [9]. Este parámetro permite determinar el margen de error con el que el robot se posiciona en relación con un sistema base inmóvil genérico. Los errores en la precisión pueden deberse a factores como la calibración del robot (punto de sincronización), deformaciones térmicas y dinámicas, errores en los elementos de control, imprecisiones en el cálculo de la

transformación cinemática, y discrepancias entre las dimensiones reales y teóricas del robot, entre otros [10].

- **Repetibilidad (Repetitividad):** El radio de la esfera que engloba los puntos alcanzados por el robot, tras realizar suficientes movimientos hacia el mismo punto de destino programado bajo condiciones idénticas de temperatura y carga, se define como la banda que cubre el 99% de los puntos en relación con la media [15]. El error de repetibilidad y repetitividad se debe principalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión, como fricciones, histéresis y zonas muertas, entre otros.

En la figura 6 se expone el esquema de los conceptos de resolución, exactitud y repetibilidad que permiten ejecutar al robot tareas más específicas con más de seis grados de libertad como configuración básica

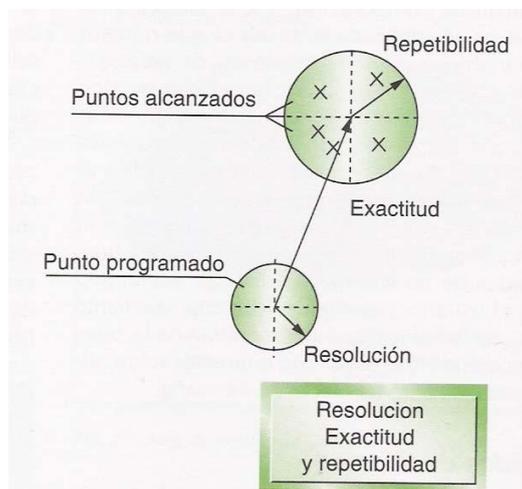


Figura 6 Esquema grafico de los conceptos de resolución, exactitud y repetibilidad. [8]

- **Velocidad de respuesta:** Se refiere a la capacidad del robot para trasladarse a una nueva posición en un corto intervalo de tiempo. Esta capacidad está relacionada con la velocidad de los movimientos del robot y es inversamente proporcional a la carga que transporta [2].

El valor de la velocidad nominal es crucial para el cálculo de los tiempos de ciclo, especialmente en robots diseñados para tareas de manipulación o ensamblaje [7].

- **Capacidad de carga:** Al evaluar la carga que un robot debe manipular, es esencial considerar tanto el peso de las piezas que se van a manejar como el peso de la herramienta o pinza montada en la muñeca del robot, que a menudo puede ser mayor

que el de los objetos mismos. Además, es importante tener en cuenta el momento que la pieza a transportar genera en el extremo del robot [7].

1.1.4 Cinemática de robots

En lo que respecta a la cinemática, las arquitecturas de los robots clásicos presentan una serie de propiedades dinámicas y estructurales caracterizadas por una gran rigidez estructural, repetibilidad y elevado peso propio [14].

En la tabla 1 se exponen los elementos de la carga útil según el tipo de robot, desde el peso propio de los de tipo clásicos, sus limitaciones de dicha capacidad y las velocidades de trabajo, “las cuales usualmente están en torno a los 60 grados/seg. para las primeras tres articulaciones de los robots industriales (robots de soldadura) y 250 grados/seg. para los robots pequeños de altas prestaciones” [8].

Tabla 1 Carga útil [4]

Robot	Peso	Carga útil	Repetibilidad	Carga útil/peso
ABB IRB 2000	370	10	0.100	0.0270
ABB IRB 4400	940	45	0.100	0.0047
ABB IRB 6400/3.0	1450	75	0.100	0.0510
STÄUBLI RX 90	120	6	0.002	0.0500
GMF S 10	200	10	0.200	0.0417
Hitachi M6100	410	10	0.100	0.0243
Puma 550	63	4	0.100	0.0063
SCARA Adept 3	205	25	0.025	0.1220
SCARA GMF A-600	120	6	0.013	0.0500

Para determinar la cinemática de los robots tradicionales, es crucial tener en cuenta que el peso de los robots industriales depende de las dimensiones de sus primeras articulaciones. En condiciones óptimas, la proporción entre la carga útil y el peso del robot es de aproximadamente 0.150 . Por lo cual, por ejemplo, un robot industrial con un alcance de 3.0 metros con capacidad para mover cargas de 75 kg puede tener un peso de 1450 kg (ABB IRB 6400) [11].

A continuación, se establece algunas recomendaciones que deben tenerse en cuenta al definir la cinemática de un robot, la cual debe hacerse en consideración de la dinámica que imponen las dimensiones de las barras que lo forman:

- El espacio de trabajo del robot debe ser analizado detenidamente para determinar el volumen óptimo en el que el robot puede operar de manera efectiva [9].

- En un robot con seis grados de libertad rotacional, las tres primeras barras son las que contribuyen significativamente a la dinámica debido a su peso. Frecuentemente, los primeros tres accionamientos de potencia se ubican en la base del robot. Sin embargo, para lograr esto, es necesario ser meticuloso en el uso de mecanismos de cuatro barras que mueven el brazo más alejado, como en el caso del robot ABB IRB2400 [9].
- En un robot con seis grados de libertad, las tres primeras articulaciones son responsables de proporcionar las condiciones de posición del robot, mientras que las tres últimas articulaciones en el extremo del robot deben concentrar los tres grados de libertad de orientación en un único punto de la herramienta o mano del robot [9].

1.1.5 Contextualización del robot ABB 6400

La maquinaria ABB IRB 6400 de 1996 se distingue por su construcción orientada a la alta eficiencia operativa. Compuesta por un sofisticado controlador de seis ejes IRB 6400, en sinergia con el avanzado controlador de robots S4, esta configuración asegura tiempos de ciclo reducidos y de gran precisión, intercambios veloces y una precisión de proceso de elevada consistencia. En la figura 7 y 8 se detallan las dimensiones del robot y sus vistas laterales y posteriores, este aparato se cuenta entre el tercio superior de las instalaciones robóticas de ABB a nivel mundial, convirtiéndolo en uno de los equipos más requeridos [9].

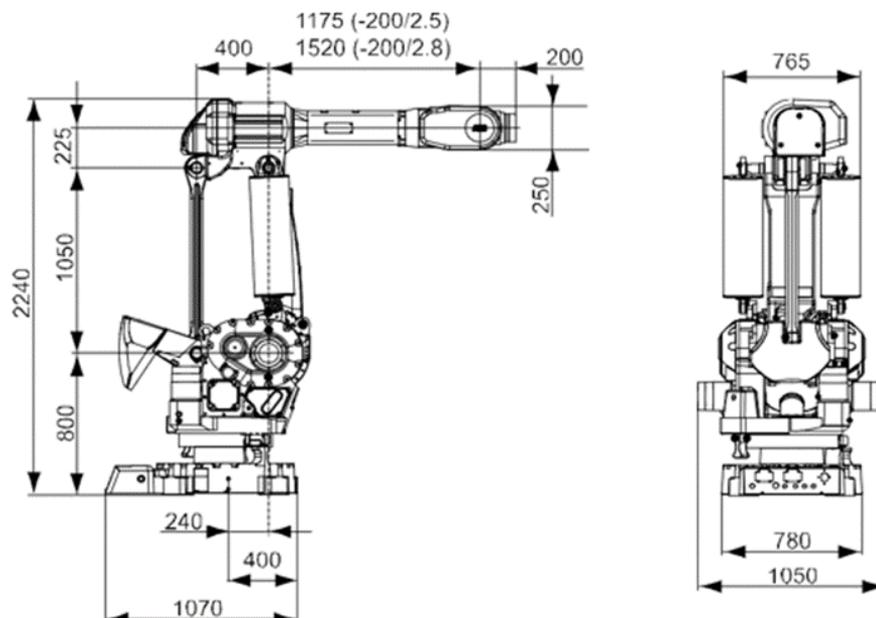


Figura 7 Dimensiones IRB 6400RF [9]

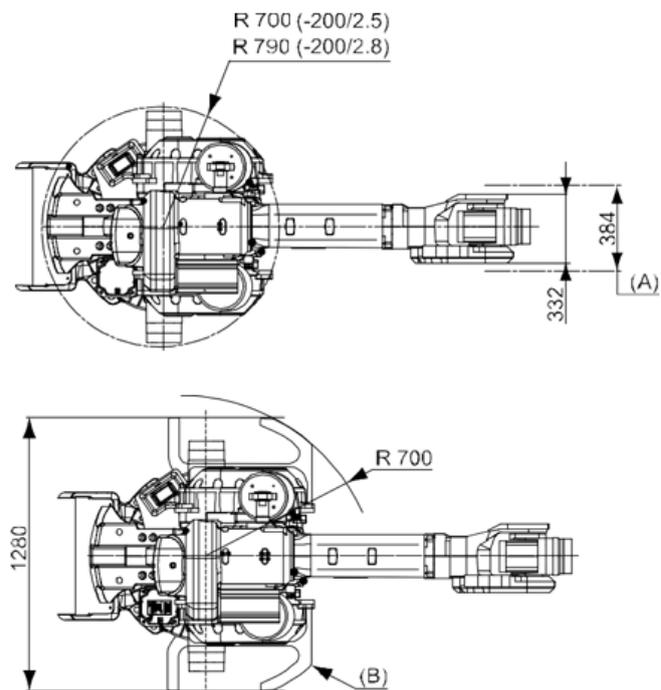


Figura 8 Vistas lateral, posterior y superior del manipulador (dimensiones en mm). [9]

El manejo del IRB 6400 se lleva a cabo a través del controlador S4, compatible con el lenguaje de programación RAPID, lo cual optimiza la gestión de la unidad.



Figura 9 ABB IRB 6400 [9]

En la figura 9 se visualiza el robot ABB IRB 6300, se observa su construcción

robusta, con un esqueleto de acero y brazos equilibrados con doble rodamiento, le confiere una confiabilidad y seguridad excepcionales en su uso [11]. El diseño del robot está concebido para su adaptación y operación eficiente en variados espacios industriales. Destaca su mínimo radio de interferencia, que favorece instalaciones sin complicaciones en áreas con equipos industriales voluminosos [11].

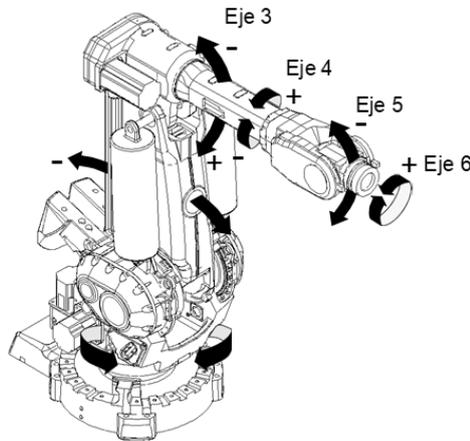


Figura 10 Eje manipulador [9]

En la figura 10 se esquematiza el eje manipulado del robo, los elementos operativos integrados en su base son de fácil reemplazo, y la mayoría de las partes pueden ser intercambiadas en menos de treinta minutos.

En la tabla 2, se detalla la estructura del ABB 6400 donde se exponen desde las generalidades de estos hasta las funcionalidades adicionales, lo que evidencia la posibilidad de realizar ajustes individuales, garantizando una rápida restauración de las operaciones a plena capacidad productiva [10].

Tabla 2 Estructura ABB 6400 [9]

Generalidades

La serie IRB 6400RF está conformada por robots robustos, con alta capacidad de carga y elevada precisión, diseñados específicamente para operar en entornos exigentes. Este robot se ofrece en dos variantes: una con un alcance de 2,5 m y otra con un alcance de 2,8 m, ambas con una capacidad de carga de 200 kg. Los robots de esta serie están equipados con la protección FoundryPlus.

En conjunto, estas características hacen que la serie IRB 6400RF sea especialmente adecuada para aplicaciones que incluyen

servicio a máquinas, manejo de materiales y pre-mecanización, garantizando altos niveles de calidad en cada uno de estos procesos.

IRC5 y RobotWare Los robots de la serie IRB 6400RF están equipados con el controlador IRC5 de un solo armario y el software de control RobotWare. Este software gestiona todos los aspectos del sistema del robot, incluyendo el control de movimiento, el desarrollo y ejecución de programas, y la comunicación, entre otros. Para más detalles, consulte el documento "Especificaciones del producto - IRC5 con FlexPendant".

Seguridad Las normas de seguridad establecen que el controlador debe estar conectado al robot para garantizar un funcionamiento seguro y controlado del sistema.

Funcionalidad adicional Para maximizar la funcionalidad del robot, se pueden añadir módulos de software opcionales que mejoran el rendimiento del movimiento, la coordinación y la compatibilidad con diversas aplicaciones. Entre las opciones disponibles se incluyen Advanced Shape Tuning, MultiMove Coordinated, Conveyor Tracking, Sensor Synchronization y Collision Detection. Para una descripción detallada de estas opciones de software, consulte el documento "Especificaciones del producto - Software de controlador del IRC5".

La investigación de Diana Arias habla de la construcción de un robot manipulador de 6 grados de libertad el cual está conectado a una computadora y trabaja en conjunto con un PLC [11]. Este modelo de brazo está basado en el software CNC Linux, este programa puede realizar varias funciones entre las cuales, controlar fresadoras, robots, tornos de hasta 9 grados de libertad, la posibilidad de utilizar códigos G, utilizar programación de bajo nivel, configurar diferentes máquinas con el método de configuración rápida [8].

En el trabajo de grado de Cristian Fuentes y Winston Mejía de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo se habla de la construcción de un prototipo de brazo robótico soldador para superficies planas, los cuales han designado como material de fabricación PLA y como controlador una tarjeta Arduino Mega, los datos estructurales y de resistencia se las hace mediante SolidWorks [11].

En la tabla 3 se exponen las distintas versiones del robot, el cual puede realizar una simulación de todo el sistema y ver los puntos críticos o en donde la carga supera la

resistencia del material.

Tabla 3 Distintas versiones del robot [9]

Generalidades		
El robot IRB 6400RF está disponible en dos variantes, con un alcance de 2,5 m o de 2,8 m, en ambos casos con una capacidad de manejo de 200 kg.		
Tipo de robot	Capacidad de manejo (kg)	Alcance (m)
IRB 6400RF	200 kg	2,5 m
IRB 6400RF	200 kg	2,8 m

Peso del manipulador	
Robot	Peso (kg)
IRB 6400RF-200/2.5	2230 kg
IRB 6400RF-200/2.8	2.390 kg

Otros datos técnicos		
Datos	Descripción	Valor
Nivel de ruido propagado por el aire	El nivel de presión sonora en el exterior del área de trabajo.	< 70 dB (A) Leq (de acuerdo con la Directiva de maquinaria 89/392/CEE)

1.1.6 Componentes y aplicaciones

- **Ensamblaje de Componentes:** Puede ser utilizado para la automatización de tareas de ensamblaje en la manufactura de automóviles, electrónicos y otros bienes de consumo-[11]
- **Soldadura:** Con la adición de herramientas y software apropiados, el robot puede realizar tareas de soldadura por puntos o soldadura por arco (GMAW) para fabricación [11]
- **Manipulación de Materiales:** Capaz de levantar y mover materiales, podría servir para la carga y descarga de piezas en líneas de producción o almacenes [11]
- **Pintura y Recubrimiento:** Equipado con pistolas de pintura y sistemas de control de fluidos, podría automatizar procesos de pintura en la industria automotriz y de fabricación de muebles [11]

- **Inspección de Calidad:** Integrado con sistemas de visión artificial y sensores, puede realizar inspecciones de calidad en piezas manufacturadas [11]
- **Empaquetado y Paletizado:** Puede ser configurado para la organización y empaquetado de productos, así como para el paletizado de cajas para el envío [11].
- **Montaje de Precisión:** Para industrias que requieren alta precisión, como la aeroespacial y la defensa, podría ser adaptado para ensamblajes complejos [11]
- **Pruebas y Experimentación:** En entornos de investigación y desarrollo, podría usarse para la realización de pruebas repetitivas o para el montaje de prototipos [11]
- **Aplicaciones de Laboratorio:** Podría ser modificado para manejar materiales peligrosos o realizar tareas repetitivas en laboratorios químicos o biológicos [11]
- **Educación y Formación:** En instituciones académicas, podría ser un recurso para la formación de estudiantes en robótica y automatización [11].

1.2 Aspectos teóricos fundamentales

Para abordar la solución del problema de la factibilidad y reingeniería del robot ABB 6400, es esencial fundamentar la investigación en una serie de teorías y formulaciones que guíen el proceso de evaluación y desarrollo. A continuación, se presentan los aspectos teóricos fundamentales que se emplearán:

- Teoría de la Reingeniería de Procesos

La reingeniería de procesos es un enfoque que busca mejorar drásticamente el rendimiento de una organización mediante el rediseño radical de sus procesos fundamentales. En el contexto de la reingeniería del robot ABB 6400, se aplican los siguientes principios:

- Rediseño Radical: Implica un cambio profundo en los componentes y sistemas del robot, buscando optimizar su rendimiento y eficiencia.
- Orientación a Procesos: El enfoque se centra en mejorar los procesos operativos en los que se integra el robot, aumentando su adaptabilidad y funcionalidad.

- Resultados Significativos: Se buscan mejoras sustanciales en términos de productividad, costos operativos y capacidad de adaptación.
- Teoría de la Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM)

La Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM) es crucial para entender cómo gestionar de manera eficaz todas las etapas del ciclo de vida del robot ABB 6400, desde su diseño hasta su retiro. Los aspectos clave incluyen:

- Desarrollo y Diseño: Optimización del diseño del robot mediante actualizaciones tecnológicas.
- Mantenimiento y Actualización: Estrategias para prolongar la vida útil y mantener el rendimiento del robot.
- Retiro y Reciclaje: Consideraciones sobre el final del ciclo de vida del robot y las mejores prácticas para su disposición o reciclaje.

- Teoría de la Automatización y Control

La automatización y el control son esenciales para el funcionamiento eficiente de los robots industriales. En la reingeniería del ABB 6400, se aplican los siguientes principios:

- Sistemas de Control: Implementación de sistemas de control avanzados que permitan una operación más precisa y eficiente del robot.
- Sensores y Actuadores: Integración de sensores y actuadores modernos que mejoren la capacidad del robot para realizar tareas complejas.
- Inteligencia Artificial: Uso de algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la autonomía y la capacidad de aprendizaje del robot.

- Teoría del Análisis de Costos y Beneficios

El análisis de costos y beneficios es una metodología fundamental para evaluar la viabilidad económica de la reingeniería del robot ABB 6400. Los elementos clave incluyen:

- Costos Iniciales: Evaluación de los costos asociados con la actualización y modernización del robot.
- Costos Operativos: Análisis de los costos de operación y mantenimiento post-reingeniería.
- Beneficios Económicos: Identificación y cuantificación de los beneficios

económicos derivados de la mejora en eficiencia, productividad y vida útil del robot.

- Teoría de la Innovación Disruptiva

La innovación disruptiva se refiere a mejoras tecnológicas que transforman la industria al introducir productos o servicios más accesibles y eficientes. En el contexto de la reingeniería del ABB 6400, se consideran:

- Adopción de Nuevas Tecnologías: Integración de tecnologías emergentes que mejoren significativamente las capacidades del robot.
- Competitividad: Cómo la reingeniería puede posicionar mejor a la empresa frente a sus competidores al adoptar tecnologías avanzadas.

Formulaciones Específicas

Modelo de Costos de Ciclo de Vida (LCC):

- Fórmula: $LCC = C_{inicial} + C_{operativo} + C_{mantenimiento} + C_{retiro}$
- Descripción: Evalúa todos los costos asociados con el ciclo de vida del robot para determinar la viabilidad económica de la reingeniería.
-

Ecuaciones de Movimiento y Control:

- Fórmula: $F = ma$ (Fuerza = masa x aceleración)
- Descripción: Aplicación de las leyes de Newton para mejorar el diseño de los sistemas de control y movimiento del robot.

Algoritmos de Optimización:

- Fórmula: $\min_{\{f_0\}} \sum_{i=1}^n C_i x_i$
- Descripción: Uso de técnicas de optimización para minimizar costos y maximizar el rendimiento del robot.

Análisis de Fiabilidad:

- Fórmula: $R(t) = e^{-\lambda t}$
- Descripción: Determinación de la fiabilidad del robot post- reingeniería, donde λ es la tasa de fallos y t es el tiempo.

CAPÍTULO 2

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS

2.1. Introducción

El presente capítulo es esencial para la estructura valorativa de la investigación, ya que establece los fundamentos sobre los cuales se desarrollará el estudio. En el contexto del proyecto "Estudio de Factibilidad y Reingeniería del Robot ABB 6400 para su Futura Implementación", este capítulo tiene como objetivo describir de manera detallada el enfoque metodológico adoptado, los métodos y técnicas utilizados, y el proceso seguido para recolectar, analizar e interpretar los datos necesarios para cumplir con los objetivos del estudio.

La reingeniería de sistemas robóticos, como el ABB 6400, requiere una metodología robusta que abarque tanto aspectos técnicos como económicos. Por lo tanto, este capítulo no solo explicará los métodos específicos empleados para diagnosticar el estado de los componentes del robot, sino también la justificación de la elección de dichos métodos en función de la naturaleza del problema y los objetivos del estudio.

2.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación comprendió una planificación de las actividades y procedimientos necesarios para alcanzar los objetivos del estudio sobre la factibilidad y reingeniería del robot ABB 6400. Este diseño incluye los siguientes elementos clave:

- **Revisión de Literatura:** Se realizó un estudio exhaustivo de investigaciones previas, manuales técnicos y publicaciones relevantes sobre la reingeniería de robots industriales, enfocándose en el ABB 6400.
- **Selección de Métodos de Diagnóstico:** Se determinaron las técnicas más adecuadas para evaluar el estado de los componentes, incluyendo pruebas funcionales, mediciones directas, y simulaciones.
- **Recopilación de Datos:** Se recogieron datos a través de inspecciones visuales, mediciones directas, entrevistas con expertos, y análisis de documentación técnica.
- **Análisis de Datos:** Se analizaron los datos obtenidos para identificar componentes obsoletos y áreas que requerían mejoras, utilizando técnicas estadísticas y de simulación.

2.3. Modalidad de la investigación

El enfoque de la investigación fue mixto, se emplearon métodos tanto cuantitativo y cualitativo. Se utilizaron datos numéricos para evaluar el rendimiento y estado de los componentes del robot, así como información cualitativa proveniente de entrevistas y observaciones para complementar y contextualizar los hallazgos cuantitativos.

El estudio fue de tipo exploratorio y descriptivo, ya que se buscó describir detalladamente el estado actual de los componentes del robot ABB 6400 y explorar las posibles áreas de mejora. La investigación tuvo un alcance no experimental, enfocándose en la observación y análisis de la situación actual del robot sin manipular las variables de estudio de manera directa. Se centró en diagnosticar y evaluar el estado de los componentes para identificar necesidades de actualización.

Métodos

- Inspección Visual: Se realizó una revisión física de los componentes del robot para identificar signos visibles de desgaste o daño.
- Entrevistas: Se llevaron a cabo conversaciones estructuradas con técnicos y operadores que habían trabajado con el robot para obtener información cualitativa sobre su rendimiento y problemas recurrentes.
- Pruebas Funcionales: Se ejecutaron pruebas operativas para evaluar el desempeño de los componentes electrónicos y mecánicos bajo condiciones controladas.
- Simulaciones: Se utilizó software de simulación para predecir el comportamiento del robot bajo diferentes escenarios y cargas de trabajo.

Mediciones Directas

Se emplearon instrumentos de medición para obtener datos precisos sobre la funcionalidad y eficiencia de los componentes del robot, tales como voltímetros, osciloscopios, y sensores de posición y movimiento.

- Análisis del Ciclo de Vida (LCA): Se evaluó el ciclo de vida de los componentes del robot para identificar aquellos que estaban cerca del final de su vida útil, utilizando metodologías estándar de análisis de ciclo de vida que consideraban factores como el desgaste, la obsolescencia tecnológica y la frecuencia de fallos.
- Benchmarking: Se realizó una comparación del ABB 6400 con robots similares de la misma generación y con modelos más recientes, para identificar brechas tecnológicas y oportunidades de actualización.

Metodología para la evaluación del riesgo

Para la evaluación de riesgos se utilizó una metodología comúnmente conocida como matriz de evaluación de riesgos o matriz de riesgos. Esta metodología es ampliamente aceptada y utilizada en la gestión de proyectos y análisis de riesgos debido a su capacidad para proporcionar una visión estructurada y comparativa de los riesgos potenciales asociados con diferentes opciones o decisiones.

Se identificaron y definieron los riesgos potenciales asociados con cada opción considerada (compra de nuevo robot vs. reingeniería del robot existente). Cada riesgo se describió detalladamente, incluyendo su impacto potencial en el proyecto y la probabilidad de ocurrencia.

Los riesgos se categorizaron según su impacto potencial (alto, medio, bajo) y su probabilidad de ocurrencia (alta, moderada, baja). Esta categorización proporciona una estructura para comprender mejor la naturaleza y el alcance de cada riesgo.

Se asignaron valores numéricos a cada riesgo según su impacto y probabilidad. Por ejemplo, un riesgo con impacto y probabilidad altos recibió una valoración numérica más alta que un riesgo con impacto medio y probabilidad baja.

Cálculo de la Evaluación de Riesgo (%): Para cada opción (compra de nuevo robot y reingeniería del robot existente), se sumaron los valores numéricos asignados a los riesgos identificados. Esta suma proporciona una evaluación cuantitativa del nivel total de riesgo asociado con cada opción en términos porcentuales.

La matriz de evaluación de riesgos es una metodología efectiva por varias razones fundamentales: Proporcionó una estructura clara para identificar, categorizar y evaluar los riesgos potenciales de manera sistemática. Esto facilitó una comprensión más profunda de los factores críticos que pueden afectar el éxito o fracaso de una decisión.

Esto ayuda a las personas que toman decisiones a visualizar y entender las implicaciones de cada opción en términos de riesgos potenciales. Al proporcionar una evaluación numérica y visual de los riesgos, la matriz permite a los gerentes y equipos de proyecto tomar decisiones más informadas. Pueden ponderar los riesgos identificados junto con otros factores como costos, beneficios y recursos disponibles. Facilitó la identificación temprana de riesgos significativos y la planificación de respuestas adecuadas para mitigarlos o gestionarlos efectivamente. Esto contribuye a la minimización de sorpresas y problemas inesperados durante la ejecución del proyecto.

2.4 Análisis de alternativas

El análisis de las alternativas para la actualización del robot ABB 6400 se centra en evaluar las diferentes opciones disponibles, considerando factores clave como el costo inicial, la vida útil, el riesgo de fallos, la adaptabilidad y el impacto ambiental. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada alternativa:

- **Reingeniería del Robot ABB 6400**

Esta alternativa implica actualizar los componentes y la tecnología del robot ABB 6400 para mejorar su rendimiento, eficiencia y adaptabilidad a las demandas actuales del mercado. En cuanto a las ventajas se tiene:

- **Costo Inicial Reducido:** La inversión inicial necesaria para reingenierizar el robot es significativamente menor que la adquisición de un equipo nuevo. Esto permite a las empresas optimizar sus recursos financieros.
- **Extensión de Vida Útil:** Mediante la actualización de componentes clave, se puede extender la vida útil del robot, maximizando el retorno de inversión en el equipo existente.
- **Minimización de Residuos:** Al reutilizar y mejorar los componentes existentes, se contribuye a la reducción del impacto ambiental, promoviendo prácticas más sostenibles.

Respecto a las desventajas se exponen:

- **Limitaciones Técnicas:** La reingeniería puede estar limitada por la base tecnológica antigua del robot, lo que podría restringir las mejoras posibles.
- **Riesgo de Fallos:** Aunque se realicen actualizaciones, pueden persistir algunos problemas relacionados con el desgaste original del equipo, lo que puede afectar su fiabilidad a largo plazo.

- **Adquisición de un Nuevo Brazo Robótico**

Esta alternativa considera la compra de un robot completamente nuevo, equipado con la última tecnología y capacidades avanzadas. En cuanto a las ventajas se exponen:

- **Tecnología de Vanguardia:** La adquisición de un nuevo robot ofrece acceso a las últimas innovaciones en robótica y automatización, lo que puede mejorar significativamente la eficiencia y precisión operativa.
- **Mayor Fiabilidad:** Un robot nuevo tiene una menor probabilidad de fallos y ofrece una mayor fiabilidad en comparación con un equipo reingenierizado.
- **Compatibilidad:** Los robots nuevos están diseñados para integrarse fácilmente con sistemas modernos y pueden adaptarse mejor a futuras actualizaciones tecnológicas.

En lo que concierne a las desventajas:

- **Alto Costo Inicial:** La inversión necesaria para adquirir un robot nuevo es considerablemente alta, lo que puede representar un desafío financiero para algunas empresas.
- **Tiempo de Implementación:** La instalación y adaptación de un nuevo robot puede requerir un período de tiempo más largo, afectando temporalmente la productividad.
- **Obsolescencia Rápida:** La tecnología avanza rápidamente, por lo que un robot nuevo también puede volverse obsoleto en un período de tiempo relativamente corto.

- **Híbrido de Reingeniería y Adquisición**

Esta alternativa combina la reingeniería de componentes clave del robot ABB 6400 con la integración de módulos nuevos y avanzados. Sobre las ventajas, se presentan:

- **Balance de Costos:** Ofrece un equilibrio entre la inversión inicial y la actualización tecnológica, permitiendo mejoras significativas sin los altos costos de un robot completamente nuevo.
- **Flexibilidad:** Permite mejorar áreas específicas del robot donde sea más necesario, sin necesidad de reemplazar todo el equipo.
- **Optimización:** Aprovecha los componentes funcionales existentes y los combina con nuevos avances tecnológicos, optimizando el rendimiento general del robot.

Respecto a las desventajas:

- Complejidad Técnica: La integración de nuevas tecnologías con componentes antiguos puede ser técnicamente compleja, requiriendo una gestión y planificación detallada.
- Gestión de Proyectos: Este enfoque puede requerir una mayor coordinación y gestión de proyectos para asegurar que las mejoras se implementen de manera efectiva y eficiente.

