

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO PALETIZADOR PARA LA
OPTIMIZACIÓN DENTRO DEL PROCESO DE DESPACHO EN
LA INDUSTRIA CEMENTERA**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTADA POR:

Bach. BENAVENTE INCA, KARLA ANTONELLA

Bach. SORIA GUADALUPE, MITCHEL DANTE

Asesor: Dr. Ing. FREEDY SOTELO VALER

LIMA-PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres por su apoyo en toda mi carrera, a mi hermano por enseñarme de su fortaleza y perseverancia cada día y a mi hermana por ser mi mayor motivación y soporte desde siempre.

Karla Benavente Inca

Esta tesis está dedicada a todos mis seres queridos que han sido un gran soporte en este proceso.

Mitchel Soria Guadalupe

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater y docentes que han sido de apoyo en todo el transcurso de nuestra carrera y nos han dado los conocimientos necesarios para realizar esta investigación.

Karla Benavente y Mitchel Soria

INDICE GENERAL

RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos.....	14
1.1.1. Problema general	15
1.1.2 Problemas específicos.....	15
1.2 Objetivo	15
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Importancia y Justificación del estudio	16
1.3.1 Importancia	16
1.3.2 Justificación	16
1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	17
1.4.1 Alcances.....	17
1.4.2 Limitaciones.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1 Antecedentes de la investigación.....	19
2.2 Bases teóricas.....	20
2.2.1 Procesos del Cemento en el Perú.....	20
2.2.1.1 Proceso de envase y despacho en Empresa UNACEM	22
2.2.1.2 Etapa de estibamiento	22
2.2.2 Paletizado industrial.....	23
2.2.3 Paletizado automático	24
2.2.4 Robot industrial.....	26
2.2.4.1 Componentes de un brazo robótico industrial	26
2.2.4.2 Estructura mecánica de robots manipuladores.....	27
2.2.4.3 Configuraciones principales de un brazo robótico	28
2.2.5 Cinemática del robot.....	30
2.2.5.1 El problema cinemático directo	32
2.2.5.2 Algoritmo de Denavit - Hartenberg	32

2.2.5.3 El problema cinemático inverso	34
2.2.6 Sensores	35
2.2.6.1 Sensor óptico.....	36
2.2.6.2 Codificadores ópticos	37
2.2.6.3 Sensores capacitivos	37
2.2.7 Actuadores	38
2.2.7.1 Actuadores eléctricos.....	38
2.2.7.2 Actuadores neumáticos	40
2.2.8 Sistema de control.....	41
2.2.8.1 Elementos de un sistema de control de lazo cerrado	41
2.2.8.2 Controladores.....	42
2.2.8.3 Programador lógico programable (PLC)	42
2.2.8.4 SIMATIC S7-1200	44
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL BRAZO ROBOTICO PALETIZADOR.....	45
3.1 Entorno del brazo robótico paletizador “KAMIBOT”	45
3.2 Diseño del sistema mecánico	47
3.2.1 Requerimientos	47
3.2.2 Elección de la estructura mecánica del brazo robótico	47
3.2.3 Disposición mecánica de motores.....	48
3.2.4 Selección del material de los eslabones	49
3.2.5 Cálculo y modelamiento 3D de eslabones	50
3.2.6 Diseño en 3D de la herramienta de trabajo.....	53
3.2.7 Diseño de la base	548
3.2.8 Ensamblaje de la estructura mecánica	549
3.2.9 Cinemática del robot.....	55
3.3 Diseño del sistema de transmisión y movimiento	58
3.3.2 Selección de motores	64
3.3.3 Selección de accionamiento de herramienta de trabajo	66
3.4 Diseño de la etapa sensorica	68
3.4.1 Requerimientos	68
3.4.2 Sistema de Sensores.....	68
3.4.3 Sensor de proximidad	68
3.4.4 Sensor de contacto	70
3.5 Diseño de la etapa de control.....	72

3.5.1	Requerimientos	72
3.5.2	Diagrama de estructura general de KAMIBOT	72
3.5.3	Elección del Controlador Lógico Programable	73
3.5.4	Comunicación PLC – HMI	75
3.5.5	Programación para “Asignación de Posiciones”	77
3.5.5.2	Diagrama de flujo Subrutina Posición inicial	78
3.5.5.3	Diagrama de flujo Subrutina Lectura de datos	79
3.5.5.4	Diagrama de flujo Subrutina Accionamiento de motores.....	80
3.5.5.5	Diagrama de flujo Subrutina Guardar posición	81
3.5.6	Programación Rutina de