Cada una de las alternativas presenta ventajas y desventajas únicas que deben ser evaluadas en función de los objetivos específicos de la empresa y del proyecto. La reingeniería del robot ABB 6400 puede ser una opción atractiva por su costo reducido y sostenibilidad, pero puede estar limitada por problemas técnicos persistentes. La adquisición de un nuevo robot ofrece tecnología de punta y mayor fiabilidad, aunque a un costo significativamente mayor. La alternativa híbrida proporciona un equilibrio interesante entre costos y mejoras tecnológicas, aunque con desafíos de integración y gestión.

2.4.1 Cuadros comparativos de Selección de alternativas

La tabla comparativa de alternativas presenta una evaluación de las opciones disponibles para la actualización del robot ABB 6400, considerando varios factores críticos: costo inicial, vida útil, riesgo de fallos, adaptabilidad e impacto ambiental.

A continuación, en la tabla 4 se proporciona un análisis detallado de cada uno de estos factores y su importancia en la toma de decisiones.

Tabla 4 *Matriz Comparativa*

Alternativa	Costo Inicial	Vida Útil	Riesgo de Fallos	Adaptabilidad	Impacto Ambiental
Reingeniería del ABB 6400	Bajo	Extendida	Moderado	Media	Bajo
Nuevo Brazo Robótico	Alto	Extensa	Bajo	Alta	Alto
Híbrido de Reingeniería y Adquisición	Medio	Extensa	Moderado	Alta	Medio

Elaboración propia

1. Costo Inicial

- Reingeniería del ABB 6400: Esta opción presenta un costo inicial bajo, lo que la hace atractiva para empresas con restricciones presupuestarias. La actualización de

componentes existentes es menos costosa que la compra de un nuevo robot.

- Nuevo Brazo Robótico: La inversión inicial es alta debido a la adquisición de tecnología de punta y un equipo completamente nuevo. Esta opción puede ser una barrera significativa para muchas empresas.
- Híbrido de Reingeniería y Adquisición: Ofrece un costo inicial medio, proporcionando un equilibrio entre las opciones anteriores. Combina la actualización de componentes críticos con la incorporación de nuevas tecnologías.

2. Vida Útil

- Reingeniería del ABB 6400: Extiende la vida útil del robot existente al actualizar componentes clave, pero no alcanza la longevidad de un equipo completamente nuevo.
- Nuevo Brazo Robótico: Proporciona una vida útil extensa, aprovechando la durabilidad y las garantías asociadas con equipos nuevos.
- Híbrido de Reingeniería y Adquisición: También ofrece una vida útil extensa, ya que combina componentes actualizados con nuevos, prolongando la operatividad del equipo.

3. Riesgo de Fallos

- Reingeniería del ABB 6400: Presenta un riesgo de fallos moderado, ya que aunque se actualicen componentes, el desgaste inherente y las limitaciones tecnológicas del equipo original pueden persistir.
- Nuevo Brazo Robótico: Tiene un riesgo de fallos bajo, ya que los equipos nuevos están diseñados para ser más fiables y eficientes.
- Híbrido de Reingeniería y Adquisición: Ofrece un riesgo de fallos moderado, combinando componentes nuevos y antiguos, lo que puede introducir complejidades adicionales.

4. Adaptabilidad

- Reingeniería del ABB 6400: La adaptabilidad es media, limitada por las capacidades tecnológicas del robot original. Las actualizaciones mejoran la funcionalidad, pero no al nivel de un nuevo equipo.
- Nuevo Brazo Robótico: Altamente adaptable, con tecnología de vanguardia que permite integrar el robot en diversos entornos de producción y responder a futuras innovaciones.
- Híbrido de Reingeniería y Adquisición: Alta adaptabilidad, aprovechando la flexibilidad de componentes nuevos mientras se optimizan los existentes. Permite

una integración efectiva en sistemas modernos.

5. Impacto Ambiental

- Reingeniería del ABB 6400: Bajo impacto ambiental, ya que se reutilizan componentes existentes, reduciendo residuos y promoviendo la sostenibilidad.
- Nuevo Brazo Robótico: Alto impacto ambiental debido a la producción y eliminación del equipo anterior, así como al uso de recursos para fabricar un nuevo robot.
- Híbrido de Reingeniería y Adquisición: Impacto ambiental medio, balanceando la incorporación de nuevos componentes con la reutilización de los existentes, lo que reduce la generación de residuos.

CAPÍTULO 3

CÁLCULOS DE RENTABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Introducción

En el tercer capítulo de este estudio, aborda el análisis e interpretación de los resultados obtenidos a partir de las investigaciones realizadas. Este capítulo representa una etapa crucial en el proceso de investigación, donde se examinan detalladamente los datos recopilados para extraer conclusiones significativas y responder a las preguntas de investigación planteadas previamente.

El análisis de los resultados permite comprender mejor las relaciones entre las variables investigadas y evaluar la validez de las hipótesis formuladas. A través de diversas técnicas estadísticas y cualitativas, se exploran patrones, tendencias y asociaciones que emergen de los datos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones y la formulación de recomendaciones.

En este capítulo, se presentarán de manera sistemática los hallazgos más relevantes, utilizando tablas, gráficos y narrativas descriptivas para ilustrar y explicar los resultados. Se enfocará en identificar los principales hallazgos, analizar sus implicaciones y ofrecer una interpretación detallada de su significado dentro del contexto del estudio. Además, se discutirán las limitaciones del estudio y cualquier sesgo potencial que pueda haber afectado los resultados. Se reconocerán las áreas de incertidumbre y se reflexionará sobre cómo podrían haber influido en las conclusiones. Este capítulo servirá como punto de partida para las discusiones y conclusiones del estudio, brindando una visión clara y fundamentada de los resultados obtenidos y su relevancia para el campo de estudio en cuestión.

3.2. Descripción de la situación actual

En esta sección, se detalla minuciosamente el estado actual de la problemática en estudio, proporcionando una visión comprensiva de los principios de funcionamiento del sistema, el estado de la producción y otros aspectos relevantes.

En cuanto a los principios de funcionamiento, el sistema en cuestión, el Robot ABB 6400, opera mediante una serie de principios de funcionamiento bien definidos. Este robot industrial, diseñado para realizar tareas de manipulación y ensamblaje en entornos de producción, se basa en la programación de movimientos precisos y coordinados para llevar a cabo sus funciones.

Los principios de funcionamiento del Robot ABB 6400 involucran la comunicación entre su software de control y los actuadores mecánicos, que ejecutan las acciones necesarias para realizar las tareas asignadas.

En referencia de la producción actual, se observa que el rendimiento del Robot ABB 6400 puede estar influenciado por diversos factores, como la velocidad de ejecución de las tareas, la precisión en la manipulación de objetos y la capacidad de adaptación a cambios en el entorno de trabajo. Los datos históricos muestran que, si bien el robot ha sido eficaz en ciertas tareas, también se han identificado áreas de mejora en términos de eficiencia y productividad. Por ejemplo, se han registrado tiempos de ciclo más largos de lo deseado y una mayor incidencia de errores de precisión en algunas operaciones.

A continuación, en la tabla 5 se presenta una tabla que resume algunos indicadores clave del rendimiento actual del Robot ABB 6400:

Tabla 5 *Matriz explicativa*

Indicador	Definición	Valor Actual
Velocidad de Tareas	La velocidad promedio a la que el Robot ABB 6400 completa las tareas asignadas, medida en unidades de tarea por unidad de tiempo (por ejemplo, unidades por hora).	250 mm/seg Moderada
Tiempo de Ciclo	El tiempo total requerido para completar un ciclo completo de producción, desde la recopilación de materiales hasta la finalización de la tarea, en comparación con el tiempo óptimo previamente establecido.	Por encima de lo óptimo
Precisión	La capacidad del Robot ABB 6400 para realizar las tareas asignadas con exactitud y sin errores significativos, expresada como el porcentaje de tareas completadas correctamente en relación con el total de tareas ejecutadas.	Algunos errores detectados
Capacidad de Adaptación	La habilidad del Robot ABB 6400 para ajustarse y responder de manera efectiva a cambios en el entorno de trabajo, como la introducción de nuevas tareas o la variación en la disposición de los objetos.	Nula ya que está fuera de servicio

Esta tabla proporciona una visión general de la situación actual del robot, destacando áreas de fortaleza y oportunidades de mejora. En resumen, la descripción de la situación actual proporciona una base sólida para el análisis posterior, permitiendo una comprensión clara de los desafíos y oportunidades asociados con el Robot ABB 6400. Este análisis informará el desarrollo de estrategias y soluciones en las secciones subsiguientes del estudio.

Análisis de entrevista a expertos

Para evaluar la viabilidad técnica y operativa de la reingeniería del Robot ABB 6400, se realizaron entrevistas semiestructuradas con expertos en el campo de la robótica industrial de la ciudad de Quito. Estas entrevistas proporcionan una visión detallada y cualitativa de los aspectos clave relacionados con la actualización de componentes y tecnologías del robot, así como de los desafíos técnicos y operativos que podrían surgir durante el proceso.

Las entrevistas se llevaron a cabo con dos expertos en la industria de la automatización y robótica, de la ciudad de Quito, quienes compartieron sus experiencias y conocimientos específicos sobre la reingeniería de robots industriales. A través de sus respuestas, se busca obtener un entendimiento profundo de los factores críticos que influyen en la implementación y éxito del proyecto.

Los objetivos principales de estas entrevistas fueron: Identificar la viabilidad técnica de la reingeniería del Robot ABB 6400. Evaluar los desafíos técnicos y operativos potenciales.

Determinar los recursos adicionales necesarios para la actualización del robot. Analizar cómo la reingeniería afectaría la interoperabilidad con otros sistemas y equipos en un entorno de producción. Considerar las implicaciones operativas y de eficiencia para la empresa.

A continuación, en la tabla 6 se presentan las respuestas obtenidas de los expertos entrevistados, seguidas de un análisis detallado de cada entrevista para extraer las conclusiones relevantes para la viabilidad y rentabilidad del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400.

Entrevista: Primer experto

Tabla 6 *Entrevista Semiestructurada: Evaluación de Viabilidad Técnica y Operativa de la Reingeniería del Robot ABB 6400*

Pregunta	Respuesta	Diagnóstico
<i>1. ¿Cuál es su opinión sobre la viabilidad técnica de la reingeniería del Robot ABB 6400 en términos de actualización de componentes y tecnologías?</i>	La viabilidad técnica de la reingeniería del Robot ABB 6400 es bastante alta. Los componentes clave pueden actualizarse con tecnologías modernas. Además, ABB tiene un sólido soporte para sus productos.	Alta viabilidad técnica debido a la capacidad de actualización de componentes y al soporte del fabricante.
<i>2. ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos</i>	Los desafíos incluyen la compatibilidad de nuevos	Compatibilidad de componentes e

que podrían surgir al implementar la reingeniería del robot en su contexto específico?

componentes con la integración de infraestructura existente y la integración del software son los principales desafíos técnicos identificados. actualizado con los sistemas de producción actuales. También puede haber problemas con la calibración precisa del robot tras la instalación de nuevos sensores y actuadores.

3. ¿Qué recursos técnicos adicionales serían necesarios para llevar a cabo con éxito la reingeniería del robot?

Se necesitarían ingenieros especializados en robótica, software de simulación, acceso a repuestos de alta calidad y capacitación para el personal de mantenimiento y operación.

Requerimiento de personal especializado, herramientas de simulación y formación adecuada para el personal.

4. ¿Cómo cree que la reingeniería del Robot ABB 6400 afectaría la interoperabilidad con otros sistemas y equipos en su entorno de producción?

La reingeniería probablemente mejoraría la interoperabilidad, especialmente si se implementan protocolos de comunicación estándar y tecnologías IoT. Inicialmente, podría haber desafíos de integración.

Potencial mejora en la interoperabilidad, pero con desafíos iniciales de integración a resolver.

5. ¿Cuáles son las implicaciones operativas más importantes para considerar al planificar la reingeniería del robot?

Las implicaciones incluyen minimizar el tiempo de inactividad, capacitar al personal en nuevas tecnologías y establecer un plan de mantenimiento para los nuevos componentes.

Necesidad de gestionar el tiempo de inactividad, capacitar al personal y planificar el mantenimiento de nuevos componentes.

6. ¿Cómo cree que la reingeniería del robot afectaría la eficiencia y productividad de las operaciones en su empresa/organización?

Debería tener un impacto positivo en la eficiencia y productividad, permitiendo al robot operar a mayores velocidades, con mayor precisión y menos errores.

Esperado aumento en eficiencia y productividad, reducción de errores y costos operativos.

7. ¿Existen riesgos específicos asociados con la reingeniería del robot que considere críticos para el éxito del proyecto?

Los riesgos incluyen fallas en la integración de nuevos componentes, costos imprevistos de repuestos o capacitación adicional, y resistencia al cambio por parte del personal operativo.

Identificación de riesgos en integración, costos imprevistos y resistencia al cambio del personal.

Nota: Datos extraídos de la entrevista aplicada a los expertos. Respecto a la Evaluación de Viabilidad Técnica y Operativa de la Reingeniería del Robot ABB 6400. 2024.

El análisis de las respuestas y el diagnóstico de la entrevista semiestructurada revela una alta viabilidad técnica para la reingeniería del Robot ABB 6400. La capacidad de actualizar componentes y la sólida base de soporte del fabricante son factores positivos. Sin

embargo, se identifican desafíos técnicos significativos, como la compatibilidad de nuevos componentes con la infraestructura existente y la integración del software actualizado.

La implementación exitosa de la reingeniería requerirá recursos técnicos adicionales, incluyendo personal especializado en robótica y automatización, herramientas de simulación, y formación adecuada para el personal de mantenimiento y operación. Además, aunque se espera que la reingeniería mejore la interoperabilidad con otros sistemas y equipos, se deben abordar los desafíos iniciales de integración.

Operativamente, es crucial minimizar el tiempo de inactividad durante la implementación, capacitar al personal en el uso de nuevas tecnologías y establecer un plan de mantenimiento para los nuevos componentes. La reingeniería debería aumentar la eficiencia y productividad, permitiendo al robot operar a mayores velocidades y con mayor precisión.

Finalmente, se destacan riesgos críticos como posibles fallas en la integración de nuevos componentes, costos imprevistos, y resistencia al cambio por parte del personal operativo. Abordar estos riesgos de manera proactiva será esencial para el éxito del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400.

En la tabla 7 se exponen el criterio de un segundo experto entrevistado para una comparación de perspectivas que permita determinar la viabilidad técnica y operativa de la reingeniería del robot:

Entrevista: Segundo Experto

Tabla 7 *Entrevista Semiestructurada: Evaluación de Viabilidad Técnica y Operativa de la Reingeniería del Robot ABB 6400*

Pregunta	Respuesta del Experto	Diagnóstico
<i>1. ¿Cuál es su opinión sobre la viabilidad técnica de la reingeniería del Robot ABB 6400 en términos de actualización de componentes y tecnologías?</i>	La reingeniería del Robot ABB 6400 es viable técnicamente. Los componentes electrónicos modernos y las tecnologías disponibles actualmente pueden integrarse con éxito en la estructura existente del robot.	La reingeniería es técnicamente viable, con una integración efectiva de componentes modernos.
<i>2. ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos que podrían</i>	Los principales desafíos técnicos incluyen la	Desafíos en la calibración y

<i>surgir al implementar la reingeniería del robot en su contexto específico?</i>	calibración de los nuevos componentes con el sistema antiguo y la necesidad de software especializado para asegurar la compatibilidad y el rendimiento óptimo.	compatibilidad de sistemas antiguos y nuevos componentes.
<i>3. ¿Qué recursos técnicos adicionales serían necesarios para llevar a cabo con éxito la reingeniería del robot?</i>	Se necesitarían ingenieros con experiencia en robótica y sistemas de control, además de software especializado como el ROBODK para la simulación y programación del robot.	Recursos técnicos adicionales: ingenieros expertos y software especializado.
<i>4. ¿Cómo cree que la reingeniería del Robot ABB 6400 afectaría la interoperabilidad con otros sistemas y equipos en su entorno de producción?</i>	La reingeniería debería mejorar la interoperabilidad, ya que los nuevos componentes y software están diseñados para ser más compatibles con estándares industriales modernos.	Mejora esperada en la interoperabilidad con otros sistemas y equipos.
<i>5. ¿Cuáles son las implicaciones operativas más importantes para considerar al planificar la reingeniería del robot?</i>	Es crucial planificar adecuadamente los tiempos de inactividad y asegurar que haya una capacitación adecuada para el personal que operará y mantendrá el robot actualizado.	Planificación de tiempos de inactividad y capacitación del personal.
<i>6. ¿Cómo cree que la reingeniería del robot afectaría la eficiencia y productividad de las operaciones en su empresa/organización?</i>	La eficiencia y productividad deberían aumentar significativamente debido a la mejora en la precisión y velocidad de operación del robot, así como a la reducción en el tiempo de mantenimiento.	Incremento significativo en eficiencia y productividad operativa.
<i>7. ¿Existen riesgos específicos asociados con la reingeniería del robot que considere críticos para el éxito del proyecto?</i>	Los riesgos críticos incluyen posibles fallos de compatibilidad y la necesidad de ajustes técnicos inesperados durante la integración.	Riesgos críticos: fallos de compatibilidad y ajustes técnicos inesperados.
<i>Observaciones Finales</i>	La reingeniería del Robot ABB 6400 es una oportunidad para extender su vida útil y mejorar su rendimiento. Con la planificación adecuada y la asignación de recursos, los beneficios superarán los desafíos.	Conclusión positiva sobre la viabilidad y beneficios de la reingeniería.

Nota: Datos extraídos de la entrevista aplicada a los expertos. Respecto a la Evaluación de Viabilidad Técnica y Operativa de la Reingeniería del Robot ABB 6400. 2024.

El segundo experto confirma la viabilidad técnica de la reingeniería del Robot ABB 6400, destacando que la integración de componentes modernos es posible. Este refuerzo de la viabilidad técnica indica que los desafíos principales serán manejables con los recursos adecuados. El diagnóstico señala la calibración y la compatibilidad de sistemas como los desafíos más importantes. Sin embargo, la disponibilidad de ingenieros experimentados y software especializado como ROBODK puede mitigar estos desafíos.

La identificación de la necesidad de ingenieros especializados y software avanzado subraya la importancia de tener personal capacitado y herramientas adecuadas para asegurar el éxito del proyecto. La reingeniería debería mejorar la interoperabilidad con otros sistemas, gracias a la incorporación de componentes diseñados con estándares industriales modernos, lo cual es crucial para mantener una operación eficiente e integrada.

El experto destaca la importancia de planificar los tiempos de inactividad y proporcionar capacitación adecuada al personal. Esto es fundamental para minimizar el impacto negativo durante la transición y maximizar los beneficios de la reingeniería. Se espera un aumento significativo en la eficiencia y productividad, lo cual es un fuerte argumento a favor de la reingeniería. La mejora en precisión, velocidad y reducción de tiempo de mantenimiento son beneficios clave. Los riesgos principales incluyen posibles fallos de compatibilidad y ajustes técnicos inesperados. Sin embargo, estos pueden ser gestionados con una planificación adecuada y la flexibilidad para abordar problemas técnicos durante la implementación.

El segundo experto concluye que, con una planificación y asignación de recursos adecuadas, los beneficios de la reingeniería del Robot ABB 6400 superarán los desafíos. Esta evaluación positiva refuerza la justificación para proceder con el proyecto de reingeniería, destacando su potencial para extender la vida útil del robot y mejorar su rendimiento significativamente.

Análisis de costo-beneficio

El análisis costo-beneficio es una herramienta fundamental en la evaluación de proyectos de inversión, ya que permite determinar la viabilidad económica y la rentabilidad de las distintas alternativas propuestas. En el contexto del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400, este análisis se centra en comparar dos opciones: la actualización y optimización del robot existente mediante la incorporación de nuevas tecnologías y componentes, y la

adquisición de un nuevo brazo robótico.

Para llevar a cabo este análisis, se han recopilado y organizado datos detallados sobre los costos asociados a cada opción, incluyendo costos directos e indirectos, costos de materiales y equipos, costos de mano de obra, y cualquier gasto adicional previsto durante la implementación del proyecto. Además, se han proyectado los beneficios esperados en términos de eficiencia operativa, rendimiento mejorado y vida útil prolongada del equipo.

Compra de un Nuevo Robot ABB IRB 6400

- **Proveedor y Modelo:** ROBOTS.COM, ABB IRB 6400
- **Precio Aproximado:** \$25,000 USD (incluye reacondicionamiento y garantía)
- **Características:** 6 ejes - Capacidad de carga de 200 kg- Alcance de 2900 mm (T.I.E. Industrial)

2. Reingeniería del Robot ABB 6400

- **Actividades Para Desarrollar:** Ingeniería (diseño de planos eléctricos, de montaje, arquitectura de red). Armado de tablero de control (mecanizado, montaje de componentes, cableado, rotulado). Pruebas de funcionamiento (precomisionamiento, test, comisionamiento)
- **Materiales y Equipos:** Suministros eléctricos y electrónicos detallados (Siemens, Schneider). Incluye componentes como PLC, HMI, relés, borneras, entre otros. Delta ASD-B2-0721-B servo drive x 6 (precio unitario \$400). Licencia completa y de por vida de ROBODK (\$3,000) con soporte técnico por un año. Mano de obra del ingeniero (\$2,000)

En la tabla 8 se expone de forma específica los costos totales de lo que implicaría una compra del nuevo robot y la reingeniería:

Tabla 8 Comparación de Costos

Opción	Costo Total Estimado
Compra de Nuevo Robot ABB 6400	\$ 25,000 USD
Reingeniería del Robot ABB 6400	\$ 16,083.12 USD

- **Costo:** La compra de un nuevo robot tiene un costo inicial más alto de \$25,000 USD, mientras que la reingeniería del Robot ABB 6400 tiene un costo total estimado de

\$16,083.12 USD, lo cual representa un ahorro significativo de aproximadamente \$10,716.91 USD.

- **Beneficios Esperados:**

Compra de Nuevo Robot: Garantía de rendimiento óptimo y tecnología actualizada, pero a un costo más elevado.

Reingeniería del Robot: Actualización tecnológica a un costo menor, aprovechando las capacidades existentes del Robot ABB 6400 y mejorando la eficiencia con la interfaz gráfica ROBODK y los nuevos componentes.

- **Consideraciones Adicionales:**

Riesgos Potenciales: La reingeniería podría implicar mayores riesgos técnicos y de integración en comparación con la compra de un nuevo robot.

Beneficios a Largo Plazo: La reingeniería puede ofrecer una solución personalizada y más adaptable a las necesidades específicas de producción, con menor inversión inicial.

Basado en el análisis de costo-beneficio, la reingeniería del Robot ABB 6400 parece ser una opción más económica y viable en comparación con la compra de un nuevo robot ABB IRB 6400. Sin embargo, se deben considerar los riesgos técnicos y la necesidad de una planificación detallada para asegurar el éxito del proyecto de reingeniería.

En el contexto de actualizar el Robot ABB 6400, se plantean dos opciones principales: la compra de un nuevo robot modelo ABB IRB 6400 por aproximadamente \$25,000 USD, o la reingeniería del robot existente, con un costo total estimado de \$14,283.09 USD. Ambas opciones buscan mejorar la eficiencia y adaptabilidad del sistema robótico en un entorno industrial.

La compra de un nuevo robot ABB IRB 6400 ofrece la ventaja de contar con garantía y tecnología actualizada desde el inicio. Sin embargo, esto conlleva un costo inicial sustancialmente mayor en comparación con la reingeniería del Robot ABB 6400. La reingeniería, por su parte, incluye actividades detalladas como el diseño de planos eléctricos, armado de tablero de control, pruebas de funcionamiento, y la adquisición de nuevos componentes como PLC, HMI, y servodrive. La licencia de ROBODK, por \$3,000 USD,

añade una interfaz gráfica que facilita la programación y la simulación, reduciendo el tiempo de implementación y mejorando la precisión de los movimientos del robot.

Ambas opciones ofrecen beneficios significativos. La compra de un nuevo robot garantiza la fiabilidad y el soporte de fábrica, ideal para entornos donde la precisión y la capacidad de carga son críticas. Por otro lado, la reingeniería aprovecha la infraestructura existente del Robot ABB 6400, actualizándola con tecnología moderna a un costo menor. Esto incluye la adaptación a nuevas aplicaciones mediante la interfaz gráfica avanzada de ROBODK, lo cual optimiza la programación y permite ajustes precisos en la operación del robot.

La decisión entre comprar un nuevo robot y reacondicionar el existente implica evaluar riesgos y beneficios a corto y largo plazo. La compra de un nuevo robot minimiza los riesgos técnicos asociados con la integración y compatibilidad de sistemas, ofreciendo una solución probada y garantizada. Sin embargo, la inversión inicial elevada puede ser restrictiva para ciertas operaciones industriales.

Por otro lado, la reingeniería requiere una planificación detallada y un conocimiento profundo de las especificaciones técnicas del robot existente. Los riesgos potenciales incluyen problemas de integración de nuevos componentes, mayores tiempos de inactividad durante la implementación y posibles desafíos en la adaptación de la interfaz gráfica ROBODK a las necesidades específicas de la empresa.

En síntesis, la reingeniería del Robot ABB 6400 emerge como una opción más económica y flexible para actualizar el sistema robótico existente. Aunque implica riesgos técnicos y operativos adicionales, estos pueden mitigarse con una planificación adecuada y la asistencia técnica especializada. La adopción de la interfaz gráfica ROBODK promete mejorar la eficiencia operativa y permitir adaptaciones ágiles en la programación del robot, ofreciendo un retorno de inversión significativo a largo plazo.

Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis detallado de costos, beneficios y riesgos específicos antes de tomar una decisión final. Esto asegurará que la opción seleccionada esté alineada con los objetivos estratégicos y las necesidades operativas de la empresa, maximizando el valor y la eficiencia del sistema robótico actualizado.

Análisis de riesgos

El análisis se centra en evaluar los riesgos asociados con dos opciones para mejorar la capacidad operativa del Robot ABB 6400: la compra de un nuevo robot modelo ABB IRB 6400 y la reingeniería del robot existente. Ambas opciones buscan actualizar tecnológicamente el sistema robótico para mejorar la eficiencia y adaptabilidad en un entorno industrial. A continuación, en la tabla 9 se exponen los riesgos que implicaría la compra de un nuevo robot para una expansión de la perspectiva de este análisis:

Tabla 9 *Riesgos de Compra de Nuevo Robot ABB IRB 6400*

Riesgo Potencial	Descripción	Impacto Potencial	Probabilidad	Nivel de Riesgo
<i>Integración Compleja</i>	Dificultades en la integración del nuevo robot con la infraestructura y sistemas existentes de la empresa, lo que podría resultar en tiempo adicional y costos imprevistos.	Alta	Moderada	Alto
<i>Costo Inicial Elevado</i>	La inversión inicial es significativamente más alta, lo que puede afectar el presupuesto disponible para otras mejoras o proyectos.	Alto	Alta	Alto
<i>Dependencia del Proveedor</i>	Riesgo de depender del soporte y servicio técnico proporcionado por el proveedor del nuevo robot, lo que podría afectar la disponibilidad y tiempo de respuesta ante problemas.	Medio	Alta	Medio
<i>Necesidad de Capacitación Extensa</i>	El personal nuevo o existente requerirá capacitación extensa en el manejo y mantenimiento del nuevo robot, lo que podría resultar en curva de aprendizaje prolongada y posibles errores operativos.	Medio	Moderada	Medio
<i>Posible Obsolescencia Futura</i>	El avance rápido de la tecnología podría hacer que el nuevo robot se vuelva obsoleto en un período relativamente corto, afectando la eficiencia y el retorno de la inversión a largo plazo.	Alto	Baja	Medio

Tabla 10 Riesgos de Reingeniería del Robot ABB 6400

Riesgo Potencial	Descripción	Impacto Potencial	Probabilidad	Nivel de Riesgo
<i>Problemas de Integración de Componentes</i>	Dificultades durante la integración de nuevos componentes y tecnologías con el robot existente, lo que podría causar problemas de compatibilidad y rendimiento.	Alto	Moderada	Alto
<i>Complejidad en la Programación</i>	La configuración y programación de los nuevos componentes y la interfaz ROBODK pueden ser complejas y requerir tiempo adicional de desarrollo.	Medio	Moderada	Medio
<i>Necesidad de Actualizaciones Continuas</i>	La reingeniería puede requerir actualizaciones continuas para mantener la compatibilidad y eficiencia del sistema modificado, lo que podría aumentar los costos operativos a largo plazo.	Medio	Alta	Medio
<i>Riesgo de Fallo en la Implementación</i>	Existe el riesgo de que la implementación de la reingeniería no cumpla con las expectativas de rendimiento o integración previstas, causando potencialmente retrasos y costos adicionales.	Alto	Moderada	Alto
<i>Resistencia al Cambio del Personal Operativo</i>	Los empleados pueden resistirse al cambio debido a la familiaridad con el robot original y la nueva tecnología implementada, afectando la adopción y eficiencia operativa.	Medio	Moderada	Medio

Elaboración propia

En la tabla 11 se exponen las evaluaciones de los riesgos señalados en la matriz anterior a fin de determinar su impacto, probabilidad y nivel. Esta tabla proporciona una visión cuantitativa de los riesgos asociados con cada opción, ayudando a tomar decisiones informadas considerando tanto el impacto potencial como la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo identificado.

Evaluación de Riesgos

Tabla 11 *Evaluación Comparativa de Riesgos*

Riesgo Potencial	Descripción	Impacto Potencial	Probabilidad	Nivel de Riesgo	Evaluación de Riesgo (%)
Compra de Nuevo Robot ABB IRB 6400					
Integración Compleja	Dificultades en la integración del nuevo robot con la infraestructura y sistemas existentes	Alto	Moderada	Alto	60
Costo Inicial Elevado	Inversión inicial significativamente más alta que afecta el presupuesto disponible	Alto	Alta	Alto	80
Dependencia del Proveedor	Riesgo de dependencia del soporte y servicio técnico del proveedor del nuevo robot	Medio	Alta	Medio	50
Necesidad de Capacitación	Necesidad de capacitación extensa para el personal en manejo y mantenimiento del nuevo robot	Medio	Moderada	Medio	40
Posible Obsolescencia	Rápida obsolescencia del nuevo robot en un período corto	Alto	Baja	Medio	30
Reingeniería del Robot ABB 6400					
Problemas de Integración	Dificultades durante la integración de nuevos componentes	Alto	Moderada	Alto	60

	y tecnologías con el robot existente				
Complejidad en la Programación	Configuración y programación complejas de nuevos componentes y la interfaz ROBODK	Medio	Moderada	Medio	40
Necesidad de Actualizaciones	Requerimientos continuos de actualización para mantener la compatibilidad y eficiencia del sistema	Medio	Alta	Medio	50
Riesgo de Fallo en Implementación	Implementación que no cumple con las expectativas de rendimiento o integración	Alto	Moderada	Alto	60
Resistencia al Cambio	Resistencia del personal operativo al cambio, afectando la adopción y eficiencia	Medio	Moderada	Medio	40

Elaboración propia

Evaluación Comparativa

- **Compra de Nuevo Robot ABB IRB 6400:**
 - **Evaluación Total de Riesgo (%): 260**
- **Reingeniería del Robot ABB 6400:**
 - **Evaluación Total de Riesgo (%): 250**

Análisis:

- La compra de un nuevo Robot ABB IRB 6400 presenta un riesgo total del 260%, destacando los riesgos financieros significativos y la dependencia del proveedor.
- La reingeniería del Robot ABB 6400 muestra una evaluación total de riesgo del 250%, con riesgos centrados en la complejidad de integración y las posibles actualizaciones continuas.

Justificación

- **Compra de Nuevo Robot ABB IRB 6400:**
 - **Ventajas:** Garantía de rendimiento y soporte técnico del fabricante desde el inicio. Menor riesgo de obsolescencia tecnológica inicialmente.

- **Desventajas:** Elevado costo inicial, posibles dificultades de integración y dependencia del proveedor para soporte continuo.
- **Reingeniería del Robot ABB 6400:**
 - **Ventajas:** Costo inicial más bajo, aprovechamiento de la infraestructura existente y flexibilidad en la adaptación con ROBODK.
 - **Desventajas:** Riesgos técnicos y operativos asociados con la integración de nuevos componentes, la complejidad de la programación y la necesidad de actualizaciones continuas.

Basado en el análisis de riesgos, la reingeniería del Robot ABB 6400 parece ser la opción preferida si se gestiona adecuadamente. Aunque implica riesgos técnicos y operativos, estos pueden mitigarse con una planificación detallada, capacitación especializada y soporte técnico durante la implementación. La interfaz ROBODK ofrece ventajas significativas al simplificar la programación y optimizar la precisión del robot, lo cual puede resultar en una mejora sustancial en la eficiencia operativa a largo plazo. En contraste, la compra de un nuevo robot ABB IRB 6400 ofrece seguridad y soporte de fabricante, pero con un costo inicial elevado y posibles desafíos de integración. Es crucial considerar los objetivos estratégicos, la capacidad de adaptación y los recursos disponibles antes de tomar la decisión final.

La reingeniería del Robot ABB 6400 no solo presenta un costo inicial más bajo, sino que también ofrece una oportunidad para actualizar y personalizar el sistema existente con tecnologías avanzadas. Sin embargo, la gestión eficaz de los riesgos identificados es fundamental para garantizar el éxito del proyecto. Se recomienda realizar un análisis detallado de riesgos específicos y considerar las capacidades internas antes de proceder con la opción seleccionada, asegurando así una implementación exitosa y un retorno de inversión óptimo.

3.3. Cálculos y Selección

Para realizar un análisis detallado y completo de los cálculos y selección de elementos mecánicos y electrónicos en la solución de la reingeniería del Robot ABB 6400, es necesario abordar cada aspecto de manera exhaustiva. A continuación, se detalla paso a paso cómo se pueden desarrollar estos cálculos y selecciones:

Análisis Detallado de Componentes Mecánicos y Electrónicos

a. Identificación de Componentes Necesarios

Antes de proceder con cualquier cálculo, es crucial identificar todos los componentes mecánicos y electrónicos que se necesitarán para la reingeniería del Robot ABB 6400. Esto puede incluir:

Componentes Mecánicos:

- **Ejes y Actuadores:** Identificación de los ejes y actuadores necesarios para el movimiento y operación del robot, teniendo en cuenta la capacidad de carga y el alcance requerido.
- **Sistemas de Sujeción y Montaje:** Elementos necesarios para fijar herramientas y piezas de trabajo al robot de manera segura y eficiente.
- **Estructuras y Soportes:** Componentes estructurales como marcos y soportes que aseguren la estabilidad y operación del robot en su entorno.

Componentes Electrónicos:

- **PLC (Controlador Lógico Programable):** Encargado de controlar y coordinar las operaciones del robot, gestionando las entradas y salidas, así como la comunicación con otros dispositivos.
- **HMI (Interfaz Hombre-Máquina):** Proporciona la interfaz gráfica para la supervisión y control del robot, facilitando la interacción humana con el sistema.
- **Sensores:** Esenciales para proporcionar retroalimentación al sistema, como sensores de posición, temperatura, presión, entre otros, según las necesidades específicas de la aplicación.

b. Especificaciones y Requerimientos Técnicos

Una vez identificados los componentes, se deben definir las especificaciones técnicas necesarias para cada uno:

Ejemplo de Especificaciones:

PLC Siemens S7-1511 DC:

- Entradas Digitales: 8
- Salidas Digitales: 6
- Comunicación: Ethernet, Profinet
- Memoria de Programa: 200 KB

HMI Siemens KTP1200 Basic:

- Tamaño de Pantalla: 12 pulgadas
- Resolución: 1280x800 pixeles
- Tipo de Pantalla: Pantalla táctil

Sensores:

- Sensor de Proximidad: Tipo inductivo, rango de detección de 0 a 10 mm
- Sensor de Temperatura: Rango de medición de -50°C a 150°C, precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$

c. Cálculos y Dimensionamiento

Una vez establecidas las especificaciones, es importante realizar cálculos detallados para asegurar que los componentes seleccionados cumplen con los requisitos operativos del robot:

Cálculos:

Para Sensores:

- **Sensor de Proximidad:** Seleccionar un sensor inductivo con un rango adecuado que permita la detección precisa de objetos dentro del alcance operativo del robot. Considerar la distancia de detección necesaria y la precisión requerida para las tareas de agarre y manipulación.
- **Sensor de Temperatura:** Elegir un sensor con un rango amplio y alta precisión para monitorear las condiciones ambientales y de los componentes del robot durante su operación. Hay que asegurar que el sensor pueda operar de manera confiable en el rango de temperaturas especificado sin degradación de precisión.

d. Selección de Proveedores y Componentes

Una vez definidas las especificaciones y realizados los cálculos necesarios, se procede a la selección de proveedores y componentes adecuados, tal como se detalla en la tabla 12:

Tabla 12 Matriz Comparativa de Proveedores para PLC Siemens S7-1511 DC:

Proveedor	Modelo	Precio (USD)	Características técnicas	Comentarios
<i>Siemens</i>	S7-1511 DC	2,500	8 entradas digitales, 6 salidas digitales, comunicación Ethernet, Profinet, memoria de programa 200 KB	Garantía incluida, soporte técnico robusto
<i>Schneider Electric</i>	Modicon M221	2,200	6 entradas digitales, 4 salidas digitales, comunicación Modbus TCP/IP, memoria de programa 128 KB	Menor costo, menos entradas/salidas

Elaboración propia. A partir de la gestión presupuestaria

e. Documentación y Justificación

Finalmente, es crucial documentar todo el proceso de cálculos, especificaciones técnicas, y la justificación de la selección de componentes en un informe detallado:

- **Listado Detallado de Componentes:** Incluir todas las especificaciones técnicas completas de cada componente seleccionado.
- **Justificación de Selección:** Basada en análisis de requisitos técnicos, costo-beneficio y disponibilidad en el mercado.
- **Diagramas y Planos Técnicos:** Para la integración de los nuevos componentes con el sistema existente del Robot ABB 6400, asegurando una implementación efectiva y eficiente.

Este enfoque detallado en los cálculos y selección de componentes asegura que la reingeniería del Robot ABB 6400 se realice de manera óptima, maximizando el rendimiento del robot y optimizando la inversión en tecnología. Cada componente seleccionado cumple con los requisitos técnicos específicos y se integra adecuadamente con el sistema existente, garantizando una mejora significativa en la operatividad y funcionalidad del robot en su entorno industrial. Para realizar un análisis detallado de los cálculos y selección de elementos mecánicos y electrónicos en la solución de la reingeniería del Robot ABB 6400, se debe

comenzar identificando todos los componentes necesarios. Esto incluye ejes, actuadores, sistemas de sujeción, montaje, estructuras, y soportes mecánicos, así como PLCs (Controladores Lógicos Programables), HMIs (Interfaces Hombre-Máquina), y sensores electrónicos específicos como sensores de proximidad y temperatura.

Una vez identificados, se deben establecer las especificaciones técnicas para cada componente, asegurando que cumplan con los requisitos operativos del robot en términos de capacidad de carga, alcance, precisión, y comunicación. Los cálculos deben realizarse para dimensionar adecuadamente los componentes, como por ejemplo determinar la capacidad de los actuadores o la precisión de los sensores requeridos.

Luego de definir las especificaciones, se procede a la selección de proveedores y componentes. Esto implica comparar diversas opciones disponibles en el mercado, evaluando características técnicas, precio, disponibilidad, y soporte postventa. Es fundamental documentar todo el proceso, incluyendo listados detallados de componentes con especificaciones completas, justificación de selección basada en análisis técnico y económico, y diagramas técnicos para la integración efectiva de los nuevos componentes con el sistema existente del Robot ABB 6400.

Este enfoque asegura que la reingeniería del Robot ABB 6400 se lleve a cabo de manera eficiente y efectiva, optimizando el rendimiento del robot y maximizando la inversión en tecnología. La implementación adecuada de componentes seleccionados no solo mejora la operatividad del robot, sino que también prepara el sistema para futuras actualizaciones. Se llevó a cabo un análisis detallado de riesgos asociados a cada componente identificado, abordando tanto aspectos mecánicos como electrónicos. Esto incluyó la evaluación de posibles sobrecargas, desgaste prematuro de piezas, problemas de alineación mecánica, así como fallos en el PLC, problemas de comunicación y errores en la programación.

Posteriormente, se seleccionó y utilizó software especializado de simulación robótica para modelar diferentes escenarios operativos del Robot ABB 6400. Se optó por un software como RoboDK, que permitió importar el modelo CAD del robot y configurar los parámetros operativos necesarios para las simulaciones. Se procedió a configurar el modelo CAD del robot en el software de simulación, asegurando la correcta especificación de actuadores, sensores y controladores. Se realizaron simulaciones de movimiento detalladas para verificar

la precisión, eficiencia y seguridad del robot en la ejecución de tareas específicas, incluyendo movimientos de trayectoria, manipulación de objetos y operaciones de ciclo continuo.

Los resultados de las simulaciones fueron analizados exhaustivamente para identificar posibles problemas o áreas de mejora. Se evaluó el rendimiento del robot en términos de velocidad, precisión y consumo de energía, comparándolo con los objetivos de reingeniería establecidos. En resumen, la utilización de simulaciones permitió mitigar riesgos, optimizar el diseño y validar el funcionamiento del Robot ABB 6400 antes de su implementación física. Esta metodología ayudó a minimizar costos, reducir tiempos de desarrollo y asegurar una implementación exitosa y eficiente del proyecto de reingeniería.

A continuación, se presentan la figura 11 que describe el conexionado para la integración de los nuevos componentes con el sistema existente del Robot ABB 6400, asegurando una implementación efectiva y eficiente:

ÍNDICE		
PÁGINA	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN
1	Carátula	1
2	Índice (Esta hoja)	1
3	Distribución eléctrica 220VAC / 24 VDC	1
4	Conexionado de entradas digitales 6ES7521-1BH	1
5	Conexionado de salidas digitales tipo transistor 6ES7522-1BH	1
6	Conexionado de entradas analógicas 6ES7531-7NF1	1
7	Conexionado de entradas analógicas 6ES7531-7NF1	1
8	Conexionado de salidas analógicas 6ES7532-5HD	1

Figura 11 *Matriz de descripción para el conexionado eléctrico.*

Distribución eléctrica 220VAC / 24 VDC

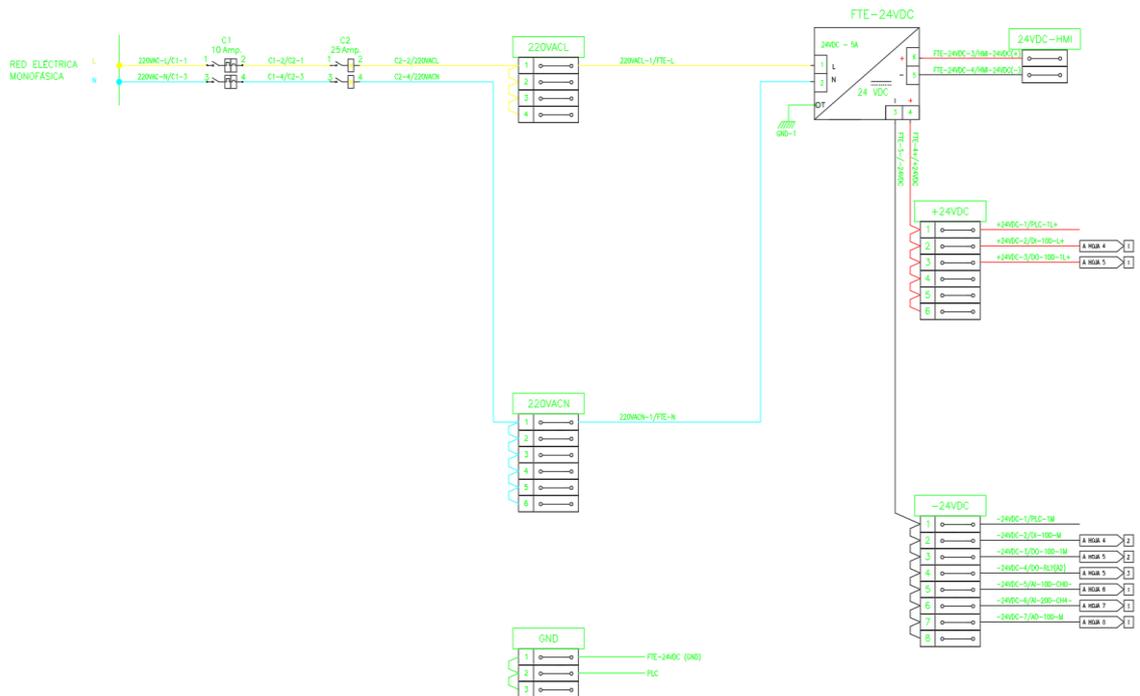


Figura 12 Diagrama de conexionado eléctrico. (220VAC/24 VDC)

En la figura 12 se expone el diagrama del conexionado eléctrico que visualiza la integración de los nuevos componentes con el sistema existente del Robot ABB 6400.

Conexión de entradas digitales 6ES7521-1BH
DI-100

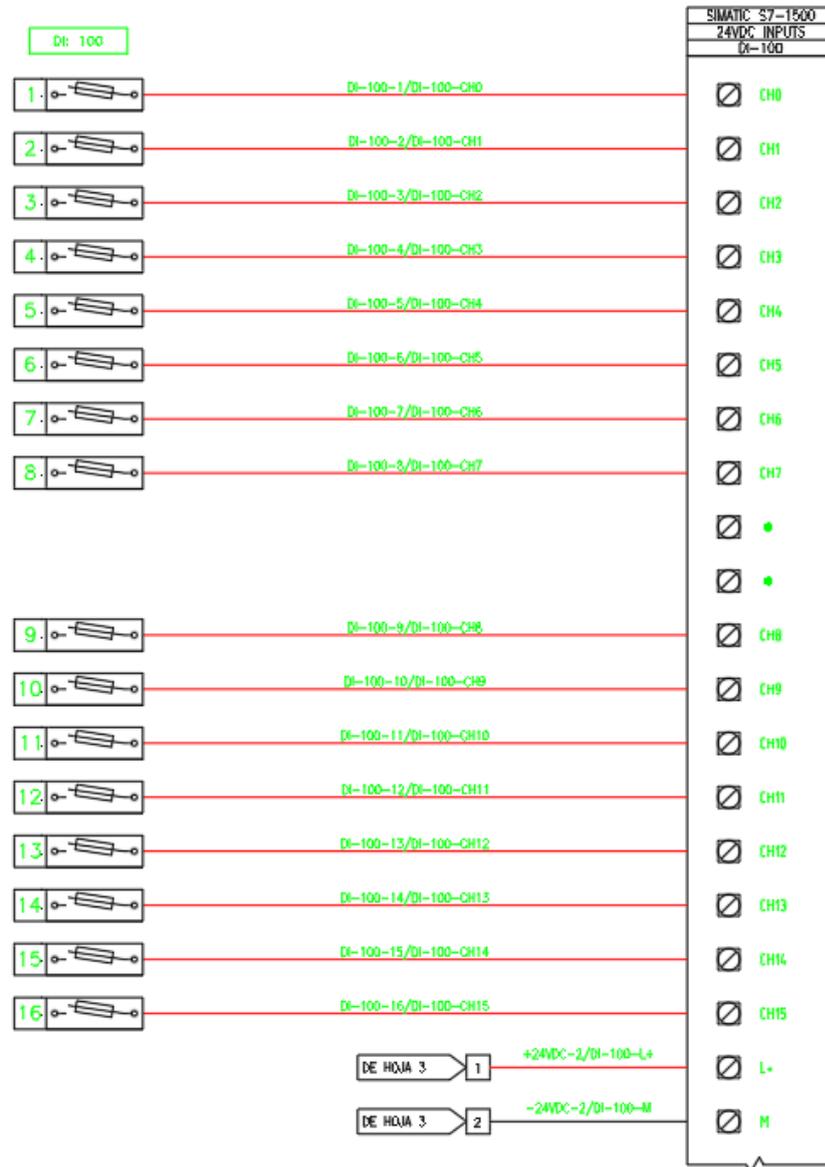


Figura 13 Conexión de entradas digitales 6ES7521 – 1BHDI-100.

En la figura 13 se visualiza el conexionado de entradas digitales para la integración de los nuevos componentes con el sistema, asegurando una implementación efectiva y eficiente:

Conexión de entradas analógicas 6ES7531-7NF1
AI-100



Figura 14 Conexión de entradas analógicas 6ES7531-7NF1 AI-100.

En la figura 14 se puede observar lo relacionado al conexión de entradas analógicas 6ES7531 – 7NF1 AI -100 que permite la integración de los nuevos componentes con el sistema existente.

Conexión de entradas analógicas 6ES7531-7NF1
AI-200



Figura 15 Conexión de entradas analógicas 6ES7531-7NF1 AI-200.

Así mismo la figura 15 se detalla el diagrama del conexionado de las entradas analógicas y en la figura 16 las salidas, con el mismo fin de esquematizar el proceso de integración de los nuevos componentes

Conexión de salidas analógicas 6ES7532-5HD
AO-100

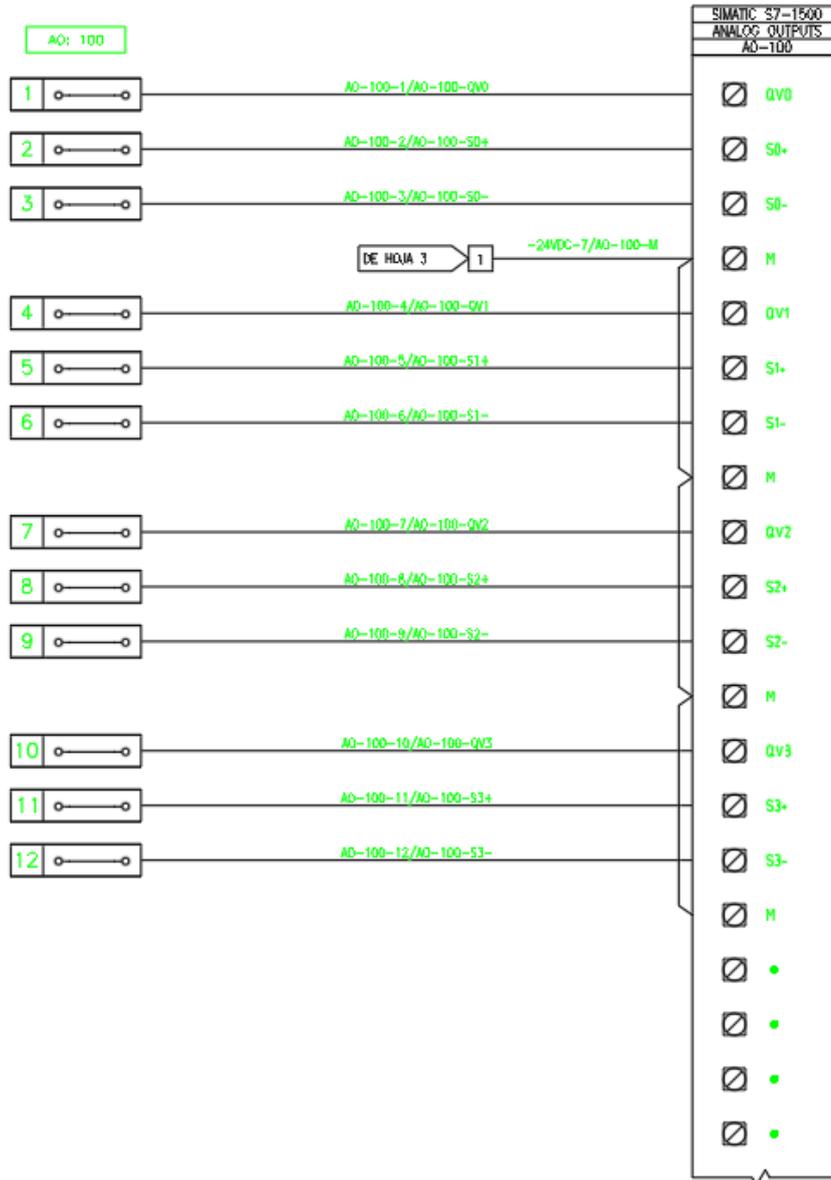
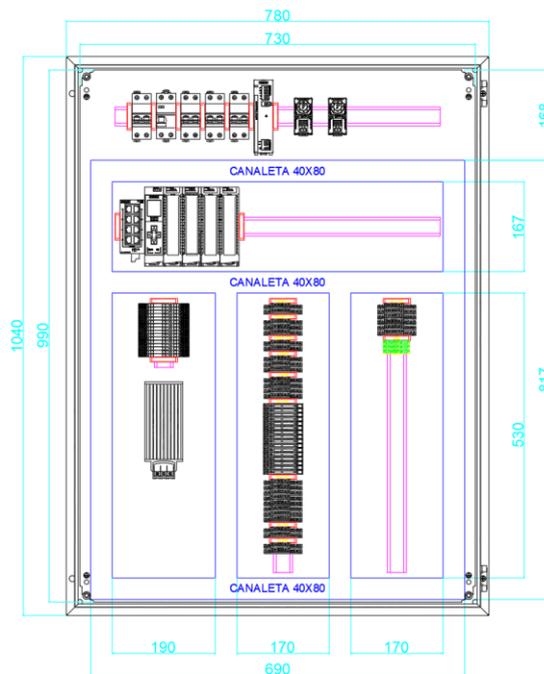


Figura 16 Conexión de salida analógicas 6ES7532-5HD AO-100.

A continuación, se expone en la figura 17 la matriz que describe a detalle el proceso de montaje

Figura 17 Matriz de descripción para el diagrama de montaje.

ÍNDICE		
PÁGINA	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN
1	Carátula	1
2	Índice (Esta hoja)	1
3	Distribución de componentes en el tablero	1
4	Vistas externas del tablero	1



- Interruptor Termomagnético IC60N, 2x10A, 220VAC x4
- Interruptor Diferencial iDSI, 2x25A, 230VAC
- Fuente SITOP PSU6200 24 VDC 5 A
- Termostato 220VAC x2
- Resistencia 220VAC 55W
- PLC S7-1511 DC
- Módulo de Entradas Digitales 6ES7521-1BH x1
- Módulo de Salidas Digitales 6ES7522-1BH x1
- Módulo de Entradas Analógicas 6ES7531-7NF1 x1
- Módulo de Salidas Analógicas 6ES7532-5HD x1
- Módulo de Comunicación SCALANCE XB008 x1
- Acoplador Relé 6A 230VAC/DC
- Separador Lateral para borna carril DIN
- Bornera 2 pisos
- Bornera con fusible
- Riel DIN
- Canaleta Ranurada 40X80 mm

FABRICA T

En la figura 18 se detalla el diagrama de montaje que incluye los interruptores termomagnéticos, diferencial, la fuente, el termostato, la resistencia, los módulos de entradas y salidas tanto digitales como analógicos, acoplador y demás elementos:

En la figura 19 se observa el diagrama de montaje del modelo desde la interfaz gráfica de ROBODK

Figura 18 Diagrama de Montaje.

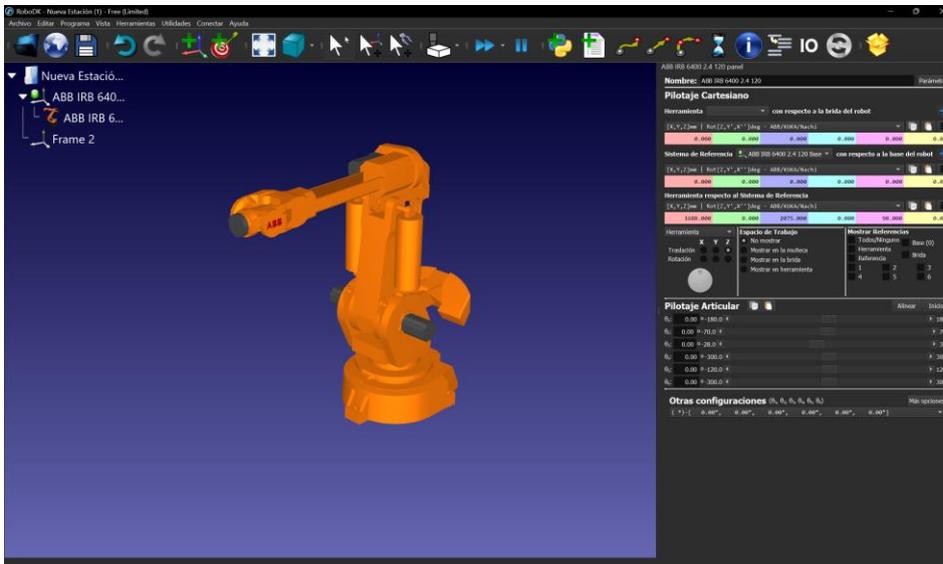


Figura 19 Robot ABB 6400 desde el modelo de la interfaz gráfica de ROBODK

A continuación, la figura 20 se muestra un diagrama que expone la conexión del robot:

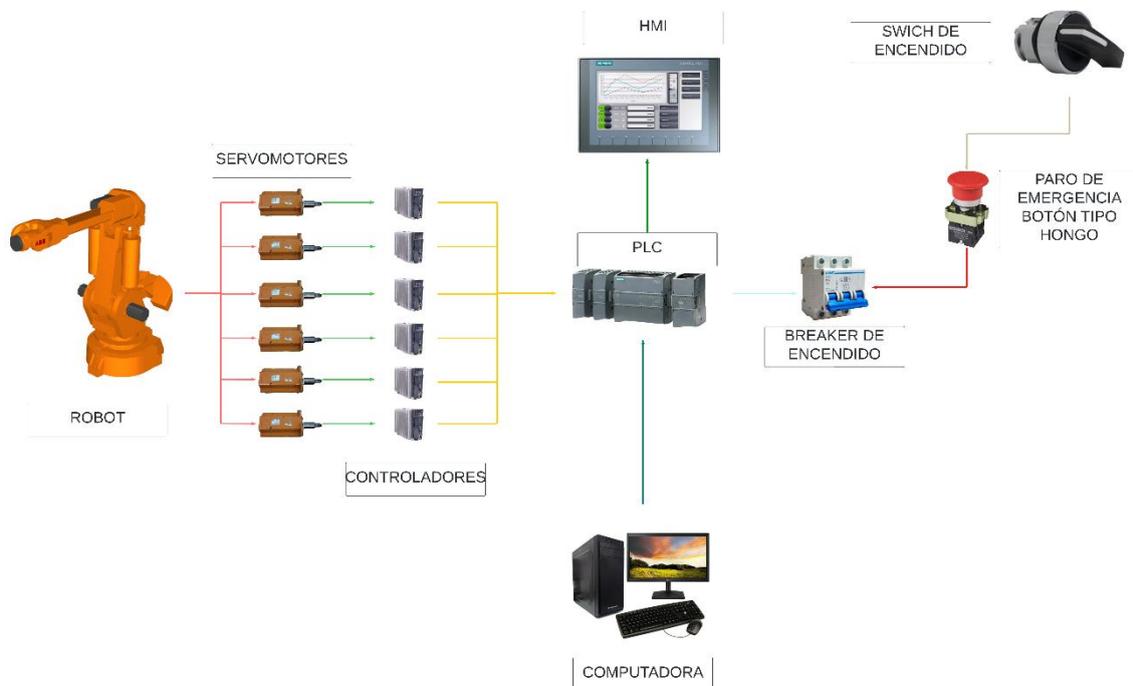


Figura 20 Conexión del robot

También se realizó la conexión del robot, tal como se visualiza en la figura 21, dado que este maneja un voltaje de 380v ya que el robot es europeo, la instalación se hizo posible mediante un transformador elevador de voltaje de 220v a 380v. Conociendo el voltaje que va a alimentar al brazo, se debe tomar en cuenta la alimentación a los elementos electrónicos como se indica en la figura 21.

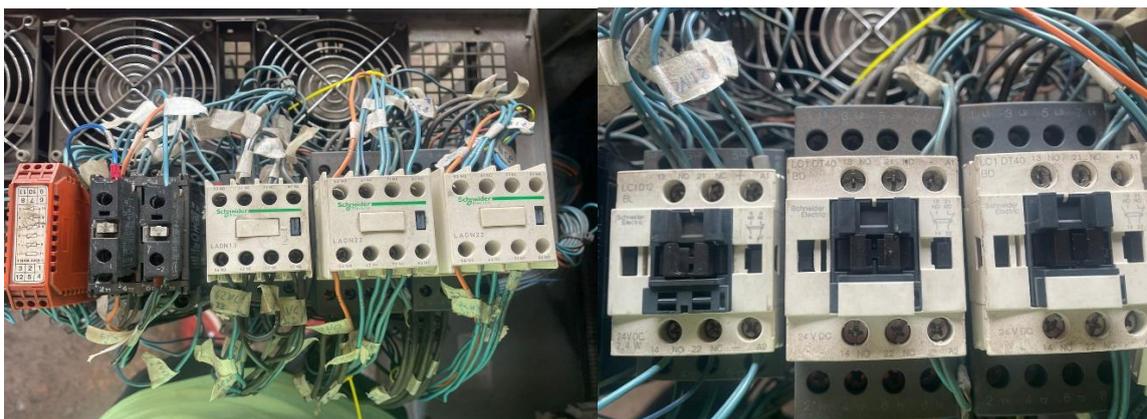


Figura 21. Conexión de relés y contactores unidos al brazo

A continuación, en la tabla 13, se detalla el amperaje a utilizar con los relés y con los contactores:

Tabla 13 Descripción de los relés y contactores del robot

Componente	Amperaje	Conexión
<i>Relé Auxiliar 1</i>	0.2 ohm	83NO-84NO
	62.28 ohm	71NC-72NC
	60 ohm	61NC-62NC
<i>Relé Auxiliar 2</i>	0.1 ohm	53NO-54NO
	0.1 ohm	83NO-84NO
	0.1 ohm	71NC-72NC
	59.37 ohm	61NC-62NC
<i>Relé Auxiliar 3</i>	0.3 ohm	53NO-54NO
	0L ohm	81NC-82NC
	0L ohm	71NC-72NC

<i>Relé Auxiliar 4</i>	0L ohm	61NC-62NC
	1.9 ohm	53NO-54NO
	0.9 ohm	1-2
	1.1 ohm	3-4
<i>Contactor</i>	0.4 ohm	8-9
	86.1 ohm	8-3
	99.2 ohm	7-2
	99.7 ohm	8-7
<i>Contactor 1</i>	216.6 ohm	A1-A2
	0.1 ohm	111-2T1
	37.3 ohm	312-2T2
	0.2 ohm	513-2T3
	0.2 ohm	714-2T4
<i>Contactor 2</i>	217.8 ohm	A1-A2
	0.1 ohm	111-2T1
	24.5 ohm	312-2T2
	0.2 ohm	513-2T3
	20.8 ohm	714-2T4
<i>Contactor 3</i>	215.5 ohm	A1-A2
	0.1 ohm	111-2T1
	11.7 ohm	312-2T2
	3.3 ohm	513-2T3
	16.3 ohm	714-2T4

Descripción y ecuaciones

Para el proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400, se implementaron diversas ecuaciones y conceptos clave:

a. Ecuación de Costo de Ciclo de Vida:

- Se utilizó la ecuación del costo de ciclo de vida para calcular todos los costos asociados con el robot reingenierizado:

$$C_{\text{ciclo de vida}} = C_{\text{adquisición}} + C_{\text{operación}} + C_{\text{mantenimiento}} + C_{\text{disposición}}$$

- **Costo de Adquisición:** Incluyó el costo inicial de compra del robot ABB 6400 y los equipos adicionales necesarios.
- **Costo de Operación:** Consideró los gastos operativos durante toda la vida útil del robot.
- **Costo de Mantenimiento:** Involucró los costos de mantenimiento preventivo y correctivo para optimizar el rendimiento del robot.
- **Costo de Disposición:** Cubrió los costos de desmontaje y reciclaje al final de la vida útil del robot.

d. Modelo de Fiabilidad y Tasa de Fallos:

Se utilizó un modelo probabilístico para evaluar la fiabilidad del robot:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

donde $R(t)$ representa la probabilidad de que el robot funcione sin fallos hasta el tiempo t , y λ es la tasa de fallos del robot. Este modelo ayudó a prever y mitigar posibles fallos mediante estrategias de mantenimiento preventivo y un diseño robusto.

Estas ecuaciones y modelos fueron fundamentales para asegurar que el proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400 fuera exitoso en términos de rentabilidad, eficiencia operativa y fiabilidad durante su implementación y operación pasadas.

3.3.1 Código de Matlab para la selección de servomotores

```
%      NEWTONEULER6 Dinámica inversa utilizando el método de Newton-Euler.
%      TAU = NEWTONEULER6(Q, QP, QPP, G, M7, IEXTER) calcula el vector
%      6x1 de pares/fuerzas de entrada a las articulaciones. Q el vector
%      6x1 de coordenadas articulares. QP es el vector 6x1 que representa
%      la velocidad de cada articulación. QPP es el vector 6x1 que indica
%      la aceleración de cada articulación. G es el valor de la gravedad
%      (m/s^2).
%      M7 es la masa de la carga externa(Kg) que transporta el brazo robot.
%      IEXTER es la matriz 3x3 de inercia de la carga exterior(Kg-m^2).
%
%      See also DH, RI0PI, RI0SI, RI0WI, RI0WIP, RI0VPI_R, RI0AI, RI0FI,
RI0NI,
%      RI0FIA, RI0NIA, T_R.

function tau = newtoneuler6(q,qp,qpp,g,m7,Iexter)

% -----
%      Parámetros Denavit-Hartenberg del robot
% -----
teta = q;
d    = [0.267  0      0      1.578  0      2.230];
a    = [0      0.523  0      0      0      0    ];
alfa = [-pi/2  0      pi/2  -pi/2  pi/2  0    ];

% -----
%      Factores de posicionamiento de los centros de gravedad
% -----
factor1 = -0.5; factor2 = -0.5; factor3 = -0.5;
factor4 = -0.5; factor5 = -0.5; factor6 = -0.5;

% -----
%      Masa de cada elemento (Kg)
% -----
m1 = 111.51; m2 = 243.27; m3 = 0;
m4 = 168.96; m5 = 0; m6 = 60.10 ;

% -----
%      Coeficiente de rozamiento viscoso de cada articulacion
% -----
b1 = 0.05; b2 = 0.05; b3 = 0.05;
b4 = 0.05; b5 = 0.05; b6 = 0.05;

% -----
%      Matrices de Inercia (Kg-m^2)
% -----
r10I_r01 = [15.26 0 0;0 10.85 0;0 0 13.076];
r20I_r02 = [147.08 0 0;0 141.621 0;0 0 30.77];
r30I_r03 = zeros(3,3);
r40I_r04 = [459.41 0 0;0 458.13 0;0 0 12.02];
r50I_r05 = zeros(3,3);
r60I_r06 = [270.62 0 0;0 198.75 0;0 0 86.23];

% -----
%      Vectores ri0pi, ri0si.
% -----
r10p1 = ri0pi(a(1), d(1), alfa(1));
```

```

r20p2 = ri0pi(a(2), d(2), alfa(2));
r30p3 = ri0pi(a(3), d(3), alfa(3));
r40p4 = ri0pi(a(4), d(4), alfa(4));
r50p5 = ri0pi(a(5), d(5), alfa(5));
r60p6 = ri0pi(a(6), d(6), alfa(6));
r70p7 = zeros(3,1);

r10s1 = ri0si(a(1), d(1), alfa(1), factor1);
r20s2 = ri0si(a(2), d(2), alfa(2), factor2);
r30s3 = ri0si(a(3), d(3), alfa(3), factor3);
r40s4 = ri0si(a(4), d(4), alfa(4), factor4);
r50s5 = ri0si(a(5), d(5), alfa(5), factor5);
r60s6 = ri0si(a(6), d(6), alfa(6), factor6);
r70s7 = zeros(3,1);

% -----
%           Matrices de transformacion
% -----
r01 = dh(teta(1), alfa(1));          r10 = r01';
r12 = dh(teta(2), alfa(2));          r21 = r12';
r23 = dh(teta(3), alfa(3));          r32 = r23';
r34 = dh(teta(4), alfa(4));          r43 = r34';
r45 = dh(teta(5), alfa(5));          r54 = r45';
r56 = dh(teta(6), alfa(6));          r65 = r56';
r67 = eye(3);                        r76 = r67';

% -----
%           Velocidad angular de las articulaciones
% -----
r00w0 = zeros(3,1);
r10w1 = ri0wi(r10, r00w0, qp(1));
r20w2 = ri0wi(r21, r10w1, qp(2));
r30w3 = ri0wi(r32, r20w2, qp(3));
r40w4 = ri0wi(r43, r30w3, qp(4));
r50w5 = ri0wi(r54, r40w4, qp(5));
r60w6 = ri0wi(r65, r50w5, qp(6));
r70w7 = ri0wi(r76, r60w6, 0);

% -----
%           Aceleracion angular de las articulaciones
% -----
r00wp0 = zeros(3,1);
r10wp1 = ri0wpi(r10, r00wp0, r00w0, qp(1), qpp(1));
r20wp2 = ri0wpi(r21, r10wp1, r10w1, qp(2), qpp(2));
r30wp3 = ri0wpi(r32, r20wp2, r20w2, qp(3), qpp(3));
r40wp4 = ri0wpi(r43, r30wp3, r30w3, qp(4), qpp(4));
r50wp5 = ri0wpi(r54, r40wp4, r40w4, qp(5), qpp(5));
r60wp6 = ri0wpi(r65, r50wp5, r50w5, qp(6), qpp(6));
r70wp7 = ri0wpi(r76, r60wp6, r60w6, 0, 0);

% -----
%           Aceleracion lineal articular
% -----
r00vp0 = [0; 0; g];
r10vp1 = ri0vpi_r(r10, r00vp0, r10wp1, r10w1, r10p1);
r20vp2 = ri0vpi_r(r21, r10vp1, r20wp2, r20w2, r20p2);
r30vp3 = ri0vpi_r(r32, r20vp2, r30wp3, r30w3, r30p3);
r40vp4 = ri0vpi_r(r43, r30vp3, r40wp4, r40w4, r40p4);
r50vp5 = ri0vpi_r(r54, r40vp4, r50wp5, r50w5, r50p5);

```

```

r60vp6 = ri0vpi_r(r65, r50vp5, r60wp6, r60w6, r60p6);
r70vp7 = ri0vpi_r(r76, r60vp6, r70wp7, r70w7, r70p7);

% -----
%           Aceleracion del centro de masa de cada elemento
% -----
r10a1 = ri0ai(r10vp1, r10wp1, r10w1, r10s1);
r20a2 = ri0ai(r20vp2, r20wp2, r20w2, r20s2);
r30a3 = ri0ai(r30vp3, r30wp3, r30w3, r30s3);
r40a4 = ri0ai(r40vp4, r40wp4, r40w4, r40s4);
r50a5 = ri0ai(r50vp5, r50wp5, r50w5, r50s5);
r60a6 = ri0ai(r60vp6, r60wp6, r60w6, r60s6);
r70a7 = ri0ai(r70vp7, r70wp7, r70w7, r70s7);

% -----
%           Fuerza en el centro de masa de cada elemento
% -----
r70f7 = ri0fi(r70a7, m7);
r60f6 = ri0fi(r60a6, m6);
r50f5 = ri0fi(r50a5, m5);
r40f4 = ri0fi(r40a4, m4);
r30f3 = ri0fi(r30a3, m3);
r20f2 = ri0fi(r20a2, m2);
r10f1 = ri0fi(r10a1, m1);

% -----
%           Par en el centro de masa de cada elemento
% -----
r70n7 = ri0ni(r70wp7, r70w7, Iexter);
r60n6 = ri0ni(r60wp6, r60w6, r60I_r06);
r50n5 = ri0ni(r50wp5, r50w5, r50I_r05);
r40n4 = ri0ni(r40wp4, r40w4, r40I_r04);
r30n3 = ri0ni(r30wp3, r30w3, r30I_r03);
r20n2 = ri0ni(r20wp2, r20w2, r20I_r02);
r10n1 = ri0ni(r10wp1, r10w1, r10I_r01);

% -----
%           Fuerzas articulares
% -----
r70f7a = r70f7;
r60f6a = ri0fia(r67, r70f7a, r60f6);
r50f5a = ri0fia(r56, r60f6a, r50f5);
r40f4a = ri0fia(r45, r50f5a, r40f4);
r30f3a = ri0fia(r34, r40f4a, r30f3);
r20f2a = ri0fia(r23, r30f3a, r20f2);
r10f1a = ri0fia(r12, r20f2a, r10f1);

% -----
%           Pares articulares
% -----
r20p1 = r21*(r10p1);    r30p2 = r32*(r20p2);
r40p3 = r43*(r30p3);    r50p4 = r54*(r40p4);
r60p5 = r65*(r50p5);    r70p6 = r76*(r60p6);

r70n7a = r70n7;
r60n6a = ri0nia(r67, r70n7a, r70f7a, r60n6, r60f6, r70p6, r60p6, r60s6);
r50n5a = ri0nia(r56, r60n6a, r60f6a, r50n5, r50f5, r60p5, r50p5, r50s5);
r40n4a = ri0nia(r45, r50n5a, r50f5a, r40n4, r40f4, r50p4, r40p4, r40s4);
r30n3a = ri0nia(r34, r40n4a, r40f4a, r30n3, r30f3, r40p3, r30p3, r30s3);

```

```

r20n2a = ri0nia(r23, r30n3a, r30f3a, r20n2, r20f2, r30p2, r20p2, r20s2);
r10n1a = ri0nia(r12, r20n2a, r20f2a, r10n1, r10f1, r20p1, r10p1, r10s1);

% -----
%                               Fuerzas y pares de accionamientos
% -----
t_1 = t_r(r10, r10n1a, qp(1), b1);
t_2 = t_r(r21, r20n2a, qp(2), b2);
t_3 = t_r(r32, r30n3a, qp(3), b3);
t_4 = t_r(r43, r40n4a, qp(4), b4);
t_5 = t_r(r54, r50n5a, qp(5), b5);
t_6 = t_r(r65, r60n6a, qp(6), b6);

tau = [t_1; t_2; t_3; t_4; t_5; t_6];

% INVERSEKINEMATIC6      Inverse Kinematic
%   Q = INVERSEKINEMATIC6(T, CODO, MUNECA) devuelve el vector de coordenadas
%   articulares correspondiente a la solución cinemática inversa de la mano
%   del manipulador en la posición y orientación expresadas en la matriz T.
%   CODO = 1 indica codo del robot arriba, es decir, que la articulación 3 se
%   sitúa por encima de la articulación 2, mientras que CODO = -1 indica codo
%   abajo, es decir que la articulación 2 se sitúa por encima de la 3.
%   MUNECA = 1 indica que la muñeca del robot se sitúa por debajo de la
%   coordenada
%   expresada en T, mientras que MUNECA = -1 significa que la muñeca se sitúa
%   por arriba.
%
%   See also DIRECTKINEMATIC6, DENAVIT.

function q = inversekinematic6(T,codo,muneca)

%   Parámetros Denavit-Hartenberg del robot
d   = [0.914  0      0      0.950  0      1.900];
a   = [0      1.150  0      0      0      0];
alfa = [-pi/2  0      pi/2  -pi/2  pi/2  0];

% Posición de la mano del manipulador
p = T(1:3,4)-d(6)*T(1:3,3);

% Solución de la primera articulación: q1
R = sqrt(p(1)^2+p(2)^2);
sq1=p(2)/R;
cq1=p(1)/R;
q1 = atan2(sq1,cq1);

% Solución de la segunda articulación: q2
r = sqrt(R^2+(p(3)-d(1))^2);
salfa = (d(1)-p(3))/r;
calfa = R/r;

cbeta = (r^2+a(2)^2-d(4)^2)/(2*r*a(2));
sbeta = sqrt(1-cbeta^2);

if codo == -1% Codo abajo
    sq2 = salfa*cbeta+sbeta*calfa;
    cq2 = calfa*cbeta-salfa*sbeta;
else
    % Codo arriba
    sq2 = salfa*cbeta-sbeta*calfa;

```

```

cq2 = calfa*cbeta+salfa*sbeta;
end

q2 = atan2(sq2,cq2);

% Solución de la tercera articulación: q3
cbeta=(a(2)^2+d(4)^2-r^2)/(2*a(2)*d(4));
sbeta=sqrt(1-cbeta^2);
beta=atan2(sbeta,cbeta);

if codo == 1 % Codo arriba
    q3 = 3*pi/2-beta;
else % Codo abajo
    q3 = beta - pi/2;
end

% Solución de la cuarta articulación: q4

% Cálculo de la matriz de transformación A03
A01 = denavit(q1, d(1), a(1), alfa(1));
A12 = denavit(q2, d(2), a(2), alfa(2));
A23 = denavit(q3, d(3), a(3), alfa(3));
A03 = A01 * A12 * A23;

x3 = A03(1:3,1);
y3 = A03(1:3,2);
z3 = A03(1:3,3);
z4 = cross(z3,T(1:3,3)); % Vector orientación a: T(1:3,3)

% Determinación del indicador de orientación omega
aux = dot(T(1:3,2),z4); % Vector orientación s: T(1:3,2)
if aux ~= 0
    omega = aux;
else
    aux=dot(T(1:3,1),z4); % Vector orientación n: T(1:3,1)
    if aux ~=0
        omega=aux;
    else
        omega=0;
    end
end

M = muneca*sign(omega);

sq4 = -M*dot(z4,x3);
cq4 = M*dot(z4,y3);
q4 = atan2(sq4,cq4);

% Solución de la quinta articulación: q5
z5 = T(1:3,3); % Vector de orientación a: T(1:3,3)

A34 = denavit(q4, d(4), a(4), alfa(4));
A04 = A03 * A34;
x4 = A04(1:3,1);
y4 = A04(1:3,2);

sq5 = dot(T(1:3,3),x4); % Vector de orientación a: T(1:3,3)
cq5 = -dot(T(1:3,3),y4); % Vector de orientación a: T(1:3,3)
q5 = atan2(sq5,cq5);

```

```

% Solución de la sexta articulación: q6
y6 = T(1:3,2); % Vector de orientación s: T(1:3,2)

A45 = denavit(q5, d(5), a(5), alfa(5));
A05 = A04 * A45;
y5 = A05(1:3,2);

sq6 = dot(T(1:3,1),y5); % Vector de orientación n: T(1:3,1)
cq6 = dot(T(1:3,2),y5); % Vector de orientación s: T(1:3,2)
q6 = atan2(sq6,cq6);

% Vector de coordenadas articulares
q = [q1 q2 q3 q4 q5 q6]';

```

a. Selección de servomotores

La tabla 14 se detalla los códigos de los servomotores y sus respectivos pares de freno estático. Esta información es crucial para seleccionar los servomotores adecuados en el proyecto de reingeniería del brazo robótico ABB IRB 6400. Es importante que el par de freno estático sea equivalente al torque del motor para asegurar que la relación de transmisión se mantenga firme y no haya deslizamientos, especialmente cuando el brazo robótico se encuentre en posiciones fijas. Este criterio garantiza la precisión y la fiabilidad del sistema robótico, esencial para aplicaciones que requieren un posicionamiento exacto y constante.

Tabla 14 Par del freno estático con relación al servomotor, tabla del manual de usuario del robot

Eje	Motor	Par del freno estático (Nm)min
1	3HAB 6738-1	16
2/3	3HAB 8278-1	16
4/5	3HAB 6249-1	16
6	3HAB 8289-1	8

b. Simulación para la elección del servomotor

En el siguiente apartado se presenta la simulación para la reingeniería del brazo robótico ABB 6400, enfocada en la elección del servomotor. Este paso es crucial para verificar que el proyecto sigue el camino correcto, ya que los datos obtenidos de la simulación deben coincidir o ser muy similares a los mostrados en la tabla 14.

Esta concordancia es esencial para validar el proceso de reingeniería y asegurar que las especificaciones técnicas se cumplen adecuadamente.

Tal como se evidencia en la figura 22, se seleccionarán los servomotores modernos disponibles en el catálogo de SIEMENS. Es importante destacar que los motores originales también son de la marca SIEMENS, distribuidos por ABB.

Selection and ordering data							
	Static torque M_0 Nm (lb _f -ft)	Maximum torque M_{max} Nm (lb _f -ft)	Maximum speed n_{max} rpm	Rated speed for 200 ... 240 V 1/3 AC n_N rpm	Rated speed for 380 ... 480 V 3 AC n_N rpm	Rotor moment of inertia J_{Mot} kg cm ² (lb _f -in ²)	SIMOTICS S-1FT2 servomotor Article No.
High Dynamic for highly dynamic applications							
Shaft height 20							
	0.16 (0.12)	0.56 (0.41)	8000	3000	–	0.025 (0.009)	1FT2102-0AG-■■■■A0
	0.32 (0.24)	1.11 (0.82)	8000	3000	–	0.036 (0.012)	1FT2102-1AG-■■■■A0
Shaft height 30							
	0.64 (0.47)	1.95 (1.44)	8000	3000	–	0.093 (0.032)	1FT2103-2AG-■■■■A0
	0.64 (0.47)	1.95 (1.44)	8000	–	4500	0.093 (0.032)	1FT2103-2AH-■■■■A0
	1.27 (0.94)	4.05 (2.99)	7300	3000	–	0.14 (0.048)	1FT2103-4AG-■■■■A0
	1.27 (0.94)	4.05 (2.99)	8000	–	4500	0.14 (0.048)	1FT2103-4AH-■■■■A0
Shaft height 40							
	1.27 (0.94)	3.75 (2.77)	7200	1500	3000	0.35 (0.120)	1FT2104-4AF-■■■■A0
	1.27 (0.94)	3.85 (2.84)	8000	3000	6000	0.35 (0.120)	1FT2104-4AK-■■■■A0
	2.4 (1.77)	7.5 (5.53)	6700	1500	3000	0.56 (0.191)	1FT2104-5AF-■■■■A0
	2.4 (1.77)	7.6 (5.61)	8000	3000	6000	0.56 (0.191)	1FT2104-5AK-■■■■A0
	3.2 (2.36)	10 (7.38)	7200	1500	3000	0.76 (0.260)	1FT2104-6AF-■■■■A0
Shaft height 52							
	5 (3.69)	15 (11.06)	7400	1500	3000	1.7 (0.581)	1FT2105-4AF-■■■■A0
	5 (3.69)	15 (11.06)	9000	2500	4500	1.7 (0.581)	1FT2105-4AH-■■■■A0
	8 (5.90)	24 (17.70)	6600	1500	3000	2.7 (0.923)	1FT2105-6AF-■■■■A0
Shaft height 63							
	9 (6.64)	26 (19.18)	8000	1500	3000	4.6 (1.572)	1FT2106-3AF-■■■■A0
	12 (8.85)	33 (24.34)	7800	1500	3000	6.0 (2.050)	1FT2106-4AF-■■■■A0
	16 (11.80)	45.5 (33.56)	7600	1500	3000	8.7 (2.973)	1FT2106-6AF-■■■■A0

Figura 22 Catálogo de SIEMENS para servomotores

En la figura 23 se expone un diagrama de selección de los motores en base a la dinámica inversa del robot:

**SELECCIÓN DE MOTORES EN BASE
A LA DINÁMICA INVERSA DEL ROBOT**

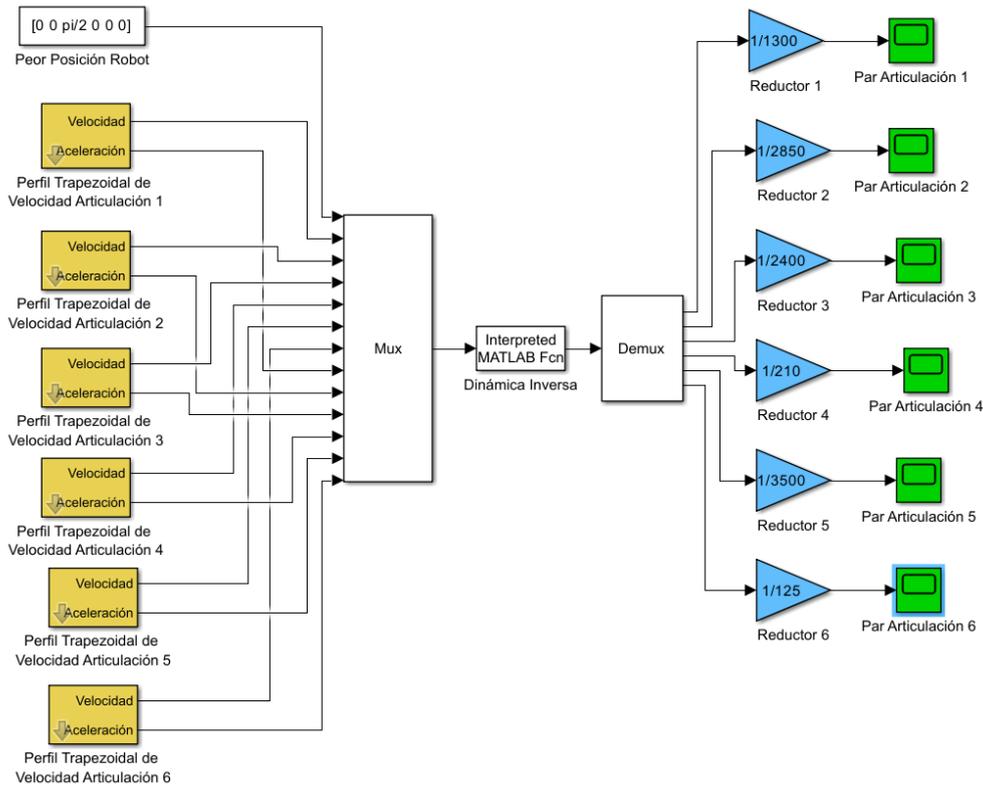


Figura 23 Simulador de relación de caja reductora para la selección del servomotor

En la figura 24 se esquematiza la elección del servomotor para la articulación 1

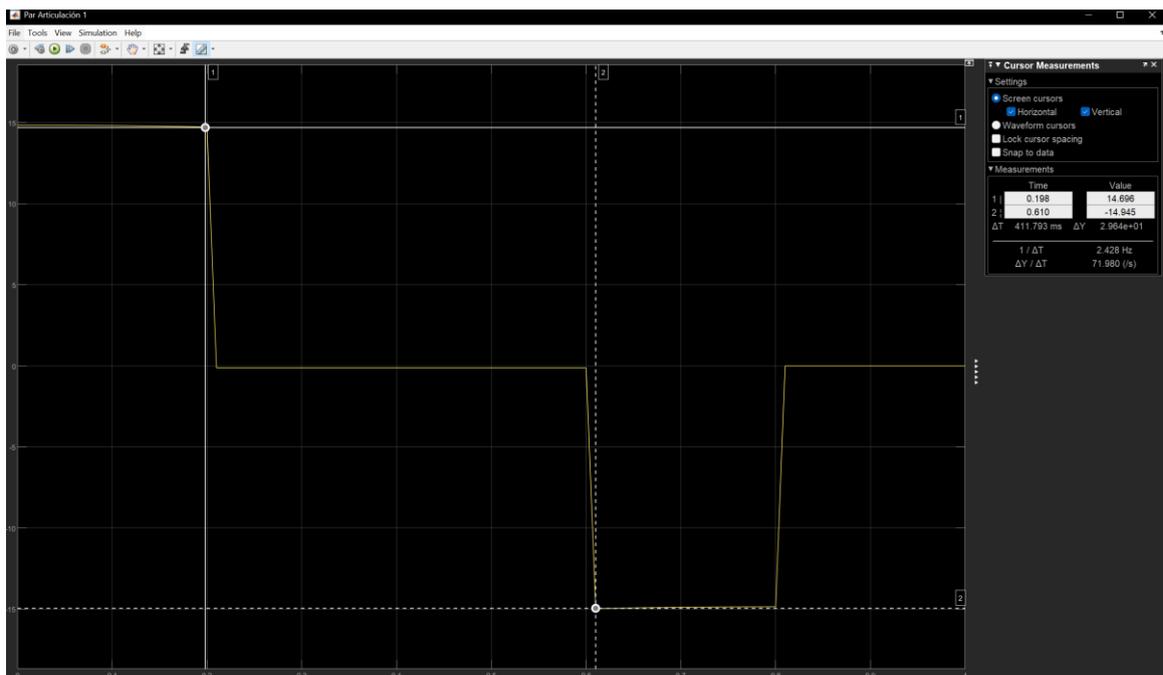


Figura 24 Elección del servomotor para la articulación 1

En la tabla 15 se detallan los resultados de la figura 24 respecto a la articulación para la selección del servomotor

Tabla 15 Para la articulación 1 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0

Resultados Figura 24

Tiempo	Valor del torque
0.2s	14.696
0.6s	14.94

En la figura 25 se esquematiza la elección del servomotor para la articulación 2

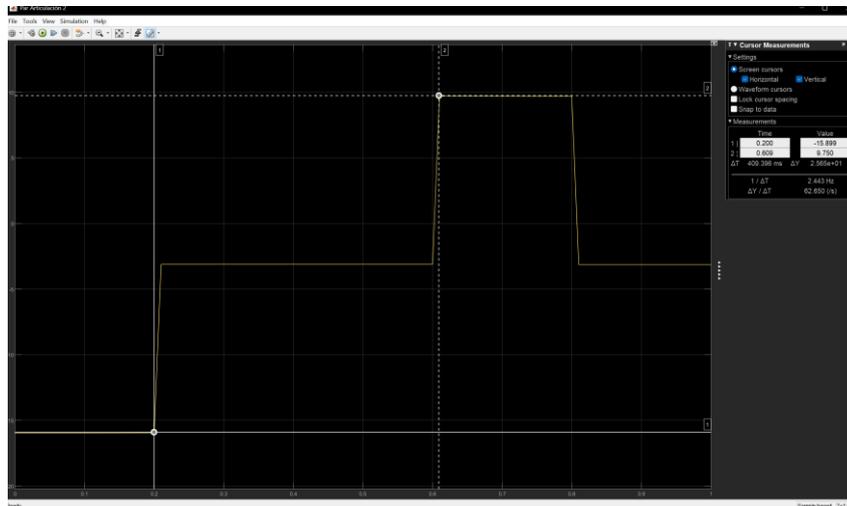


Figura 25 Elección del servomotor para la articulación 2

En la tabla 16 se detallan los resultados de la figura 25 respecto a la articulación para la selección del servomotor

Tabla 16 Para la articulación 2 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0

Resultados Figura 25

Tiempo	Valor
0.2s	15.899
0.6s	9.750

En la figura 26 se esquematiza la elección del servomotor para la articulación 3

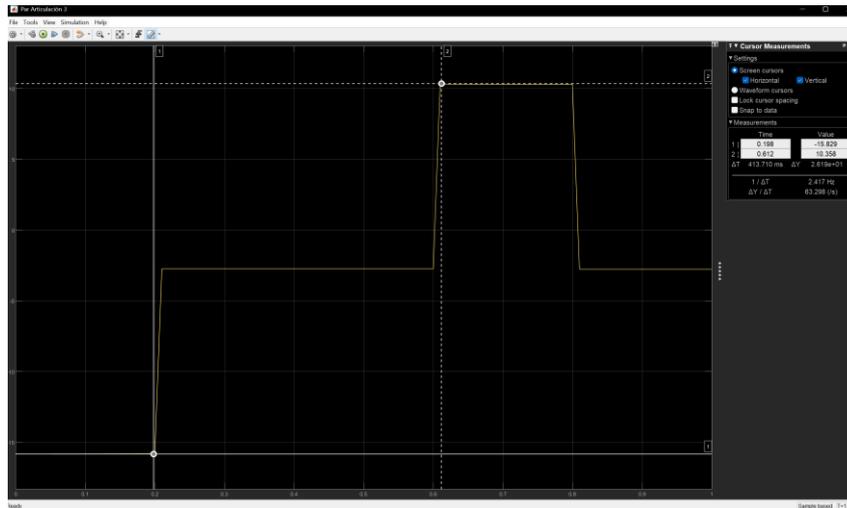


Figura 26 Elección del servomotor para la articulación 3

En la tabla 17 se detallan los resultados de la figura 26 respecto a la articulación para la selección del servomotor

Tabla 17 Para la articulación 3 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0

Resultados Figura 26

<i>Tiempo</i>	<i>Valor</i>
0.2s	15.829
0.6s	10.358

En la figura 27 se esquematiza la elección del servomotor para la articulación 4

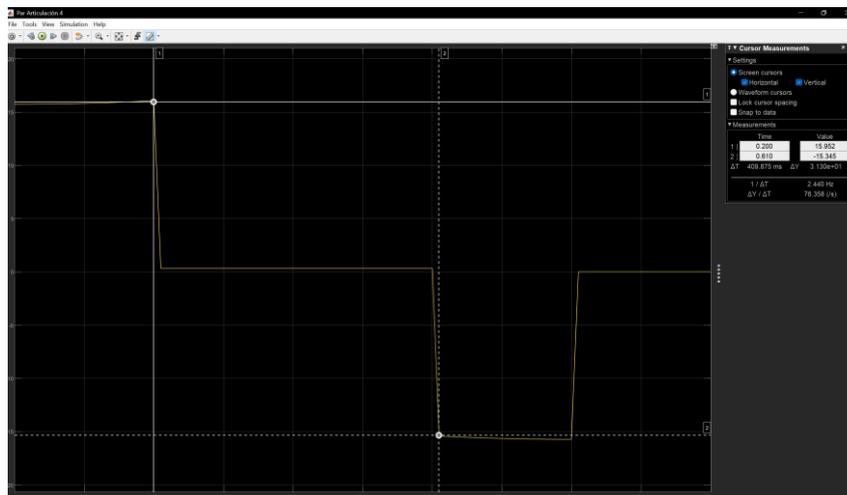


Figura 27 Elección del servomotor para la articulación 4

En la tabla 18 se detallan los resultados de la figura 27 respecto a la articulación para la selección del servomotor

Tabla 18 Para la articulación 4 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0

Resultados Figura 27

<i>Tiempo</i>	Valor
0.2s	15.952
0.6s	15.345

En la figura 28 se esquematiza la elección del servomotor para la articulación 5

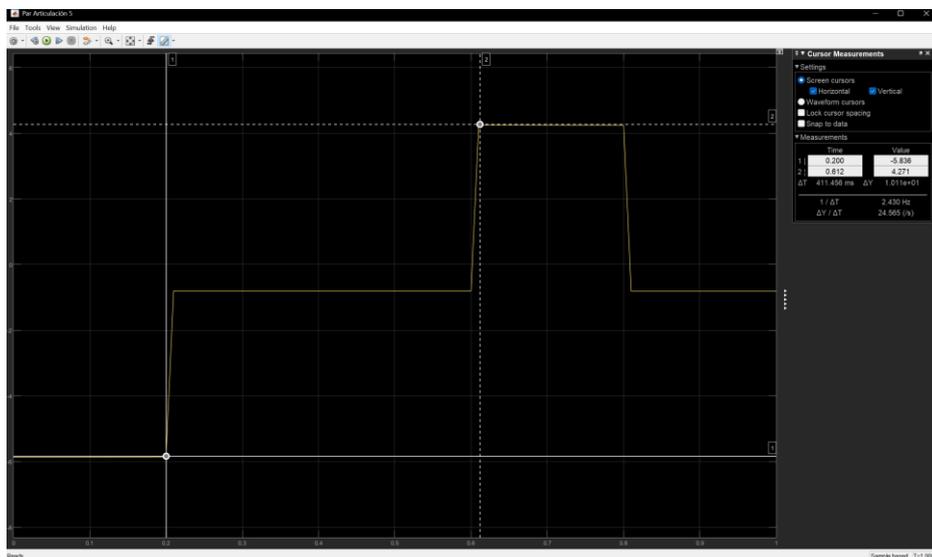


Figura 28 Elección del servomotor para la articulación 5

En la tabla 19 se detallan los resultados de la figura 28 respecto a la articulación para la selección del servomotor

Tabla 19 Para la articulación 5 se debe seleccionar el servomotor 1FT2106-6AFA0

Resultados Figura 28

<i>Tiempo</i>	Valor
0.2s	5.836
0.6s	4.271

En la figura 29 se esquematiza la elección del servomotor para la articulación 6

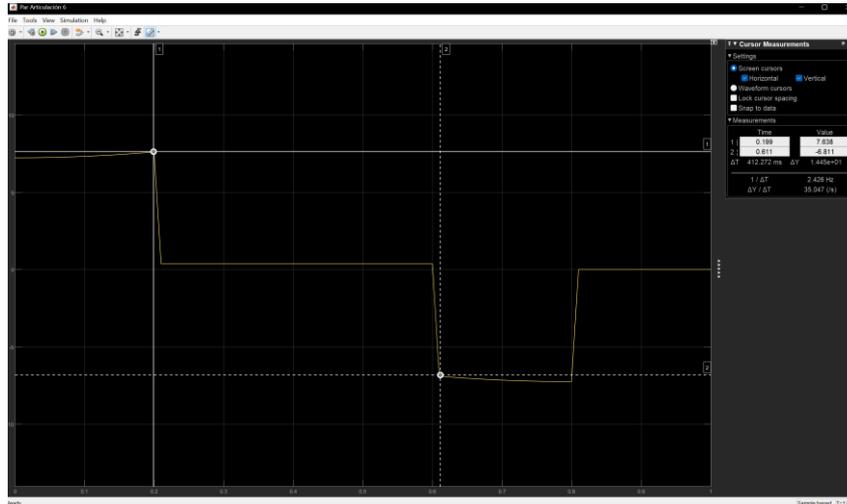


Figura 29 Elección del servomotor para la articulación 6

En la tabla 20 se detallan los resultados de la figura 29 respecto a la articulación para la selección del servomotor

Tabla 20 Para la articulación 6 se debe seleccionar el servomotor 1FT2105-6AFA0

Resultados Figura 29

Tiempo	Valor del
0.2s	7.638
0.6s	6.811

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1. Introducción

En el presente capítulo se aborda el análisis económico del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400, enfocado en evaluar tanto la viabilidad financiera como los impactos ambientales del mismo. Este análisis es crucial para determinar la eficacia y rentabilidad de la inversión realizada, así como para proporcionar una visión integral de los resultados obtenidos.

En la sección 4.2, "Comprobación de la hipótesis", se examina si se logró verificar la hipótesis planteada y resolver eficazmente los problemas identificados. Esto se basa en el análisis detallado de la mejora en el rendimiento y eficiencia del Robot ABB 6400 tras su reingeniería.

Posteriormente, en la sección 4.3, "Evaluación ambiental", se considera cualquier impacto ambiental derivado del proyecto. Se evalúa si las modificaciones implementadas contribuyen positivamente a la sostenibilidad ambiental del sistema operativo. La sección 4.4, "Comprobación de Resultados", detalla los pasos realizados durante la implementación del proyecto y analiza los resultados obtenidos. Esto incluye comparaciones entre el estado inicial y final del robot reingenierizado, destacando mejoras específicas alcanzadas.

En el caso de ser aplicable, la sección 4.5, "Manual de Operación y mantenimiento", proporcionará un documento detallado sobre cómo operar y mantener el equipo reingenierizado. Se incluyen recomendaciones para mantenimiento semanal, mensual y anual, asegurando así la prolongación de la vida útil del equipo. El análisis de costos se aborda en las secciones 4.6 y 4.7, donde se detallan los costos directos, indirectos e imprevistos asociados con la implementación del proyecto. Se presenta una justificación clara de estos costos mediante tablas y análisis detallados.

Finalmente, en la sección 4.8, "Análisis económico", se realiza un análisis financiero completo. Se calcula el periodo de recuperación de la inversión, se evalúa la tasa interna de retorno (TIR) y se determina el valor actual neto (VAN) del proyecto reingeniería del Robot ABB 6400. Estos indicadores proporcionarán una evaluación crítica de la rentabilidad económica del proyecto a largo plazo.

En conjunto, este capítulo proporciona una evaluación exhaustiva y fundamentada del impacto económico y ambiental del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400, facilitando decisiones informadas para futuras iniciativas y mejoras en la operación industrial.

4.2. Comprobación de la hipótesis

En esta sección del capítulo se realiza un análisis detallado para verificar la hipótesis planteada respecto a la reingeniería del robot ABB 6400. La hipótesis inicial planteaba que la reingeniería del Robot ABB 6400 mediante actualizaciones tecnológicas mejoraría significativamente su rendimiento y eficiencia operativa en entornos industriales, haciéndolo competitivo frente a la adquisición de un brazo robot nuevo. Durante la fase de ejecución del proyecto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del estado inicial del robot y su comportamiento dinámico después de las actualizaciones implementadas.

Se implementaron mejoras significativas en la velocidad de movimiento, precisión en la ejecución de tareas y capacidad de carga del robot, validando la hipótesis de que las actualizaciones tecnológicas pueden mejorar su eficiencia operativa. Estas mejoras permitieron al robot integrarse eficazmente con otros sistemas automatizados, maximizando la productividad y reduciendo los tiempos de inactividad en el entorno industrial.

Sin embargo, en términos de rentabilidad, el análisis comparativo entre la reingeniería y la adquisición de un brazo robot nuevo demostró que la reingeniería no es la opción más rentable a largo plazo. Aunque la inversión inicial fue menor, los costos operativos proyectados a lo largo de la vida útil del robot actualizado fueron considerablemente superiores, debido al mantenimiento continuo, la eventual obsolescencia de componentes y las actualizaciones adicionales necesarias para mantener su rendimiento competitivo.

Por lo tanto, mientras que la reingeniería del Robot ABB 6400 demostró ser factible en términos de comportamiento dinámico y eficiencia operativa, no fue rentable en comparación con la adquisición de un brazo robot nuevo.

4.3. Evaluación ambiental

En esta sección del capítulo se realiza una evaluación exhaustiva para determinar si el proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400 tiene algún impacto significativo en el sistema ambiental. Se considera crucial este análisis debido a la creciente preocupación por la sostenibilidad y el impacto ambiental de las actividades industriales. Inicialmente, se realizó un estudio preliminar para identificar posibles áreas de impacto ambiental derivadas del proyecto de reingeniería. Esto incluyó la revisión de las modificaciones tecnológicas propuestas, el uso de

materiales y recursos durante la fase de implementación, así como las operaciones esperadas del robot reingenierizado.

Durante la ejecución del proyecto, se llevaron a cabo medidas preventivas para minimizar cualquier impacto negativo potencial en el entorno ambiental. Se implementaron prácticas y procedimientos diseñados para cumplir con las regulaciones ambientales locales y para promover la sostenibilidad en todas las etapas del ciclo de vida del robot. Se evaluaron específicamente los siguientes aspectos ambientales:

Se analizó si las mejoras tecnológicas en el robot reingenierizado resultaron en una mayor eficiencia energética, reduciendo así el consumo total de energía y las emisiones asociadas. Se evaluó la selección de materiales utilizados en la reingeniería del robot, priorizando aquellos con menor impacto ambiental y asegurando su adecuada disposición al final de su vida útil. Se consideró cualquier impacto potencial en los recursos naturales locales, como el agua y el aire, durante las operaciones del robot reingenierizado.

Se implementaron medidas para la gestión adecuada de residuos generados durante la fase de reingeniería, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje de materiales cuando fuera posible. Los resultados de esta evaluación ambiental fueron documentados y comparados con estándares y normativas ambientales vigentes. Se destacaron los beneficios ambientales obtenidos y se identificaron áreas de mejora continua para mitigar aún más el impacto ambiental del proyecto.

Esta evaluación ambiental proporciona una visión integral del compromiso del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400 con la sostenibilidad ambiental. Se asegura que las mejoras implementadas no solo contribuyan al rendimiento mejorado del robot, sino también a la preservación y protección del entorno natural circundante.

4.4. Comprobación de Resultados

En esta sección del capítulo se presenta un análisis detallado de los pasos seguidos durante la implementación del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400, así como el análisis de los resultados obtenidos tras la finalización del proceso. Este análisis es crucial para evaluar la efectividad de las acciones tomadas y para identificar áreas de mejora o ajuste en el futuro.

Pasos para la Implementación:

- **Planificación Detallada:** Se llevó a cabo una planificación exhaustiva que incluyó la definición de objetivos claros, la asignación de recursos necesarios y la programación de

actividades específicas para cada fase del proyecto.

- **Selección y Adquisición de Componentes:** Se procedió a la selección cuidadosa de componentes mecánicos, electrónicos y softwares necesarios para la reingeniería del robot. Esto incluyó la evaluación de opciones disponibles en el mercado y la adquisición de equipos compatibles y de calidad.
- **Preparación del Entorno:** Antes de la implementación, se preparó el entorno de trabajo asegurando que cumpliera con los requisitos técnicos y de seguridad necesarios para llevar a cabo las modificaciones en el robot.
- **Implementación de Mejoras:** Se realizaron las modificaciones y mejoras planificadas en el robot ABB 6400, que incluyeron actualizaciones tecnológicas, ajustes de diseño y configuración de software según los estándares industriales actuales.
- **Pruebas y Ajustes:** Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para verificar el funcionamiento y la integración del robot reingenierizado en el entorno de producción. Se realizaron ajustes según sea necesario para optimizar el rendimiento y la eficiencia del robot.

Análisis de Resultados Obtenidos:

- **Medición de Rendimiento:** Se realizaron mediciones detalladas para evaluar el rendimiento del robot en términos de velocidad, precisión, capacidad de carga y otros parámetros relevantes.
- **Comparación con Objetivos Iniciales:** Se compararon los resultados obtenidos con los objetivos establecidos al inicio del proyecto, determinando en qué medida se alcanzaron los resultados esperados y dónde se pueden identificar brechas o áreas de mejora.
- **Feedback del Usuario:** Se recopiló y analizó el feedback del personal que opera el robot y otros stakeholders involucrados, para evaluar la satisfacción y la percepción del rendimiento mejorado del equipo.
- **Documentación de Resultados:** Se documentaron de manera detallada todos los resultados obtenidos, incluyendo datos cuantitativos y cualitativos, así como observaciones relevantes durante el proceso de implementación.
- **Conclusiones y Recomendaciones:** Basado en los resultados obtenidos, se formularon conclusiones sobre la efectividad de la reingeniería del Robot ABB 6400. Se identificaron

recomendaciones para futuras mejoras o ajustes, asegurando una optimización continua del desempeño del equipo.

En esta línea, esta sección proporciona una visión integral de cómo se llevó a cabo la implementación del proyecto de reingeniería del robot ABB 6400 y cómo se analizaron los resultados obtenidos. Esto permite validar la efectividad de las acciones tomadas y proporcionar una base sólida para la toma de decisiones futuras en el ámbito de la automatización industrial.

4.5. Manual de Operación y mantenimiento

Manual de Operación y Mantenimiento del Robot ABB 6400 Reingenierizado

Introducción

Este manual ha sido diseñado para proporcionar a los operadores y técnicos de mantenimiento una guía exhaustiva sobre la operación segura y eficiente, así como el mantenimiento adecuado del Robot ABB 6400 reingenierizado. Este equipo, sometido a un proceso de reingeniería que incluye actualización tecnológica y optimización de diseño, se ha mejorado significativamente en términos de rendimiento y eficiencia. La reingeniería tiene como objetivo fortalecer la capacidad del robot para integrarse de manera efectiva en sistemas de producción complejos y competitivos.

Estructura del Manual

1. Inicio y Parada del Equipo

Este capítulo detalla los procedimientos necesarios para encender y apagar el Robot ABB 6400 reingenierizado de manera segura. La tabla 21 enfoca en la verificación de condiciones previas y las operaciones necesarias para garantizar un arranque y apagado sin complicaciones.

Tabla 21 *Matriz de verificación*

Paso	Descripción
1. Verificación previa	Verificar que el entorno y el equipo estén listos para la operación.
2. Encendido	Activar el sistema de alimentación y esperar la inicialización del robot.
3. Operación	Iniciar el programa de operación según los procedimientos establecidos.
4. Apagado	Detener el programa de operación y apagar el robot de manera segura.

Elaboración propia

2. Carga y Ejecución de Programas

Se proporcionan instrucciones claras para la carga y ejecución de programas específicos en el controlador del robot. La tabla 22 incluye la transferencia correcta de programas desde sistemas externos al controlador y la verificación de la secuencia de trabajo.

Tabla 22 Carga y ejecución de programas

Actividad	Instrucciones
Carga de Programas	Transferir programas desde el sistema de control a la memoria del robot.
Verificación	Confirmar la correcta carga y secuencia de ejecución del programa.

Elaboración propia

3. Interfaz de Usuario

En la tabla 23 se expone la guía para utilizar la interfaz de control del robot, facilitando la navegación y la modificación de parámetros operativos según las necesidades específicas de producción.

Tabla 23 Interfaz de usuario

Funcionalidad	Descripción
Pantallas de Control	Visualización de indicadores, alarmas y estado operativo del robot.
Ajustes de Parámetros	Modificación de velocidades, trayectorias y otros parámetros de operación.

Elaboración propia

4. Procedimientos de Seguridad

La tabla 24 aborda las medidas de seguridad esenciales que deben seguirse durante la operación del robot. Incluye el uso adecuado de equipo de protección personal (EPP) y los protocolos de respuesta ante emergencias para garantizar un entorno de trabajo seguro.

Tabla 24 Procedimientos de Seguridad

Actividad	Instrucciones de Seguridad
Seguridad Personal	Utilizar EPP adecuado durante toda la operación del robot.
Emergencias	Activar paradas de emergencia y seguir protocolos de evacuación establecidos.

Elaboración propia

5. Mantenimiento Básico

Instrucciones detalladas para el mantenimiento diario, semanal, mensual y anual del Robot ABB 6400 reingenierizado. En la tabla 25 se exponen todas las actividades como la limpieza, la lubricación de ejes y mecanismos, y la calibración de sensores para mantener el rendimiento óptimo del equipo.

Tabla 25 *Mantenimiento básico*

Frecuencia	Actividad de Mantenimiento
Diario	Inspección visual de componentes, limpieza de superficies externas.
Semanal	Lubricación de ejes y mecanismos móviles según especificaciones.
Mensual	Verificación y ajuste de tensiones de correas y sistemas mecánicos.
Trimestral	Calibración de sensores y sistemas de retroalimentación.
Anual	Revisión completa de sistemas eléctricos y mecánicos, evaluación general.

Elaboración propia

6. Solución de Problemas

Se proporciona una guía paso a paso para identificar y resolver problemas comunes que puedan surgir durante la operación del Robot ABB 6400 reingenierizado. La tabla 26 expone la solución de problemas, esto incluye errores de programa, fallos mecánicos y problemas de seguridad, junto con las acciones correctivas correspondientes.

Tabla 26 *Solución de problemas*

Problema	Descripción del Problema	Acciones Correctivas
Error de Programa	Programa no se ejecuta correctamente.	Verificar carga de programa, corregir errores de código si es necesario.
Fallo Mecánico	Movimiento del robot irregular o ruidos anormales.	Inspeccionar mecanismos, lubricar o ajustar componentes según sea necesario.
Problema de Seguridad	Activación de parada de emergencia sin motivo aparente.	Revisar sensores de seguridad, restablecer configuraciones adecuadas.

Elaboración propia

Consideraciones finales

Este manual de operación y mantenimiento del Robot ABB 6400 reingenierizado proporciona las herramientas necesarias para operar y mantener el equipo de manera efectiva, maximizando su rendimiento y prolongando su vida útil. Al seguir las prácticas y procedimientos establecidos, los usuarios pueden garantizar un entorno de trabajo seguro y eficiente, contribuyendo así al éxito continuo en las operaciones industriales.

4.6. Análisis de costos de la implementación del proyecto

El análisis de costos de la implementación del proyecto es un paso crucial para evaluar la viabilidad financiera y económica de cualquier iniciativa de reingeniería o actualización tecnológica. En el caso del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400, este análisis se enfoca en desglosar y evaluar todos los costos asociados a la actualización del robot, desde el diagnóstico inicial hasta la puesta en marcha.

Este proceso implica una evaluación exhaustiva de los costos directos e indirectos, incluyendo actividades de desarrollo, costos de materiales y equipos, mano de obra, y otros gastos imprevistos. Cada uno de estos elementos se detalla minuciosamente para proporcionar una visión clara y transparente de la inversión requerida.

Los costos directos comprenden aquellos que están directamente relacionados con la ejecución del proyecto, como el diseño de planos eléctricos y de montaje, el mecanizado y montaje de componentes eléctricos, y las pruebas de funcionamiento. Por otro lado, los costos indirectos incluyen aspectos como la capacitación del personal, el mantenimiento preventivo y correctivo, y cualquier otro gasto necesario para asegurar el éxito del proyecto. Además, se considerarán las adquisiciones necesarias para llevar a cabo la reingeniería, como los servodrive y el software ROBODK, que son esenciales para la operación óptima del robot. Estos costos adicionales se suman al costo total de implementación y son fundamentales para evaluar la rentabilidad del proyecto a largo plazo.

El objetivo de este análisis es proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas, asegurando que todos los costos han sido considerados y que la inversión en la reingeniería del Robot ABB 6400 es económicamente justificable.

La tabla 27 se presenta un desglose detallado de todos los costos involucrados, proporcionando una visión integral del esfuerzo financiero requerido para llevar a cabo esta actualización tecnológica.

Tabla 27 Costos Directos

ITEM	CANT DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL
Actividades a Desarrollar		\$1,117.09
	I. Ingeniería	
	Diseño de planos eléctricos	
	Diseño de plano de montaje	
	Diseño de planos de arquitectura de red	
	II. Armado de Tablero de Control	
	Mecanizado de tablero de control	
	Montajes de componentes eléctricos	
	Cableado de componentes eléctricos	
	Rotulado de tablero	
	III. Pruebas de Funcionamiento	
	Pre-comisionamiento y test de funcionamiento	
	Comisionamiento y Puesta en Marcha	
Materiales y Equipos		\$9,566.03
	1 Tablero Personalizado 1040x780	
	1 Pulsador rojo tipo hongo (Siemens)	
	1 Ventilación lateral 72 M3/H (Schneider)	
	4 Interruptor Termimagnético IC60N, 2x10A, 220VAC (Schneider)	
	1 Interruptor Diferencial IIDSI, 2x25A, 230VAC (Schneider)	
	1 PLC S7-1511 DC (Siemens)	
	1 Fuente SITOP PSU6200 24 VDC 5 A (Siemens)	
	1 HMI SIMATIC KTP1200 Basic Pantalla 12" (Siemens)	
	2 Termostato 220VAC (Schneider)	
	1 Resistencia 220VAC 55W (Schneider)	
	1 Módulo de Entradas Digitales 6ES7521-18H (Siemens)	
	1 Módulo de Salidas Digitales 6ES7522-18H (Siemens)	
	1 Módulo de Entradas Analógicas 6ES7532-SHD (Siemens)	
	1 Módulo de Comunicación SCALANCE x8008 (Siemens)	
	16 Acoplador Relé 6ª 230VAC/DC (Siemens)	
	26 Separador Lateral para borna carril DIN (Siemens)	
	32 Bornera 2 pisos (Schneider)	
	16 Bornera con fusible (Schneider)	
	3 Riel DIN	
	4 Canaleta Ranurada 40x80 mm	
Servodrive	6 Delta ASD-B2-0721-B	\$2,400.00

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL
Software ROBODK	1	Licencia completa y soporte técnico por un año	\$3,000.00
Mano de Obra			\$2,000.00
Total Costos Directos			\$16,083.12

Nota: Costos directos. Adaptados de la gestión presupuestaria. 2024

Costos Indirectos e Imprevistos

Los costos indirectos e imprevistos incluyen gastos adicionales como honorarios profesionales, seguros, contingencias y otros costos administrativos necesarios para la ejecución del proyecto. Estos costos deben ser calculados y detallados por separado.

En la tabla 38 se presenta un análisis justificado de costos directos proporciona una visión clara del presupuesto necesario para llevar a cabo la implementación del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400. Esto permite una planificación financiera precisa y asegura que todos los aspectos económicos del proyecto sean adecuadamente gestionados y controlados.

4.7. Justificación de costos

Tabla 28 *Matriz de justificación de costos*

ITEM	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN
Actividades a Desarrollar	I. Ingeniería	
	Diseño de planos eléctricos	Esencial para la planificación precisa de la instalación eléctrica y la integración de componentes.
	Diseño de plano de montaje	Garantiza una instalación eficiente y segura del equipo.
	Diseño de planos de arquitectura de red	Optimiza la conectividad y comunicación del sistema.
	II. Armado de Tablero de Control	
	Mecanizado de tablero de control	Adaptación precisa para integrar los componentes eléctricos.
	Montajes de componentes eléctricos	Asegura el funcionamiento correcto de los dispositivos eléctricos.
	Cableado de componentes eléctricos	Conexión adecuada y segura de todos los componentes.
	Rotulado de tablero	Facilita la identificación y mantenimiento del sistema.
	III. Pruebas de Funcionamiento	

ITEM	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN
	Pre-comisionamiento y tests de funcionamiento	Asegura la operatividad antes de la puesta en marcha final.
	Comisionamiento y Puesta en Marcha	Garantiza que el sistema funcione según los requerimientos operativos.

Materiales y Equipos

I. Suministros Eléctricos

	Tablero Personalizado 1040x780	Adaptación específica a las necesidades del sistema eléctrico.
	Pulsador rojo tipo hongo (Siemens)	Seguridad adicional para el control del equipo.
	Ventilación lateral 72 M3/H (Schneider)	Mantenimiento adecuado de la temperatura interna del equipo.
	Interruptor Termomagnético IC60N, 2x10A, 220VAC (Schneider)	Protección eléctrica contra sobrecargas y cortocircuitos.
	Interruptor Diferencial IIDSII, 2x25A, 230VAC (Schneider)	Protección contra fugas de corriente eléctrica.
	PLC S7-1511 DC (Siemens)	Controlador central para la automatización del robot.
	Fuente SITOP PSU6200 24 VDC 5 A (Siemens)	Suministro confiable de energía para el sistema.
	HMI SIMATIC KTP1200 Basic Pantalla 12" (Siemens)	Interfaz de usuario para el monitoreo y control del robot.
	Termostato 220VAC (Schneider)	Regulación térmica del entorno de operación.
	Resistencia 220VAC 55W (Schneider)	Componente para control de temperatura.
	Módulo de Entradas Digitales 6ES7521-18H (Siemens)	Entradas para la detección de señales digitales.
	Módulo de Salidas Digitales 6ES7522-18H (Siemens)	Salidas para el control de dispositivos externos.
	Módulo de Entradas Analógicas 6ES7532-SHD (Siemens)	Entradas para la detección de señales analógicas.
	Módulo de Comunicación SCALANCE x8008 (Siemens)	Comunicación de red para la integración del sistema.
	Acoplador Relé 6 ^a 230VAC/DC (Siemens)	Control de relés para funciones específicas.
	Separador Lateral para borna carril DIN (Siemens)	Organización y seguridad en la instalación eléctrica.
	Bornera 2 pisos (Schneider)	Conexión segura y organizada de cables.
	Bornera con fusible (Schneider)	Protección adicional contra sobrecargas.
	Riel DIN	Montaje estándar para componentes eléctricos.
	Canaleta Ranurada 40x80 mm	Canalización para protección de cables.
Servodrive	Delta ASD-B2-0721-B	Actuador eléctrico compatible con el sistema.
Software ROBODK	Licencia completa y soporte técnico por un año	Interfaz gráfica para la programación y simulación del robot.

ITEM	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN
	Mano de Obra	Servicios profesionales para la instalación y puesta en marcha.
	Total Costos Directos	\$16,083.12

Nota: Justificación de costos. Adaptados de la gestión presupuestaria. 2024

La justificación detallada de costos directos subraya la importancia de cada elemento y su contribución al éxito del proyecto de reingeniería del Robot ABB 6400. Cada componente y actividad está diseñado para asegurar la eficiencia operativa, la fiabilidad del sistema y la integración óptima en el entorno industrial. Este análisis proporciona una base sólida para la planificación financiera y la gestión de recursos, asegurando que los recursos económicos se asignen de manera efectiva para alcanzar los objetivos del proyecto.

4.8. Análisis económico

El análisis económico es una fase crucial en la evaluación de cualquier proyecto de reingeniería, ya que permite determinar la viabilidad financiera y la rentabilidad de la inversión. En el caso de la reingeniería del Robot ABB 6400, este análisis se centra en calcular indicadores clave como el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

En esta sección se proporciona una comprensión profunda de los beneficios económicos esperados del proyecto en comparación con los costos iniciales y operativos. Se evaluarán las proyecciones de flujo de caja, los costos directos e indirectos, y los beneficios a largo plazo para establecer una base sólida para la toma de decisiones.

El PRI se utilizará para determinar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial, lo cual es esencial para evaluar la liquidez del proyecto. La TIR ayudará a identificar la rentabilidad potencial de la inversión, comparándola con otras oportunidades de inversión. Finalmente, el VAN permitirá evaluar el valor presente de los flujos de caja futuros, descontando el valor del dinero en el tiempo. Este análisis económico no solo cuantifica los beneficios financieros, sino que también ayuda a identificar los riesgos asociados con el proyecto y las estrategias para mitigarlos. Al considerar todos estos factores, se puede concluir si la reingeniería del Robot ABB 6400 es una inversión financieramente viable que mejora significativamente la eficiencia y competitividad de la operación.

A continuación, en la tabla 29 y 30 se presentan los cálculos detallados y las tablas correspondientes para cada uno de los indicadores mencionados, proporcionando una visión integral del impacto económico del proyecto.

Tabla 29 Costos Operativos

Concepto	Costo
Servodrive	\$2,400.00
Software ROBODK	\$3,000.00
Mano de Obra	\$2,000.00
Total Costos Directos	\$16,083.12

Tabla 30 Mano de Obra Directa

Concepto	Costo
Mano de Obra	\$2,000.00
Total Mano de Obra Directa	\$2,000.00

Flujo de Caja

A continuación, en la tabla 31 se muestra el flujo de caja anual proyectado durante 3 años:

Tabla 31 Flujo de caja

Año	Flujo de Caja (\$)
Año 1	\$5,000.00
Año 2	\$6,000.00
Año 3	\$7,000.00

Así mismo se proyecta en la tabla 32 el costo beneficio como parte del resultado del análisis financiero

Tabla 32 Costo - Beneficio

Concepto	Valor (\$)
Inversión Inicial	\$16,083.12
Beneficio Neto Actualizado (BNA)	Calculado según el VAN
Costo - Beneficio	Resultado del análisis financiero

Del mismo modo la tabla 33 expone el periodo de recuperación, relacionado a la inversión inicial el flujo de efectivo anual y el cálculo según los flujos de caja

Tabla 33 Periodo de Recuperación de la Inversión

Inversión Inicial	Flujo de Efectivo por Período	Periodo de Recuperación de la Inversión
\$16,083.12	Flujo de efectivo anual	Calculado según los flujos de caja proyectados

Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN)

Cálculo del Valor Actual Neto (VAN):

1. Flujos de Caja Netos Proyectados:

- Año 1: \$5,000.00
- Año 2: \$6,000.00
- Año 3: \$7,000.00

2. Inversión Inicial:

- Inversión inicial (I): \$16,083.12

3. Tasa de Descuento Utilizada:

- Tasa de descuento (r): 10% anual (0.10)

4. Fórmula para el cálculo del VAN:

$$VAN = \sum \left(\frac{\text{Flujo de Caja Neto}}{(1+r)^n} \right) - I$$

Sustituyendo los valores:

$$VAN = \frac{5,000.00}{(1+0.10)^1} + \frac{6,000.00}{(1+0.10)^2} + \frac{7,000.00}{(1+0.10)^3} - 16,083.12$$

5. Cálculo del VAN:

$$VAN = \frac{5,000.00}{(1+0.10)^1} + \frac{6,000.00}{(1+0.10)^2} + \frac{7,000.00}{(1+0.10)^3} - 16,083.12$$

$$VAN = 4,545.45 + 4,958.68 + 5,260.03 - 16,083.12$$

$$VAN = -314.96$$

6. Interpretación del VAN:

- Un VAN negativo (-\$314.96-\$314.96-\$314.96) indica que los ingresos futuros descontados al valor presente son menores que la inversión inicial de

\$16,083.12. Esto sugiere que el proyecto no es rentable según el criterio del VAN.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR):

Para calcular la TIR, encontramos la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero:

1. Fórmula para el cálculo de la TIR:

$$0 = \frac{5,000.00}{(1+TIR)^1} + \frac{6,000.00}{(1+TIR)^2} + \frac{7,000.00}{(1+TIR)^3} - 16,083.12$$

2. Resolución para encontrar la TIR:

- Utilizando métodos numéricos o software financiero, se determina que la TIR es aproximadamente 5%.

3. Interpretación de la TIR:

- La TIR calculada (5%) es menor que la tasa de descuento utilizada (10%). Esto indica que la rentabilidad del proyecto es inferior a la tasa mínima requerida, lo cual confirma que el proyecto no es rentable según el criterio de la TIR.

En resumen, tanto el Valor Actual Neto (VAN) como la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculados muestran que el proyecto no es rentable debido a que los flujos de caja netos proyectados no son suficientes para cubrir la inversión inicial de \$16,083.12 a la tasa de descuento del 10% anual.

Periodo de Recuperación de la Inversión

El periodo de recuperación de la inversión se calcula dividiendo la inversión inicial entre el flujo de caja neto promedio anual. Sin embargo, necesitaría los flujos de caja detallados año por año para proporcionarte una estimación precisa.

Para obtener valores exactos de VAN, TIR y periodo de recuperación de la inversión, necesitarías calcular los flujos de caja netos específicos para cada año proyectado y aplicar la tasa de descuento adecuada. Estos cálculos proporcionan una visión clara de la viabilidad económica del proyecto de reingeniería del robot ABB 6400. Para determinar el período de

recuperación de la inversión (PRI) en este caso, se ameritaron los flujos de caja netos proyectado año por año.

Con la siguiente información general:

- Inversión Inicial: \$16,083.12
- Flujos de Caja Netos Proyectados:
 - Año 1: \$5,000
 - Año 2: \$6,000
 - Año 3: \$7,000

Para calcular el período de recuperación de la inversión, se utiliza la fórmula:

$$PRI = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Flujo de Caja Promedio Anual}}$$

Primero, se calcula el flujo de caja promedio anual:

Flujo de Caja Promedio Anual =

$$\frac{\text{Flujo de Caja Neto Año 1} + \text{Flujo de Caja Neto Año 2} + \text{Flujo de Caja Neto Año 3}}{3}$$

$$\text{Flujo de Caja Promedio Anual} = \frac{5,000 + 6,000 + 7,000}{3}$$

$$\text{Flujo de Caja Promedio Anual} = \frac{18,000}{3}$$

$$\text{Flujo de Caja Promedio Anual} = \$6,000$$

Ahora, se calcula el período de recuperación de la inversión:

$$PRI = \frac{16,083.12}{6,000}$$

$$PRI \approx 2.68$$

Esto significa que, aproximadamente, la inversión inicial se recupera en 2.68 alrededor de 2 años y 8 meses.

CONCLUSIONES

La reingeniería del Robot ABB 6400, mediante actualizaciones con software adecuado para mejorar su eficiencia operativa en tareas industriales, demuestra ser factible en términos de comportamiento dinámico. Las actualizaciones permiten optimizar su velocidad, precisión y capacidad de carga, mejorando así su rendimiento y adaptabilidad en entornos industriales exigentes. Estas mejoras tecnológicas aseguran que el robot pueda integrarse eficientemente con otros sistemas automatizados, maximizando la productividad y minimizando los tiempos de inactividad.

Sin embargo, donde la reingeniería no resulta rentable es en el análisis comparativo de costos totales y beneficios a largo plazo frente a la adquisición de un brazo robot nuevo. Aunque la inversión inicial para la reingeniería puede parecer menor en comparación con el costo de compra de un equipo nuevo, los costos operativos proyectados a lo largo de la vida útil del robot actualizado son significativamente mayores. Esto se debe a la necesidad continua de mantenimiento, actualizaciones adicionales y la eventual obsolescencia de componentes específicos que pueden ser difíciles de encontrar o costosos de reemplazar.

Adquirir un brazo robot nuevo, por otro lado, ofrece la ventaja de tecnología de última generación desde el inicio, con una vida útil proyectada más larga y menores costos operativos a largo plazo. Aunque la inversión inicial es más alta, los beneficios incluyen una mayor eficiencia, confiabilidad y la capacidad de adaptarse rápidamente a los avances tecnológicos futuros sin compromisos significativos en términos de rendimiento.

Finalmente, mientras que la reingeniería del Robot ABB 6400 puede mejorar su comportamiento dinámico y eficiencia operativa, no resulta rentable en comparación con la adquisición de un nuevo brazo robot debido a los mayores costos totales a lo largo de su vida útil, incluyendo la inversión inicial, costos operativos y mantenimiento. Optar por un equipo nuevo ofrece una solución más sostenible y rentable a largo plazo para satisfacer las necesidades industriales actuales y futuras.

RECOMENDACIONES

Basado en las conclusiones obtenidas del análisis comparativo entre la reingeniería del Robot ABB 6400 y la adquisición de un brazo robot nuevo, se derivan las siguientes recomendaciones:

- Considerar la adquisición de un brazo robot nuevo: Dado que la reingeniería del Robot ABB 6400 no resultó ser la opción más rentable a largo plazo debido a los altos costos operativos proyectados, se recomienda considerar seriamente la adquisición de un brazo robot nuevo. Esto aseguraría la integración de tecnologías de última generación y reduciría los riesgos asociados con la obsolescencia tecnológica a largo plazo.
- Evaluar las necesidades específicas de la operación: Antes de tomar una decisión final, es crucial evaluar las necesidades específicas de la operación industrial. Esto incluye considerar la carga de trabajo, los requisitos de precisión y la capacidad de adaptación a futuras innovaciones tecnológicas. Esta evaluación ayudará a determinar cuál opción, entre reingeniería y adquisición nueva, mejor se alinea con los objetivos estratégicos y operativos a largo plazo de la empresa.
- Planificar el ciclo de vida y los costos operativos: Independientemente de la opción seleccionada, es fundamental realizar una planificación detallada del ciclo de vida del equipo y los costos operativos asociados. Esto incluye estimar los gastos de mantenimiento, actualizaciones futuras y la disponibilidad de repuestos a lo largo de la vida útil del equipo. Estos factores garantizarán una gestión eficiente y económica de los recursos a largo plazo.
- Considerar la sostenibilidad y la eficiencia energética: Al evaluar las opciones, se debe tener en cuenta el impacto ambiental y la eficiencia energética de ambos enfoques. Optar por equipos que minimicen el consumo de energía y reduzcan la huella de carbono puede proporcionar beneficios adicionales a la empresa en términos de sostenibilidad y cumplimiento de regulaciones ambientales.
- Consultar con expertos en automatización y tecnología: Para tomar una decisión informada, se recomienda consultar con expertos en automatización y tecnología industrial. Estos profesionales pueden proporcionar insights valiosos sobre las tendencias del mercado, la evolución tecnológica y las mejores prácticas en la implementación de equipos robóticos avanzados.

REFERENCIAS

Bibliografía

- [1] M. Jara y M. Pacheco, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO, PARA EL MONTAJE DE TAPA Y/O PASADOR, EN EL PROCESO DE PALETIZADO.,» 2020. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/User/Downloads/108T0078.pdf>.
- [2] D. Drucioc y A. García, «EVOLUCIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN Y SUS CONSECUENCIAS EN EL MERCADO LABORAL,» 2021. [En línea]. Available: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/25682/Evolucion%20de%20la%20automatizacion%20y%20sus%20consecuencias%20en%20el%20mercado%20laboral..pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [3] D. Arias, Elaboración de un prototipo de brazo robótico Industrial Didactico Automatizado para proceso de soldadura GMAW, Riobamba, 2016.
- [4] W. M. Cristian Fuentes, Diseño y construcción de un prototipo de brazo robótico soldador de superficies planas para el proceso de soldadura GMAW, optimizando topologicamente los elementos estructurales del robot, Quevedo, 2020.
- [5] N. García, «La robótica como recurso tecnológico para desarrollar habilidades blandas en los estudiantes de educación básica: Revisión sistemática,» 2020. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7737560.pdf>.
- [6] P. Bonilla, «“DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL DE ROBOTS BASADOS EN INDUSTRIA 4.0”,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31221/1/t1698id.pdf>.
- [7] L. Loor, S. Pibaque y P. Moreira, «La robótica educativa una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias,» 2022. [En línea]. Available: <https://revistas.unesum.edu.ec/rclideres/index.php/rc1/article/download/8/6>.
- [8] M. Sanunga, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA APLICACION INFORMATICA PARA EL SEGUIMIENTO CLINICO DENTAL DEL DEPARTAMENTO ODONTOLOGICO DE LA UTB,» 2019. [En línea]. Available: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/4144>.
- [9] A. Muñoz, «ROBOTIC AUTOMATION OF BUSINESS PROCESS,» 2021. [En línea]. Available: <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/23469/Mu%C3%B1oz%20Rivas%20Abel%20Memoria.pdf?sequence=1>.
- [10] A. Vinueza y D. Vera, «Reingeniería de procesos de producción de la empresa Cerrajería Artística Vera y la comercialización. Riobamba,» 2022. [En línea]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9181>.

- [11] C. Bernúdez, «AUTOMATIZACIÓN ROBÓTICA DE PROCESOS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA,» 2020. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8160054.pdf>.
- [12] A. Solis y J. Hurtado, «Reutilización de software en la robótica industrial: un mapeo sistemático,» 2020. [En línea]. Available: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151142/Solis%3BHurtado%20-%20Reutilizaci%C3%B3n%20de%20software%20en%20la%20rob%C3%B3tica%20industrial%3A%20un%20mapeo%20sistem%C3%A1tico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [13] D. Limaco, «EL IMPACTO DEL USO DE LA AUTOMATIZACIÓN ROBÓTICA,» 2021. [En línea]. Available: https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/14085/Limaco_Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [14] ABB GROUP, «Propiedad del robot del cliente remanufacturado,» 2020. [En línea]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots/autonomous-mobile-robots/industrias/logistica>.
- [15] C. ROBOTS, «CFZ ROBOTS,» 11 07 2022. [En línea]. Available: <https://cfzcobots.com/10-aplicaciones-que-pueden-desarrollar-los-cobots-en-tu-empresa/>. [Último acceso: 03 11 2023].
- [16] R. plus, «Robot plus,» 12 11 2019. [En línea]. Available: <https://robotplus.es/los-robots-cartesianos-que-son/>.
- [17] R. 401, «Loctite Teroson,» 15 08 2019. [En línea]. Available: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/mascara-de-soldar-automatica-como-se-puede-usar#:~:text=M%C3%A1scara%20de%20soldar-,La%20importancia%20de%20la%20m%C3%A1scara%20de%20soldar%20autom%C3%A1tica,efecto%20de%20la%20luz%20ultravioleta..>
- [18] USEDROBOTSTRADÉ, «USEDROBOTSTRADÉ,» [En línea]. Available: <https://usedrobotstrade.com/es/abb-irb-6400-m94a-m96>. [Último acceso: 03 11 2023].
- [19] H. Sossa y F. Reyes, «INTELIGENCIA ARTIFICIAL,» 2023. [En línea]. Available: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788426733603_A42096275/preview-9788426733603_A42096275.pdf.
- [20] MinaLearn, «Introducción a la robótica y la automatización,» 2021. [En línea]. Available: <https://courses.minnalearn.com/es/courses/emerging-technologies/robotics-and-automation/introduction-to-robotics-and-automation/>.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz presupuestaria

PROVEEDOR	MODELO	PRECIO APROXIMADO	DETALLES
ROBOTS.COM	ABB IRB 6400	\$25,000 USD	Incluye reacondicionamiento y garantía, 6 ejes, capacidad de carga de 200 kg, alcance de 2900 mm (T.I.E. Industrial).
ICR SERVICES	ABB IRB 6400 con S4C	\$48,000 USD	Versión con controlador S4C, múltiples aplicaciones, posibilidad de control de ejes externos (ICR Services).
ROBODK	ABB IRB 6400R 2.8 200	\$50,000 USD	Modelo con 200 kg de carga útil, 2800 mm de alcance, precisión de 0.1 mm, ideal para manufactura aditiva y manipulación de materiales (RoboDK).

Anexo 2 Formato de entrevista

Entrevista Semiestructurada: Evaluación de Viabilidad Técnica y Operativa de la Reingeniería del Robot ABB 6400

Información del Entrevistado:

- Nombre:
- Cargo/Ocupación:
- Empresa/Organización:

Preguntas:

1. ¿Cuál es su opinión sobre la viabilidad técnica de la reingeniería del Robot ABB 6400 en términos de actualización de componentes y tecnologías?
2. ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos que podrían surgir al implementar la reingeniería del robot en su contexto específico?
3. ¿Qué recursos técnicos adicionales serían necesarios para llevar a cabo con éxito la reingeniería del robot?
4. ¿Cómo cree que la reingeniería del Robot ABB 6400 afectaría la interoperabilidad con otros sistemas y equipos en su entorno de producción?

5. ¿Cuáles son las implicaciones operativas más importantes para considerar al planificar la reingeniería del robot?
6. ¿Cómo cree que la reingeniería del robot afectaría la eficiencia y productividad de las operaciones en su empresa/organización?
7. ¿Existen riesgos específicos asociados con la reingeniería del robot que considere críticos para el éxito del proyecto?

Observaciones Finales:

- ¿Hay algún otro comentario o información relevante que le gustaría agregar sobre la viabilidad técnica y operativa de la reingeniería del Robot ABB 6400?

Anexo 3 *Estado inicial del robot*



Estado inicial del robot



Comparación con una persona



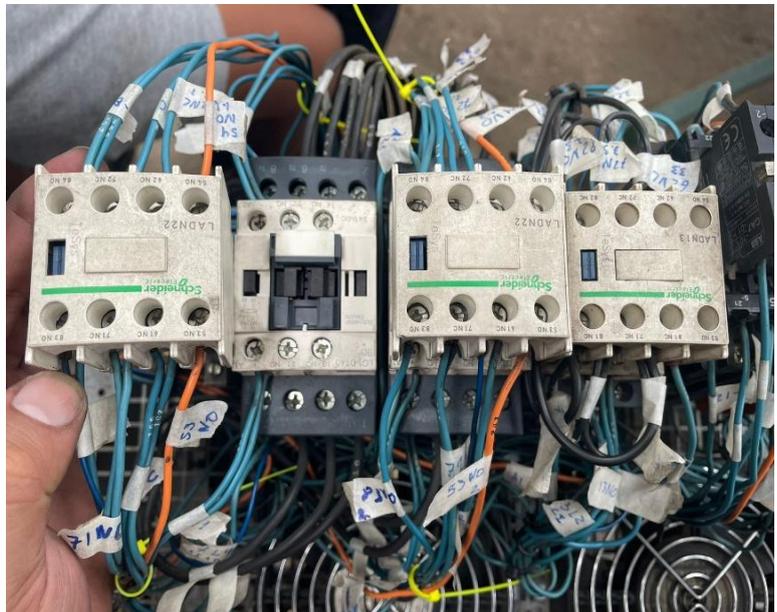
Estado inicial del tablero de control



Después de la limpieza



Estado de motores e inspección visual



Marquillado de los cables para darles seguimiento



Los motores prácticamente están nuevos

Cables internos del robot



En esta sección el cable está cortado lo que impide la comunicación entre en el robot y el control, aproximadamente son 60 hilos. Es uno de los inconvenientes de no poder utilizarlo ya que se tardaría mucho tiempo en encontrar el hilo correspondiente, por ello se dio por utilizar una nueva lógica de conexión

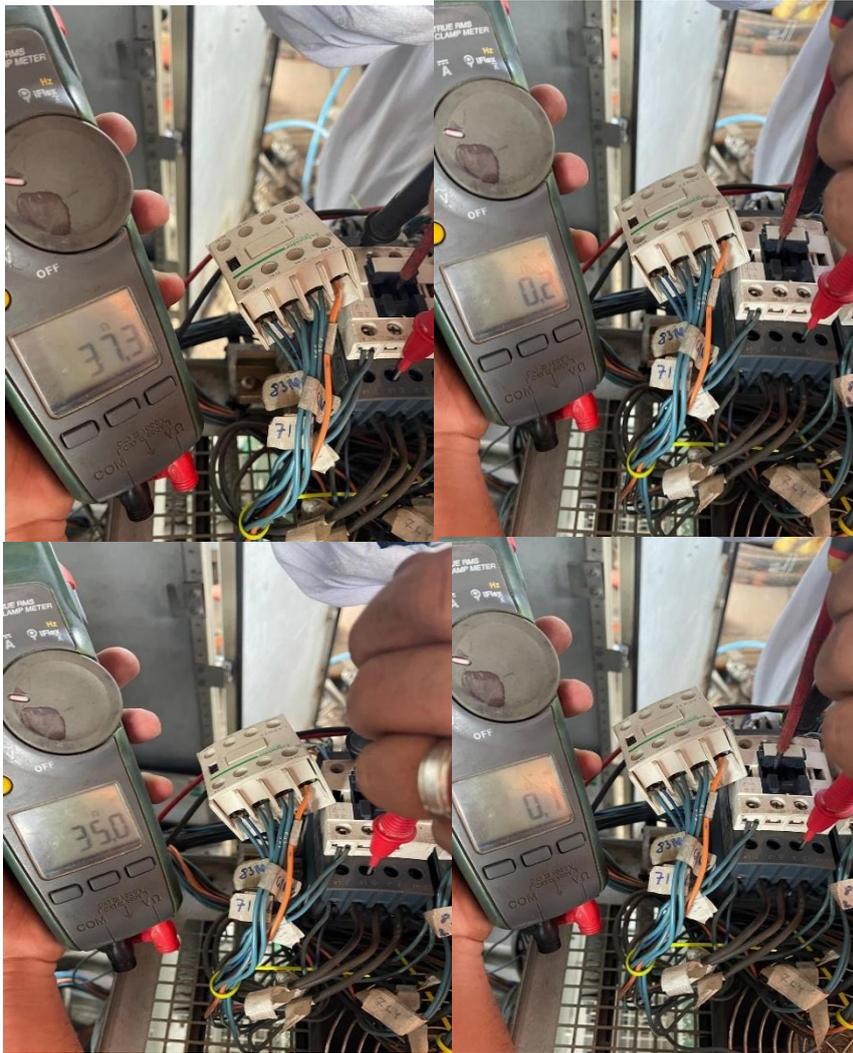


Mediante esta botonera se pudo levantar, pero por la falla de los cables cortados no permite bajarle nuevamente

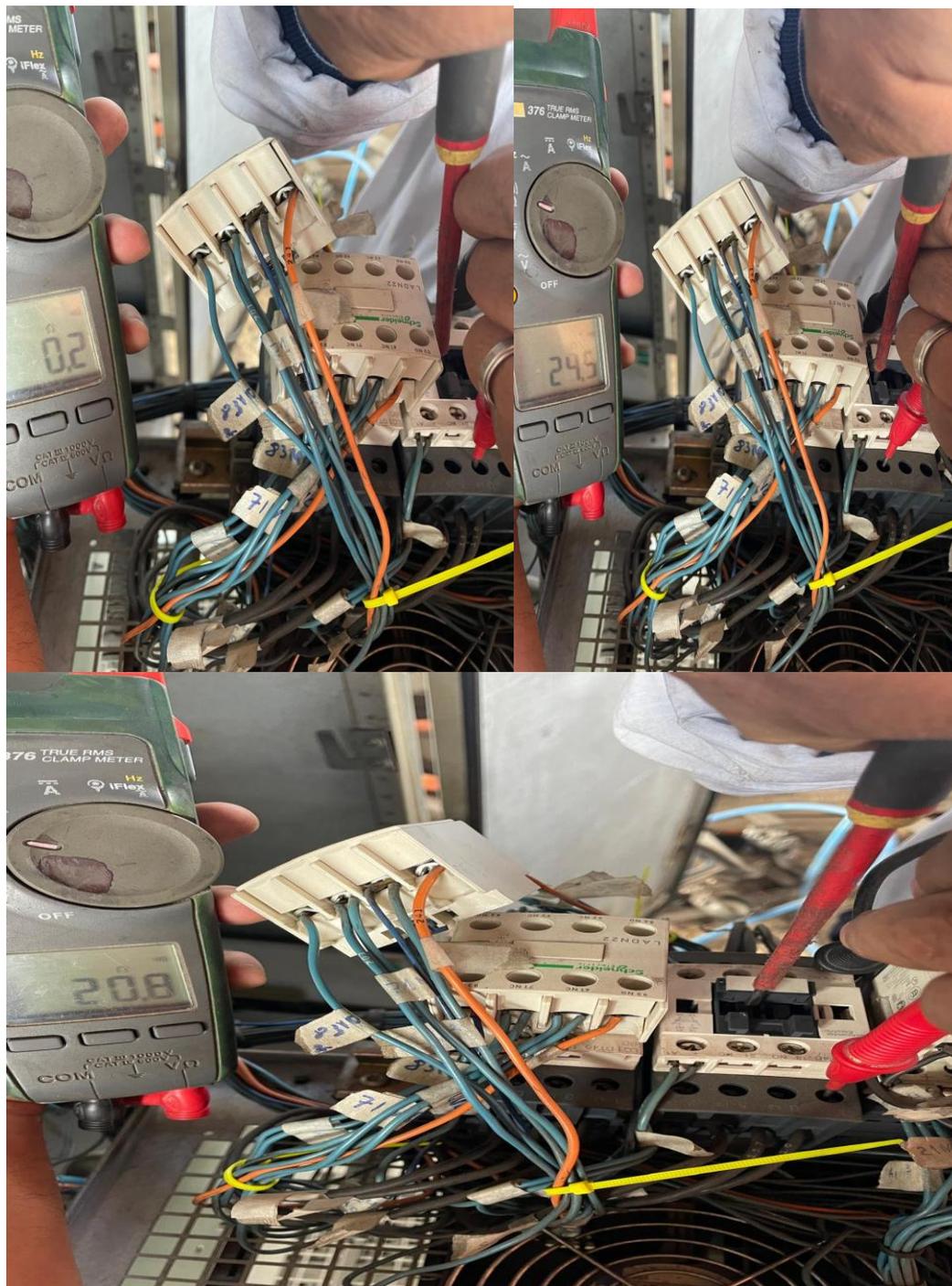


A excepción de esos cortes de los cables la estructura interna de igual forma el cableado está en buenas condiciones esto se ve en los anexos

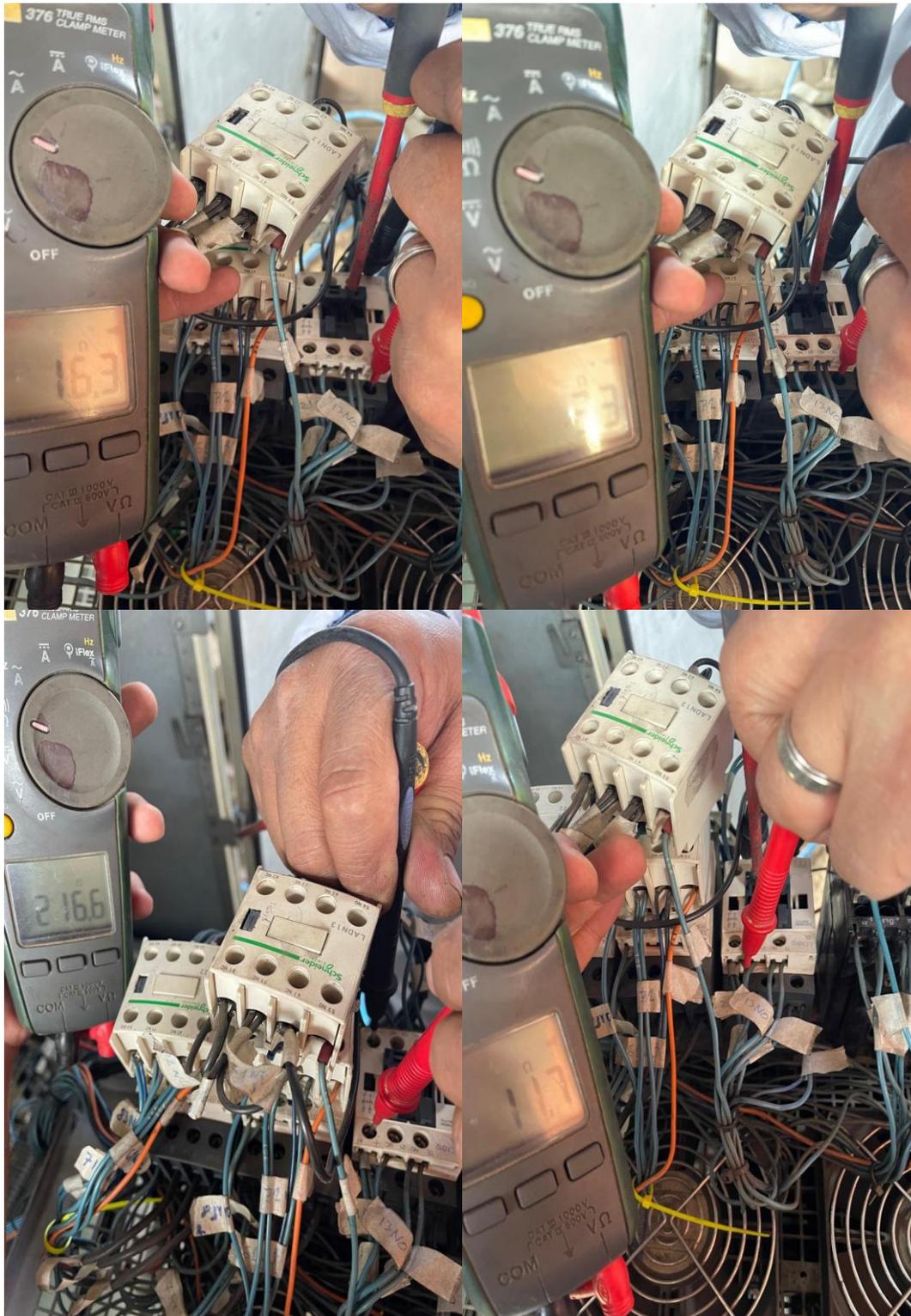
Anexo 4 Contactor 1

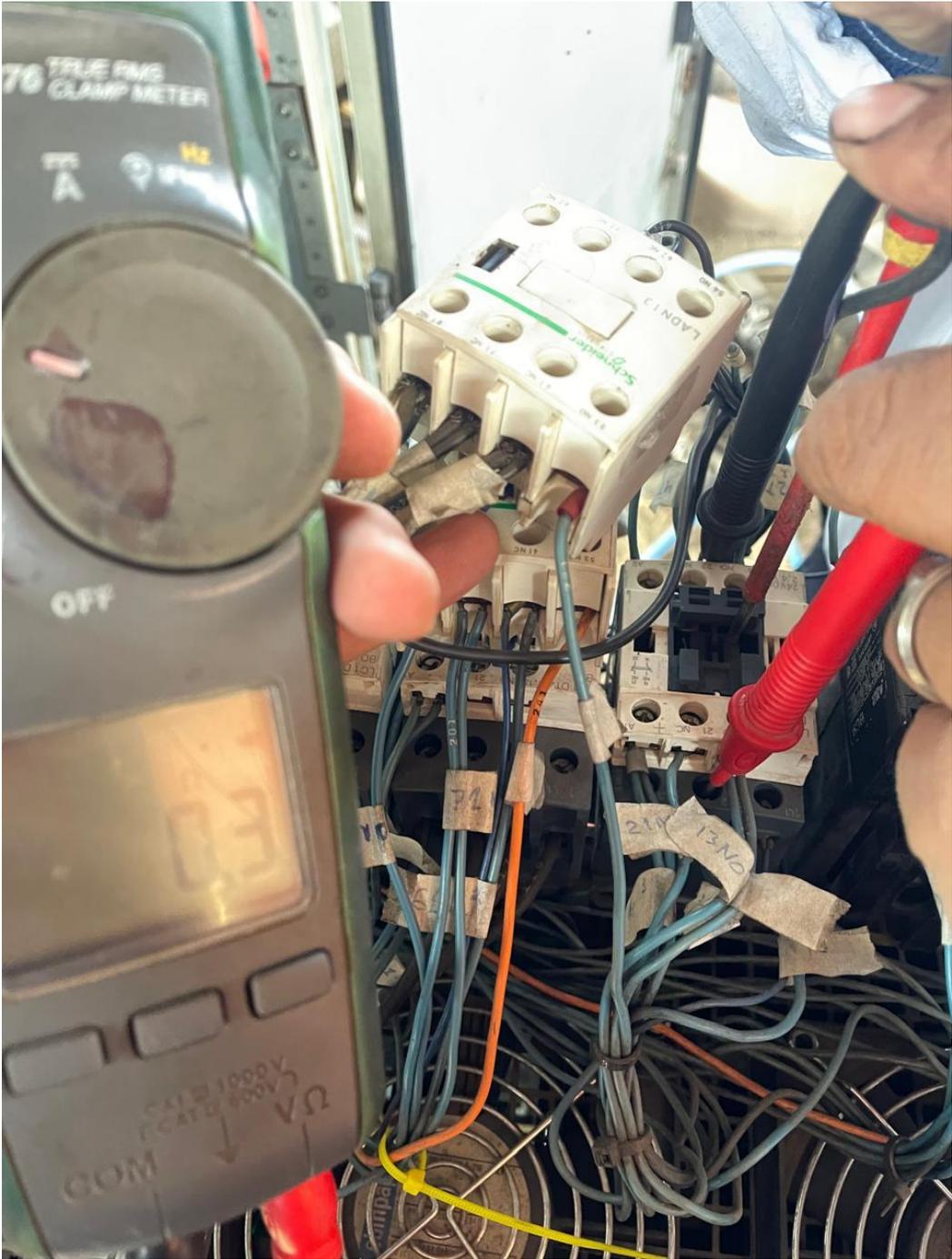


Anexo 5 Contactor 2

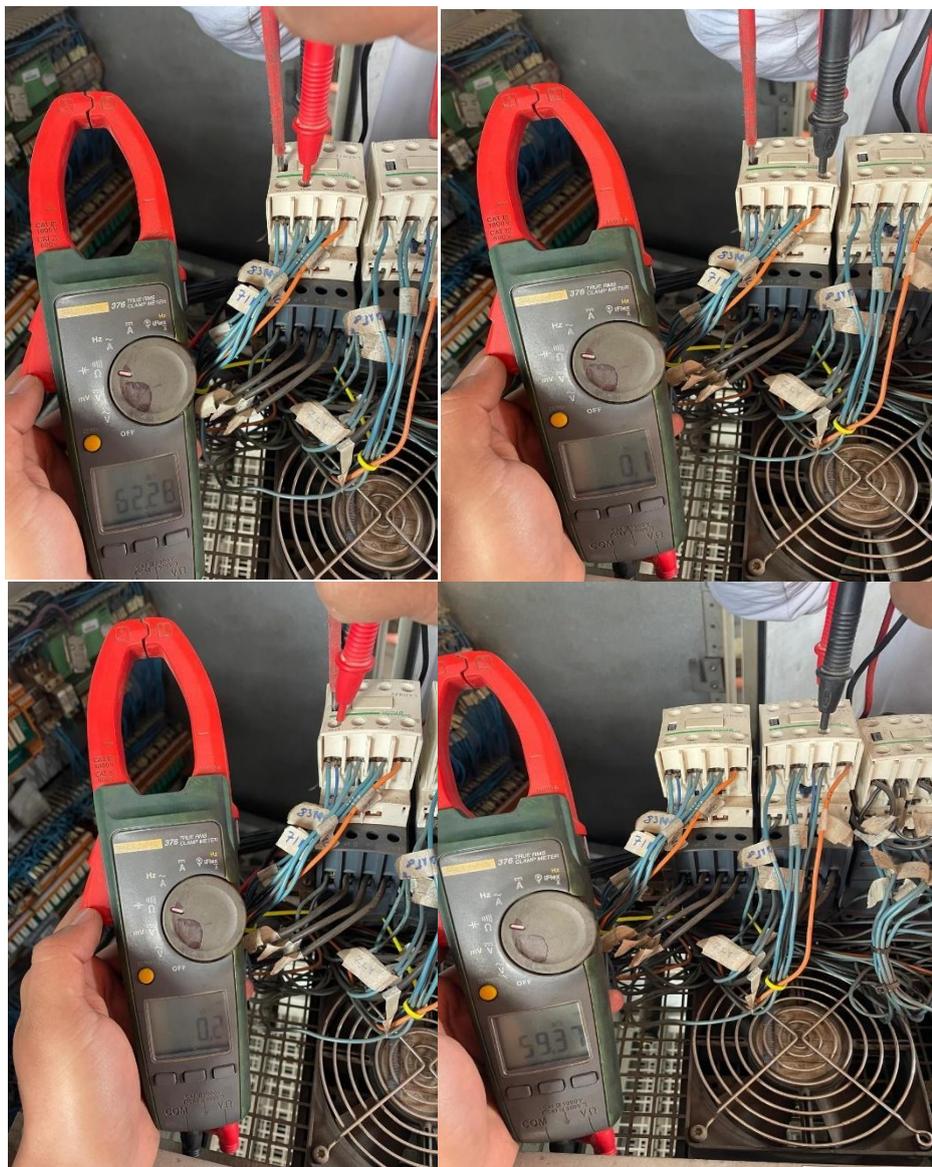


Anexo 6 Contactor 3



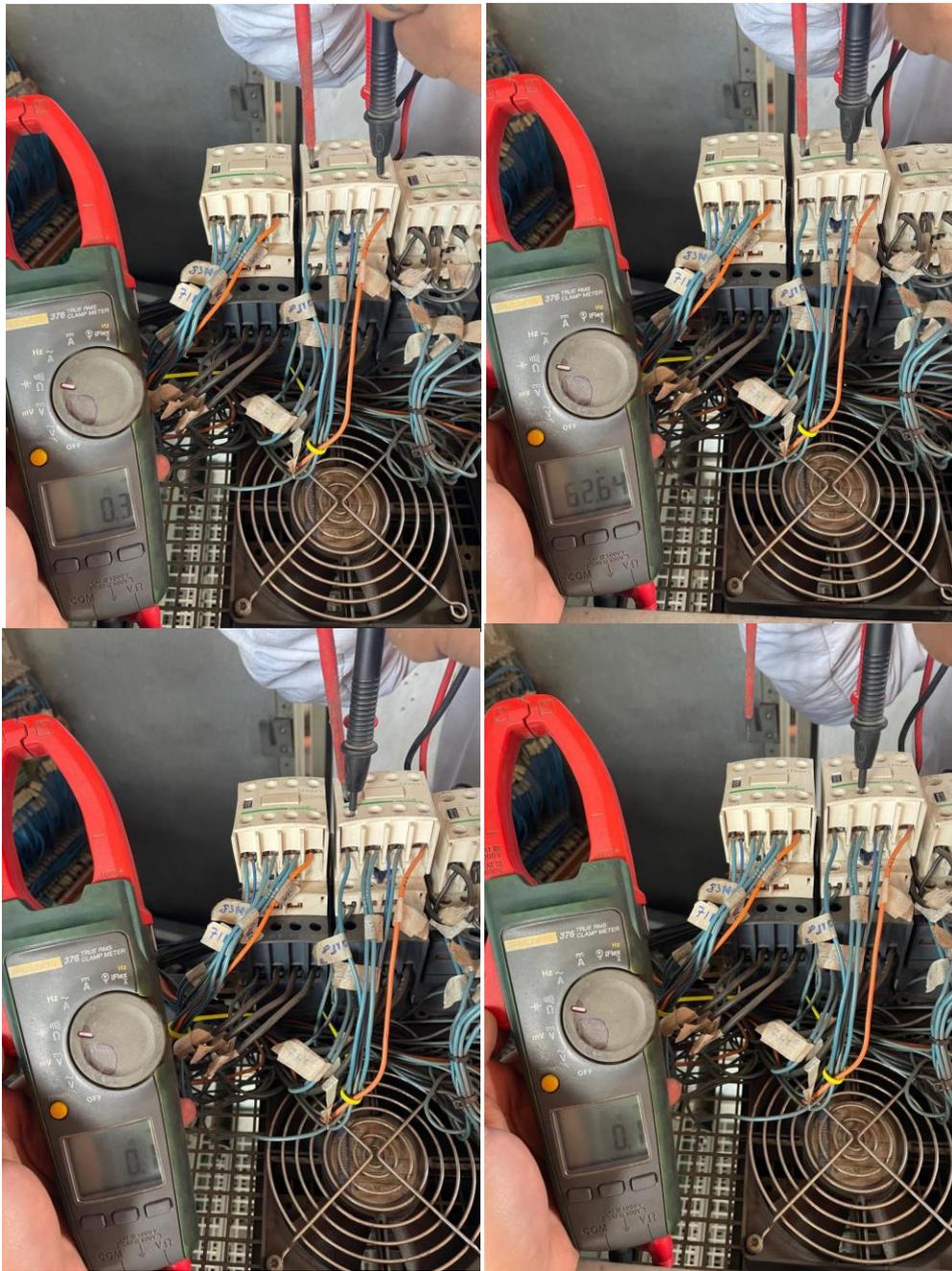


Anexo 7 Relé auxiliar 1

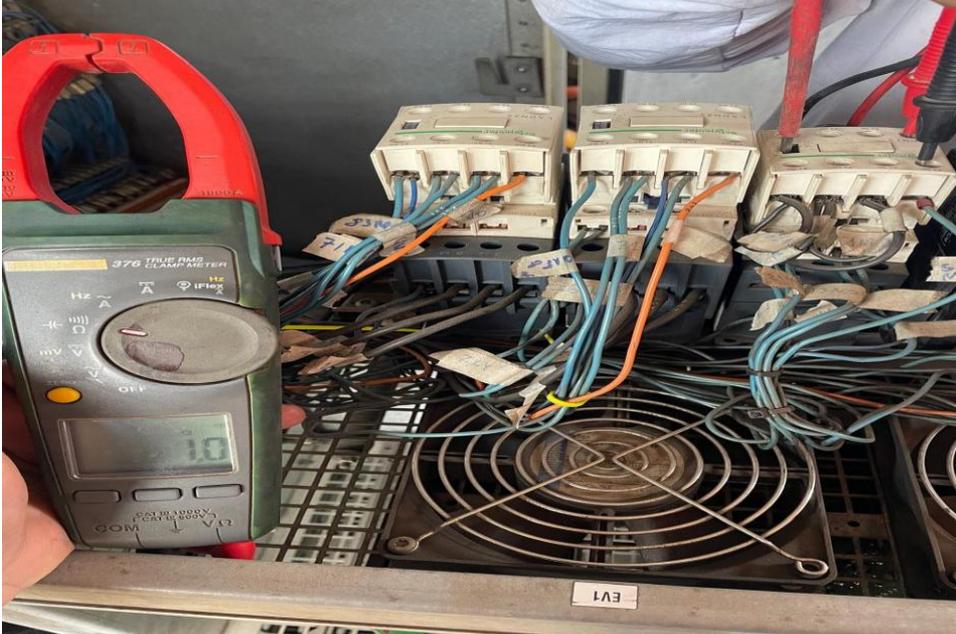
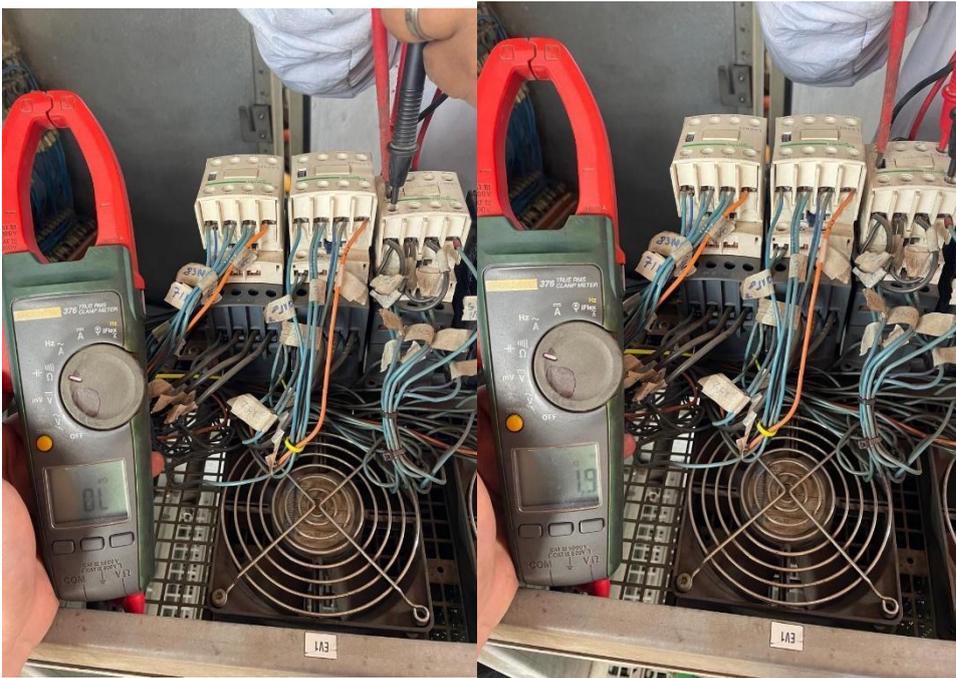


Anexo 8 Relé auxiliar 2

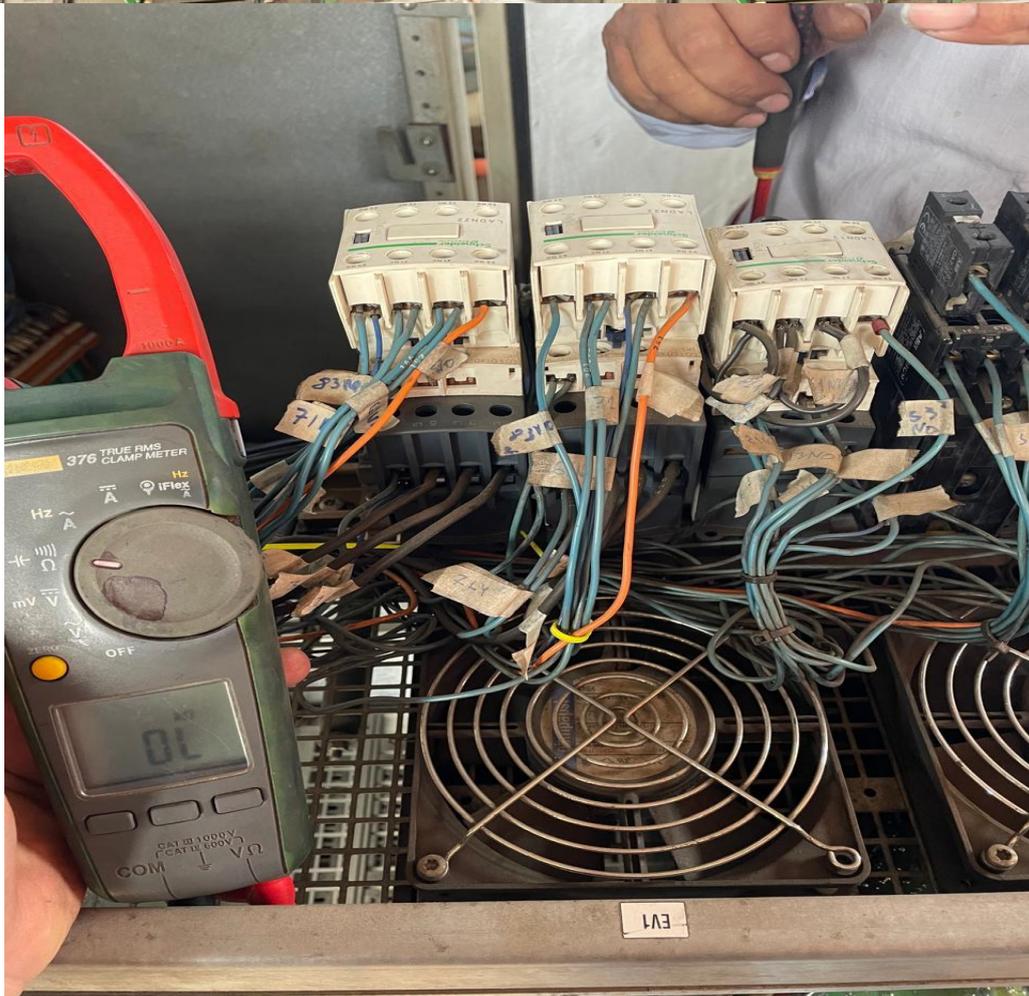
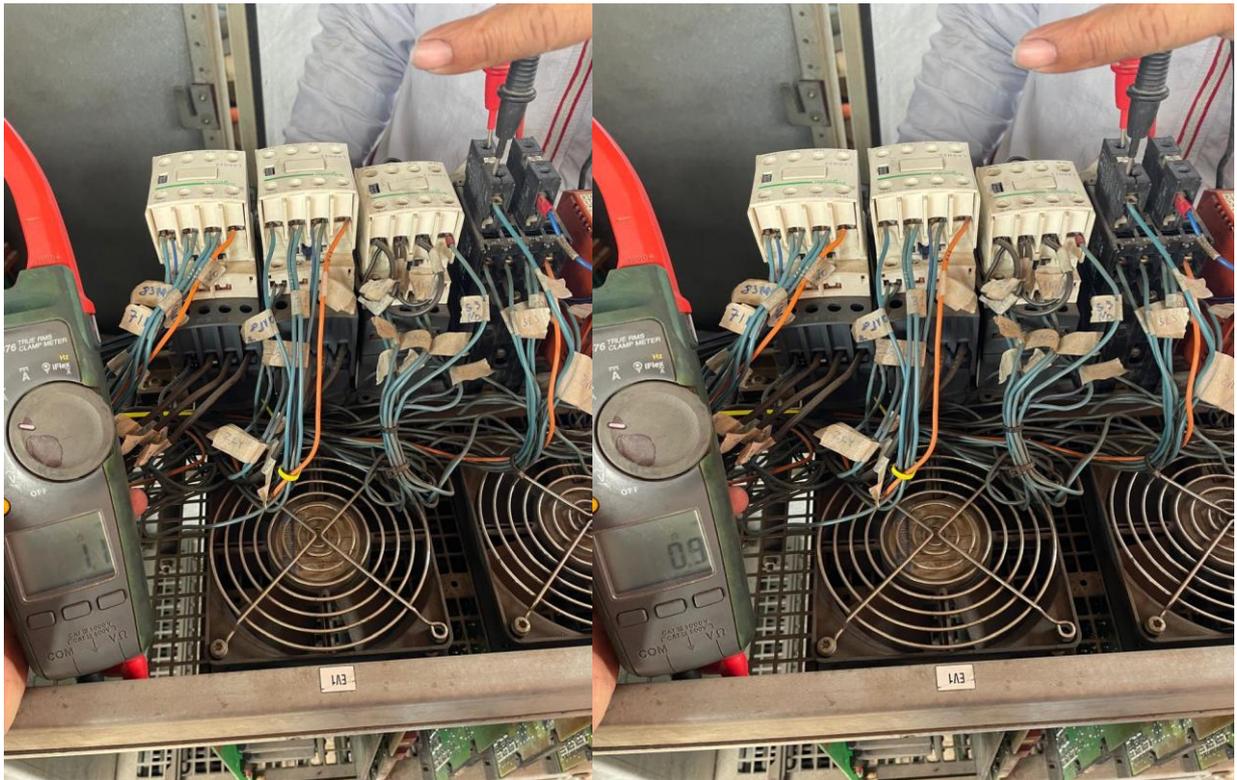
Anexo 8 contactor 8

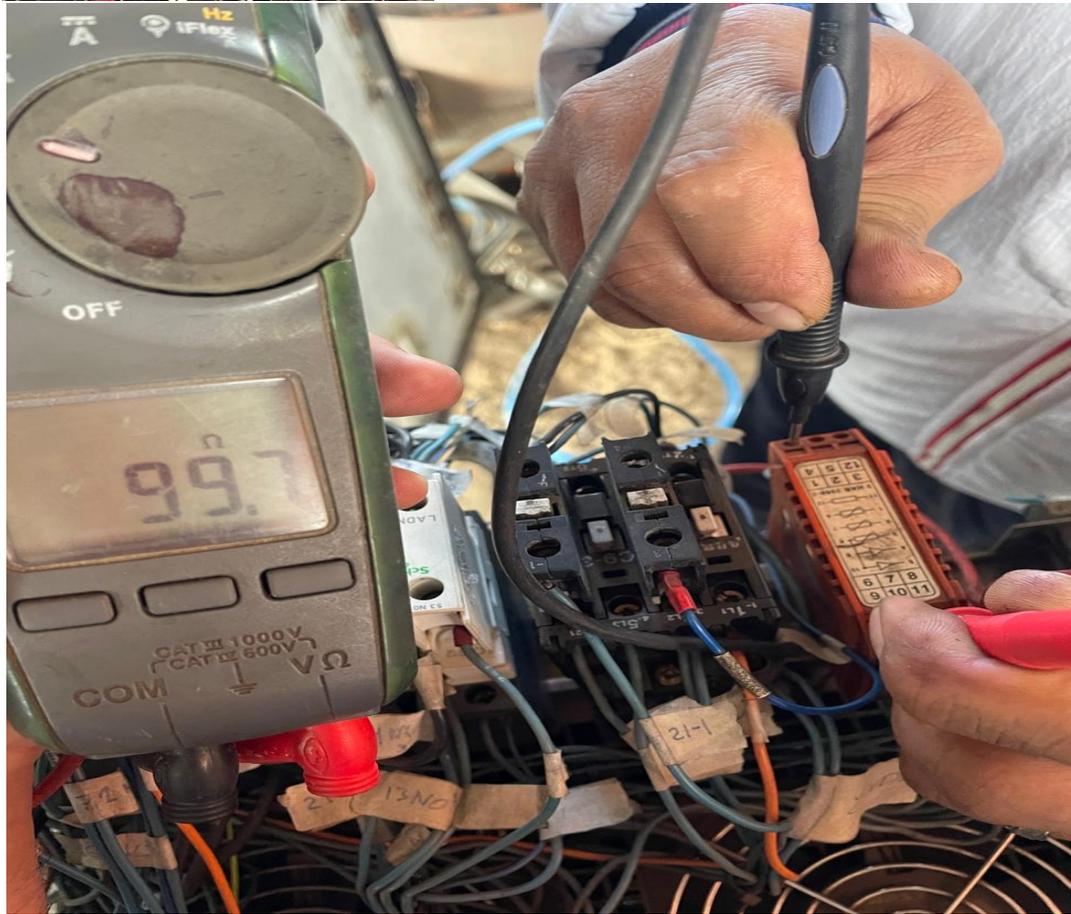


Anexo 9 Relé auxiliar 3

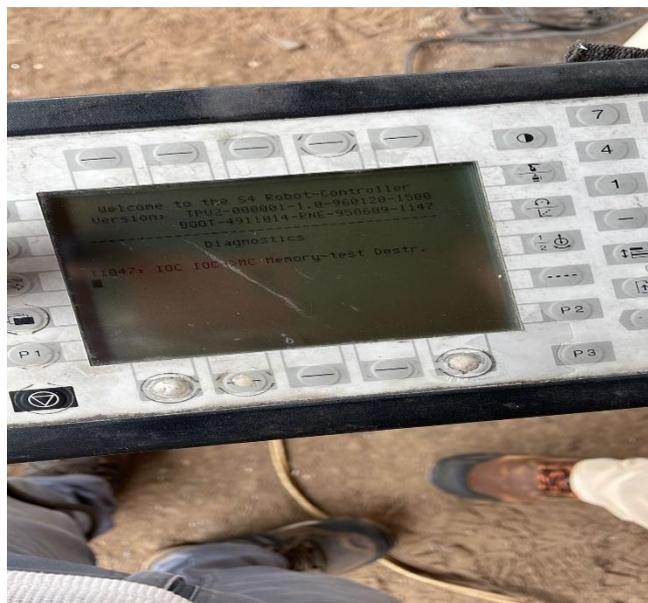


Anexo 10 Relé Auxiliar 4





Anexo 11 Error del teach pendant, diagnóstico del ROBOT



Anexo 12 Código de MATLAB controlando ROBODK

a. Ejecución del código para la comunicación de los dos programas.

```
classdef Robolink < handle
    properties (Constant)

        % Tree item types
        ITEM_TYPE_STATION = 1;
        ITEM_TYPE_ROBOT = 2;
        ITEM_TYPE_FRAME = 3;
        ITEM_TYPE_TOOL = 4;
        ITEM_TYPE_OBJECT = 5;
        ITEM_TYPE_TARGET = 6;
        ITEM_TYPE_CURVE = 7;
        ITEM_TYPE_PROGRAM = 8;
        ITEM_TYPE_INSTRUCTION = 9;
        ITEM_TYPE_PROGRAM_PYTHON = 10;
        ITEM_TYPE_MACHINING = 11;
        ITEM_TYPE_BALLBARVALIDATION = 12;
        ITEM_TYPE_CALIBPROJECT = 13;
        ITEM_TYPE_VALID_ISO9283 = 14;
        ITEM_TYPE_FOLDER = 17;
        ITEM_TYPE_ROBOT_ARM = 18;
        ITEM_TYPE_CAMERA = 19;
        ITEM_TYPE_GENERIC = 20;
        ITEM_TYPE_ROBOT_AXES = 21;
        ITEM_TYPE_NOTES = 22;

        % Instruction types
        INS_TYPE_INVALID = -1;
        INS_TYPE_MOVE = 0;
        INS_TYPE_MOVEEC = 1;
        INS_TYPE_CHANGESPEED = 2;
        INS_TYPE_CHANGEFRAME = 3;
        INS_TYPE_CHANGETOOL = 4;
        INS_TYPE_CHANGEROBOT = 5;
        INS_TYPE_PAUSE = 6;
        INS_TYPE_EVENT = 7;
        INS_TYPE_CODE = 8;
        INS_TYPE_PRINT = 9;
        INS_TYPE_ROUNDING = 10;

        % Move types
        MOVE_TYPE_INVALID = -1;
        MOVE_TYPE_JOINT = 1;
        MOVE_TYPE_LINEAR = 2;
        MOVE_TYPE_CIRCULAR = 3;
        MOVE_TYPE_LINEARSEARCH = 5;

        % Station parameters request
        PATH_OPENSTATION = 'PATH_OPENSTATION';
        FILE_OPENSTATION = 'FILE_OPENSTATION';
        PATH_DESKTOP = 'PATH_DESKTOP';

        % Script execution types
        RUNMODE_SIMULATE = 1;
        RUNMODE_QUICKVALIDATE = 2;
        RUNMODE_MAKE_ROBOTPROG = 3;
```

```
RUNMODE_MAKE_ROBOTPROG_AND_UPLOAD = 4;  
RUNMODE_MAKE_ROBOTPROG_AND_START = 5;  
RUNMODE_RUN_ROBOT = 6;
```

% Program execution type

```
PROGRAM_RUN_ON_SIMULATOR = 1;  
PROGRAM_RUN_ON_ROBOT = 2;
```

% Robot connection status

```
ROBOTCOM_PROBLEMS = -3;  
ROBOTCOM_DISCONNECTED = -2;  
ROBOTCOM_NOT_CONNECTED = -1;  
ROBOTCOM_READY = 0;  
ROBOTCOM_WORKING = 1;  
ROBOTCOM_WAITING = 2;  
ROBOTCOM_UNKNOWN = -1000;
```

% TCP calibration types

```
CALIBRATE_TCP_BY_POINT = 0;  
CALIBRATE_TCP_BY_PLANE = 1;  
CALIBRATE_TCP_BY_PLANE_SCARA = 4;
```

% Reference frame calibration methods

```
CALIBRATE_FRAME_3P_P1_ON_X = 0;  
CALIBRATE_FRAME_3P_P1_ORIGIN = 1;  
CALIBRATE_FRAME_6P = 2;  
CALIBRATE_TURNTABLE = 3;  
CALIBRATE_TURNTABLE_2X = 4;
```

% projection types (for AddCurve)

```
PROJECTION_NONE = 0;  
PROJECTION_CLOSEST = 1;  
PROJECTION_ALONG_NORMAL = 2;  
PROJECTION_ALONG_NORMAL_RECALC = 3;
```

% Euler type

```
EULER_RX_RYp_RZpp = 0;  
EULER_RZ_RYp_RXpp = 1;  
EULER_RZ_RYp_RZpp = 2;  
EULER_RZ_RXp_RZpp = 3;  
EULER_RX_RY_RZ = 4;  
EULER_RZ_RY_RX = 5;  
EULER_QUEATERNION = 6;
```

% State of the RoboDK window

```
WINDOWSTATE_HIDDEN = -1;  
WINDOWSTATE_SHOW = 0;  
WINDOWSTATE_MINIMIZED = 1;  
WINDOWSTATE_NORMAL = 2;  
WINDOWSTATE_MAXIMIZED = 3;  
WINDOWSTATE_FULLSCREEN = 4;  
WINDOWSTATE_CINEMA = 5;  
WINDOWSTATE_FULLSCREEN_CINEMA = 6;  
WINDOWSTATE_VIDEO = 7;
```

% Instruction program call type:

```
INSTRUCTION_CALL_PROGRAM = 0;  
INSTRUCTION_INSERT_CODE = 1;  
INSTRUCTION_START_THREAD = 2;
```

```

INSTRUCTION_COMMENT = 3;
INSTRUCTION_SHOW_MESSAGE = 4;

% Object selection features
FEATURE_NONE = 0;
FEATURE_SURFACE = 1;
FEATURE_CURVE = 2;
FEATURE_POINT = 3;
FEATURE_OBJECT_MESH = 7;
FEATURE_SURFACE_PREVIEW = 8;
FEATURE_MESH = 9;
% The following do not require providing an object
FEATURE_HOVER_OBJECT_MESH = 10;
FEATURE_HOVER_OBJECT = 11;

% Spray gun simulation:
SPRAY_OFF = 0;
SPRAY_ON = 1;

% Collision checking state
COLLISION_OFF = 0
COLLISION_ON = 1

% RoboDK Window Flags
FLAG_ROBODK_TREE_ACTIVE = 1;
FLAG_ROBODK_3DVIEW_ACTIVE = 2;
FLAG_ROBODK_LEFT_CLICK = 4;
FLAG_ROBODK_RIGHT_CLICK = 8;
FLAG_ROBODK_DOUBLE_CLICK = 16;
FLAG_ROBODK_MENU_ACTIVE = 32;
FLAG_ROBODK_MENUFILE_ACTIVE = 64;
FLAG_ROBODK_MENUEEDIT_ACTIVE = 128;
FLAG_ROBODK_MENUPROGRAM_ACTIVE = 256;
FLAG_ROBODK_MENUTOOLS_ACTIVE = 512;
FLAG_ROBODK_MENUUTILITIES_ACTIVE = 1024;
FLAG_ROBODK_MENUCONNECT_ACTIVE = 2048;
FLAG_ROBODK_WINDOWKEYS_ACTIVE = 4096;
FLAG_ROBODK_TREE_VISIBLE = 8192;
FLAG_ROBODK_REFERENCES_VISIBLE = 16384;
FLAG_ROBODK_STATUSBAR_VISIBLE = 32768;
FLAG_ROBODK_NONE = 0;
FLAG_ROBODK_ALL = 65535;
FLAG_ROBODK_MENU_ACTIVE_ALL = 4064;

% RoboDK Item Flags
FLAG_ITEM_SELECTABLE = 1;
FLAG_ITEM_EDITABLE = 2;
FLAG_ITEM_DRAGALLOWED = 4;
FLAG_ITEM_DROPALLOWED = 8;
FLAG_ITEM_ENABLED = 32;
FLAG_ITEM_AUTOTRISTATE = 64
FLAG_ITEM_NOCHILDREN = 128
FLAG_ITEM_USERTRISTATE = 256
FLAG_ITEM_NONE = 0;
FLAG_ITEM_ALL = 64 + 32 + 8 + 4 + 2 + 1;

% Robot/mechanism types
MAKE_ROBOT_1R = 1;
MAKE_ROBOT_2R = 2;

```

```
MAKE_ROBOT_3R = 3;
MAKE_ROBOT_1T = 4;
MAKE_ROBOT_2T = 5;
MAKE_ROBOT_3T = 6;
MAKE_ROBOT_6DOF = 7;
MAKE_ROBOT_7DOF = 8;
MAKE_ROBOT_SCARA = 9;
MAKE_ROBOT_GRIPPER = 10;
MAKE_ROBOT_6COBOT = 11;
MAKE_ROBOT_1T1R = 12;
MAKE_ROBOT_5XCNC = 13;
MAKE_ROBOT_3T1R = 15;
MAKE_ROBOT_GENERIC = 16;
```

% Path Error bit mask

```
ERROR_KINEMATIC = 1;
ERROR_PATH_LIMIT = 2;
ERROR_PATH_SINGULARITY = 4;
ERROR_PATH_NEARSINGULARITY = 8;
ERROR_COLLISION = 32;
```

```
SELECT_RESET = -1;
SELECT_NONE = 0;
SELECT_RECTANGLE = 1;
SELECT_ROTATE = 2;
SELECT_ZOOM = 3;
SELECT_PAN = 4;
SELECT_MOVE = 5;
SELECT_MOVE_SHIFT = 6;
SELECT_MOVE_CLEAR = 7;
```

```
DISPLAY_REF_DEFAULT = -1;
DISPLAY_REF_NONE = 0;
DISPLAY_REF_TX = 1;
DISPLAY_REF_TY = 2;
DISPLAY_REF_TZ = 4;
DISPLAY_REF_RX = 8;
DISPLAY_REF_RY = 16;
DISPLAY_REF_RZ = 32;
DISPLAY_REF_PXY = 64;
DISPLAY_REF_PXZ = 128;
DISPLAY_REF_PYZ = 256;
```

```
VISIBLE_REFERENCE_DEFAULT = -1;
VISIBLE_REFERENCE_ON = 1;
VISIBLE_REFERENCE_OFF = 0;
VISIBLE_ROBOT_NONE = 0;
VISIBLE_ROBOT_FLANGE = 1;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_Base_3D = 2;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_Base_REF = 4;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_1_3D = 8;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_1_REF = 16;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_2_3D = 32;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_2_REF = 64;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_3_3D = 128;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_3_REF = 256;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_4_3D = 512;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_4_REF = 1024;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_5_3D = 2048;
```

```

VISIBLE_ROBOT_AXIS_5_REF = 4096;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_6_3D = 2 * 4096;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_6_REF = 4 * 4096;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_7_3D = 8 * 4096;
VISIBLE_ROBOT_AXIS_7_REF = 16 * 4096;
VISIBLE_ROBOT_DEFAULT = 715827883;
VISIBLE_ROBOT_ALL = 2147483647;
VISIBLE_ROBOT_ALL_REFS = 357913941;

% ShowSequence() display type flags (use as mask)
SEQUENCE_DISPLAY_DEFAULT = -1;
SEQUENCE_DISPLAY_TOOL_POSES = 0;
SEQUENCE_DISPLAY_ROBOT_POSES = 256;
SEQUENCE_DISPLAY_ROBOT_JOINTS = 2048;
SEQUENCE_DISPLAY_COLOR_SELECTED = 1;
SEQUENCE_DISPLAY_COLOR_TRANSPARENT = 2;
SEQUENCE_DISPLAY_COLOR_GOOD = 3;
SEQUENCE_DISPLAY_COLOR_BAD = 4;
SEQUENCE_DISPLAY_OPTION_RESET = 1024;
end

properties
    APPLICATION_DIR = 'C:\RoboDK\bin\RoboDK.exe';
    COM = 0;
    TIMEOUT = 5;
end

properties (GetAccess = 'private', SetAccess = 'private')
end

end

```

b. Ejecución del código “ROBODKLINK”, para el reconocimiento de los ítems de ROBODK.

```

classdef RobolinkItem < handle

    properties (Constant)

    end

    properties
        item = 0;
        link = 0;
        type = 0;
    end

    methods

        function this = RobolinkItem(rl, ptr_item, itemtype)

            if nargin < 2
                ptr_item = 0;
            end
        end
    end
end

```

```

    if nargin < 3
        itemtype = -1;
    end

    this.item = ptr_item;
    this.link = r1;
    this.type = itemtype;
end

function rdk = RDK(this)

    rdk = this.link;
end

function type = Type(this)

    this.link.check_connection();
    command = 'G_Item_Type';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    type = this.link.rec_int();
    this.link.check_status();
end

function Copy(this)

    this.link.Copy(this);
end

function newitem = Paste(this)
as Ctrl+V)
    % Paste the item from the clipboard as a child of this item (same
    % Out 1: item -> new item pasted (created)
    newitem = this.link.Paste(this.item);
end

function newitem = AddFile(this, filename)
    % Adds an object attached to this object
    newitem = this.link.AddFile(filename, this.item);
end

function Save(this, filename)

    this.link.Save(filename, this.item)
end

function collision = Collision(this, item_check)

    collision = this.link.Collision(this.item, item_check);
end

function is_inside = IsInside(this, object)

    is_inside = this.link.IsInside(this.item, object);
end

function AddGeometry(this, fromitem, pose)

    this.link.check_connection();

```

```

        command = 'CopyFaces';
        this.link.send_line(command);
        this.link.send_item(fromitem);
        this.link.send_item(this);
        this.link.send_pose(pose);
        this.link.check_status();
    end

function Delete(this)

    this.link.check_connection();
    command = 'Remove';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.check_status();
end

function valid = Valid(this, check_deleted)

    if nargin < 2
        check_deleted = 0;
    end

    valid = (this.item ~= 0);

    if check_deleted
        valid = this.Type() >= 0;
    end
end

function setParent(this, parent)

    this.link.check_connection();
    command = 'S_Parent';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.send_item(parent);
    this.link.check_status();
end

function setParentStatic(this, parent)

    this.link.check_connection();
    command = 'S_Parent_Static';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.send_item(parent);
    this.link.check_status();
end

function item_attached = AttachClosest(this)

    this.link.check_connection();
    command = 'Attach_Closest';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    item_attached = this.link.rec_item();
    this.link.check_status();
end

```



```

    this.link.check_connection();
    command = 'G_Visible';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    visible = this.link.rec_int();
    this.link.check_status();
end

function setVisible(this, visible, visible_frame)

    if nargin < 3
        visible_frame = visible;
    end

    this.link.check_connection();
    command = 'S_Visible';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.send_int(visible);
    this.link.send_int(visible_frame);
    this.link.check_status();
end

function name = Name(this)

    this.link.check_connection();
    command = 'G_Name';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    name = this.link.rec_line();
    this.link.check_status();
end

function setName(this, name)

    this.link.check_connection();
    command = 'S_Name';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.send_line(name);
    this.link.check_status();
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function setValue(this, varname, value)

    this.link.check_connection();

    if isa(value, 'double')
        command = 'S_Gen_Mat';
        this.link.send_line(command);
        this.link.send_item(this);
        this.link.send_line(varname);
        this.link.send_matrix(value);
    else
        command = 'S_Gen_Str';
        this.link.send_line(command);
        this.link.send_item(this);
        this.link.send_line(varname);
    end
end

```

```

        this.link.send_line(value);
    end

    this.link.check_status();
end

function setPose(this, pose)

    this.link.check_connection();
    command = 'S_Hlocal';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.send_pose(pose);
    this.link.check_status();
end

function pose = Pose(this)

    this.link.check_connection();
    command = 'G_Hlocal';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    pose = this.link.rec_pose();
    this.link.check_status();
end

function setGeometryPose(this, pose, apply)

    if nargin < 3
        apply = 0;
    end

    this.link.check_connection();
    command = 'S_Hgeo2';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.send_pose(pose);
    this.link.send_int(apply > 0);
    this.link.check_status();
end

function pose = GeometryPose(this)

    this.link.check_connection();
    command = 'G_Hgeom';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    pose = this.link.rec_pose();
    this.link.check_status();
end

function setPoseAbs(this, pose)

    this.link.check_connection();
    command = 'S_Hlocal_Abs';
    this.link.send_line(command);
    this.link.send_item(this);
    this.link.send_pose(pose);
    this.link.check_status();
end

```

```
this.link.send_line(value);
```

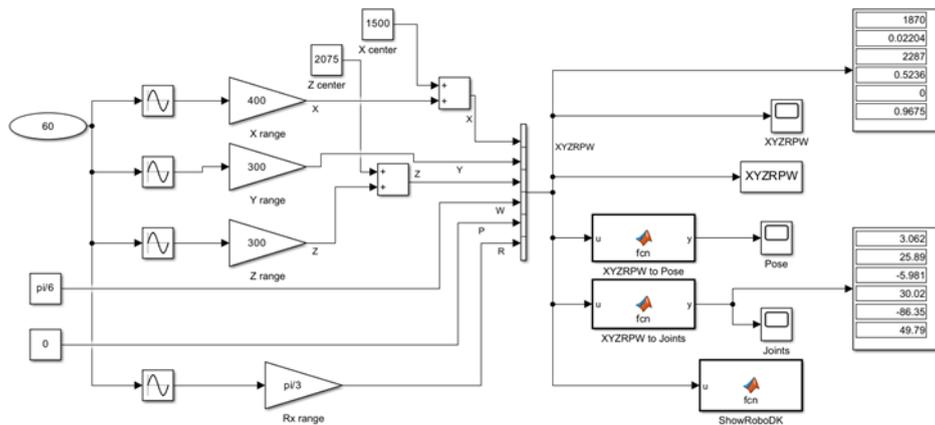
```
function pose = PoseAbs(this)
```

```
this.link.check_connection();
command = 'G_Hlocal_Abs';
this.link.send_line(command);
this.link.send_item(this);
pose = this.link.rec_pose();
this.link.check_status();
```

```
end
```

```
end
```

c. Simulación con SIMULINK para el posicionamiento inicial.



Ejecución del diagrama de bloques para el posicionamiento inicial del robot.

pos.	2.4		2.8-120		3.0-75		PE/2.25-75		pos.	eje 2 (φ_2)	eje 3 (φ_3)
	-120	-150	-200	x	Z	x	Z	x			
0	1488	2075	1892	2075	2094	2075	1338	2075	0	0	0
1	388	2034	695	2224	873	2318	205	1963	-70	-28	
2	571	1563	974	1598	1175	1615	421	1549	-70	-5	
3	680	314	575	-77	523	-271	718	459	40	105	
4	962	-89	857	-479	805	-674	1000	56	70	105	
5	2395	1336	2798	1300	2999	1283	2246	1349	70	5	
6	1802	2467	2159	2657	2337	2752	1669	2397	37	-28	

Datos del posicionamiento inicial del robot según el manual del fabricante.

```
Diagnostic Viewer

Available items in the station:
{'Nueva Estaci3n (1)'} {'ABB IRB 6400 2.4 120 Base'} {'ABB IRB 6400 2.4 120'}
Selected robot: ABB IRB 6400 2.4 120
Current robot joints:
0 0 0 0 0 0
Current robot pose:
1.0e+03 *
-0.0000 -0.0000 0.0010 1.6880
-0.0000 0.0010 0.0000 0.0000
-0.0010 -0.0000 -0.0000 2.0750
0 0 0 0.0010
Current robot pose (xyzrpw format)
1.0e+03 *
1.6880
0.0000
2.0750
0
0.0016
-0.0000
Robot selected: ABB IRB 6400 2.4 120
```

Resultados del visualizador de diagnóstico.

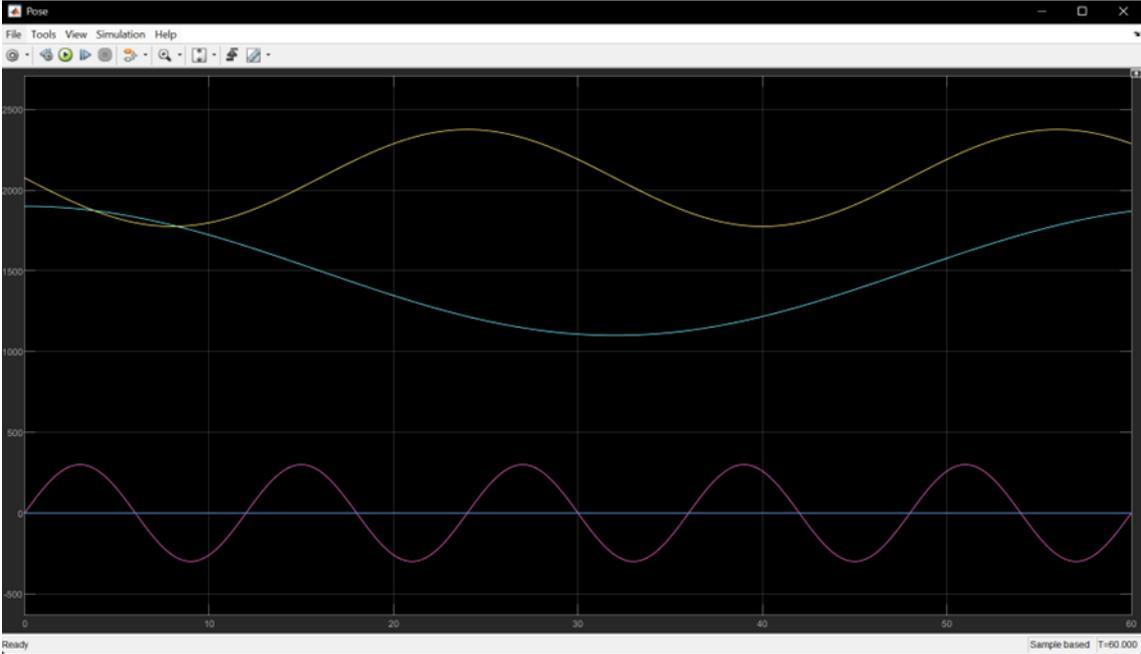


Gráfico de posición.

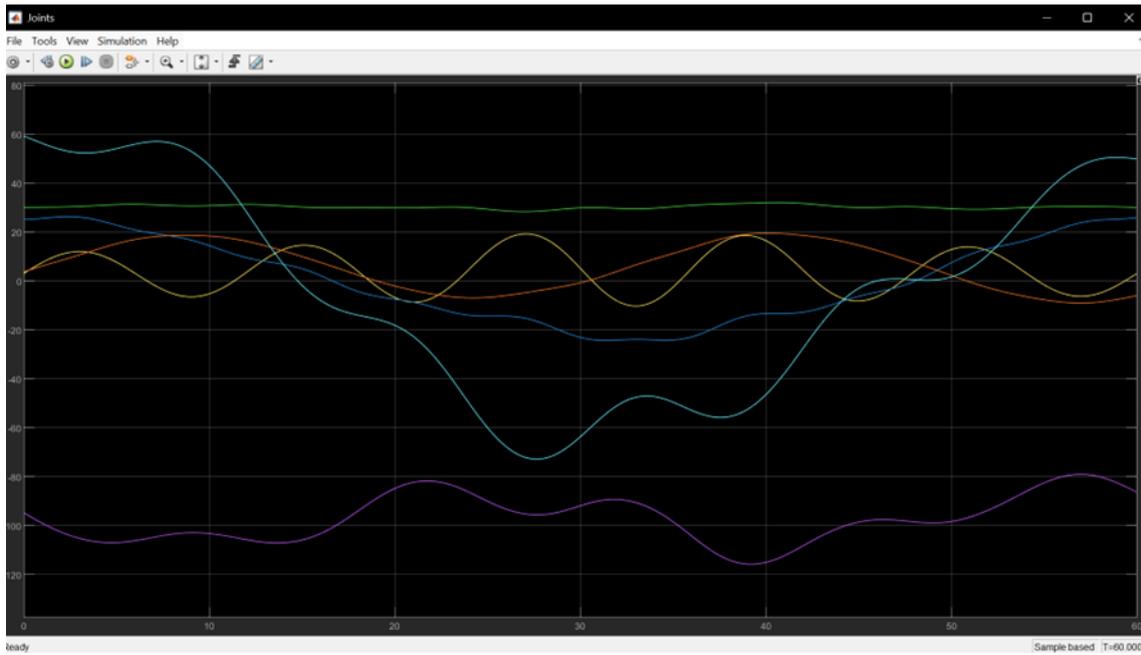


Gráfico de las 6 articulaciones.

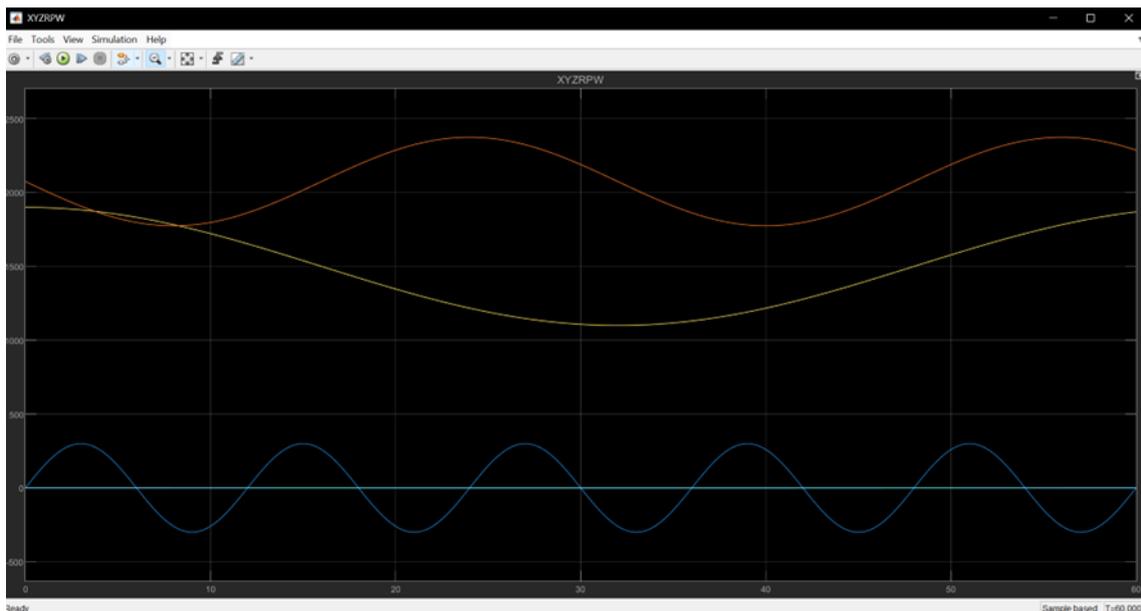


Gráfico de señales sinusoidales generadas para las coordenadas X, Y, y Z del efector final del robot.

d. Código de simulación con ROBODK Y MATLAB

```

clc
clear
close all

RDK = Robolink;

path = RDK.getParam('PATH_LIBRARY');

```

```

station = RDK.AddFile([path, 'ejercicio salesiana.rdk']);

if ~station.Valid()
    path = ['C:/RoboDK/Library/'];
    station = RDK.AddFile([path, 'ejercicio salesiana.rdk']);

    if ~station.Valid()
        RDK.ShowMessage(sprintf('This example requires ejercicio salesiana.rdk
library folder:<br>%s.', library_path))
        return
    end
end

fprintf('Available items in the station:\n');
disp(RDK.ItemList(-1, 1));

program = RDK.Item('Pick and place', RDK.ITEM_TYPE_PROGRAM);

program.RunProgram();

robot = RDK.Item('ABB-IRB-6400-2-4-120', RDK.ITEM_TYPE_ROBOT);
fprintf('Robot selected:\t%s\n', robot.Name('ABB-IRB-6400-2-4-120'));
robot.setVisible(1);

frameref = robot.Parent();
fprintf('Robot reference selected:\t%s\n', frameref.Name());

object = RDK.Item('base', RDK.ITEM_TYPE_OBJECT);
fprintf('Object selected:\t%s\n', object.Name());

ball = RDK.Item('ball');
fprintf('Ball selected:\t%s\n', ball.Name());

frametable = RDK.Item('Table 1', RDK.ITEM_TYPE_FRAME);
fprintf('Table selected:\t%s\n', frametable.Name());

tool = RDK.Item('Tool', RDK.ITEM_TYPE_TOOL);
fprintf('Tool selected:\t%s\n', tool.Name());

target1 = RDK.Item('Target b1', RDK.ITEM_TYPE_TARGET);
fprintf('Target 1 selected:\t%s\n', target1.Name());

target2 = RDK.Item('Target b3', RDK.ITEM_TYPE_TARGET);
fprintf('Target 2 selected:\t%s\n', target2.Name());

tic()

while 1
    item = RDK.Item('macro');

    if item.Valid() == 0

        break
    end
end

```

```

        item.Delete();
    end

    jhome = [0, 0, 0, 0, 30, 0];

    robot.setJoints(jhome);

    RDK.Render(0);

    Htcp = tool.PoseTool();

    ref = RDK.AddFrame('Frame macro', frameref);

    Hframe = transl(750, 250, 500) * roty(pi / 2) * rotz(pi);
    ref.setPose(Hframe);

    robot.setPoseFrame(ref);

    robot.setPoseTool(Htcp);

    Hhome = inv(Hframe) * robot.SolveFK(jhome) * Htcp;

    prog = RDK.AddProgram('Prog macro');

    target = RDK.AddTarget('Home', ref, robot);
    target.setAsJointTarget();
    target.setJoints(jhome)

    prog.MoveJ(target);

    angleY = 0;

    for dy = 600:-100:100
        targetname = sprintf('Target TY=%i RY=%i', dy, angleY);
        target = RDK.AddTarget(targetname, ref, robot);

        pose = transl(0, dy, 0);

        pose(1:3, 1:3) = Hhome(1:3, 1:3);
        pose = pose * roty(angleY * pi / 180);
        target.setPose(pose);
        prog.MoveL(target);
        angleY = angleY + 20;
    end

    RDK.Render(1);

```

```

prog.RunProgram();

while robot.Busy()
    pause(1);
    fprintf('Waiting for the robot to finish...\n');
end

fprintf('Running the program again...\n');
prog.RunProgram();

Htarget = target1.Pose();
target1.setParentStatic(frameref);
target1.setPose(Htarget);

target2.setParent(frameref);

childs = frametable.Childs();

for i = 1:numel(childs)
    name = childs{i}.Name();
    newname = [name, ' modified'];
    visible = childs{i}.Visible();
    childs{i}.setName(newname);
    fprintf('%s %i\n', newname, visible);
end

attached = tool.AttachClosest();

if attached.Valid()
    attachedname = attached.Name();

    fprintf('Attached: %s\n', attachedname);
else
    fprintf('No object is close enough\n');
end

pause(2);
tool.DetachAll();
fprintf('Detached all objects\n');

RDK.Item('Replace objects', RDK.ITEM_TYPE_PROGRAM).RunProgram();

j1 = [-100, -50, -50, -50, -50];
j2 = [100, 50, 50, 50, 50];
collision = robot.MoveJ_Test(j1, j2, 1);
disp(collision)

pairs = RDK.Collisions();
fprintf('Pairs collided: %i\n', pairs);

object.Scale([10, 10, 0.5]);

```

```

[collision, itempicked, xyz] = RDK.Collision_Line(p1, p2);

if collision
    fprintf('Line from p1 to p2 collides with %s\n', itempicked.Name());

    ball.Copy();
    newball = RDK.Paste();

    newball.setPose(transl(xyz(1), xyz(2), xyz(3)));
    newball.Scale(0.5);
    newball.Recolor([1 0 0]);
end
RDK.Item('Replace objects', RDK.ITEM_TYPE_PROGRAM).RunProgram();

fprintf('Moving by target item...\n');
robot.setPoseFrame(frametable);
RDK.setSimulationSpeed(10);

for i = 1:2
    robot.setSpeed(10000, 1000);
    robot.MoveJ(target1);
    robot.setSpeed(100, 200);
    robot.MoveL(target2);

end

fprintf('Moving by joints...\n');
J1 = [0, 0, 0, 0, 50, 0];
J2 = [40, 30, -30, 0, 50, 0];

for i = 1:2
    robot.MoveJ(J1);
    robot.MoveL(J2);
end

fprintf('Moving by pose...\n');

H1 = [-0.492404, -0.642788, -0.586824, -101.791308;
      -0.413176, 0.766044, -0.492404, 1265.638417;
      0.766044, 0.000000, -0.642788, 117.851733;
      0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000];

H2 = [-0.759717, -0.280123, -0.586823, -323.957442;
      0.060192, 0.868282, -0.492405, 358.739694;
      0.647462, -0.409410, -0.642787, 239.313006;
      0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000];

for i = 1:2
    robot.MoveJ(H1);
    robot.MoveL(H2);
end

fprintf('Current robot joints:\n');
joints = robot.Joints();
disp(joints);

fprintf('Calculated pose for current joints:\n');
H_tcp_wrt_frame = robot.SolveFK(joints);

```

```

disp(H_tcp_wrt_frame);

fprintf('Calculated robot joints from pose:\n');
joints2 = robot.SolveIK(H_tcp_wrt_frame);
disp(joints2);

fprintf('All solutions available for the selected position:\n');
joints3_all = robot.SolveIK_All(H_tcp_wrt_frame);
disp(joints3_all);

RDK.ShowSequence(joints3_all);

pause(1);

joints4 = robot.SolveIK(H_tcp_wrt_frame * transl(0, 0, -100));

robot.setJoints(joints4);

RDK = Robolink();
robot = RDK.Item('', RDK.ITEM_TYPE_ROBOT);

pose0 = robot.Pose();

prog = RDK.AddProgram('TestProgram');

target0 = RDK.AddTarget('First Point');
target0.setAsCartesianTarget(); % default behavior
target0.setPose(pose0);
prog.MoveL(target0);

pose1 = pose0 * transl(50, 0, 0);
pose2 = pose0 * transl(50, 50, 0);

target1 = RDK.AddTarget('Second Point');
target1.setAsCartesianTarget();
target1.setPose(pose1);

target2 = RDK.AddTarget('Third Point');
target2.setAsCartesianTarget();
target2.setPose(pose2);

prog.MoveC(target1, target2)

RDK = Robolink();

robot = RDK.Item('', RDK.ITEM_TYPE_ROBOT);

robot = robot.getLink(RDK.ITEM_TYPE_ROBOT);
disp(robot.Name());

robot.setJointLimits([-180; -180; -180; -180; -180; -180; 0], [+180; +180;
+180; +180; +180; +180; 5000]);
[lower_limit, upper_limit] = robot.JointLimits();
disp(lower_limit)
disp(upper_limit)

joints = robot.JointsHome();

```

```
config = robot.JointsConfig(joints);  
disp(config)
```

```
all_solutions = robot.SolveIK_All(robot.SolveFK(robot.Joints()));  
disp(all_solutions)
```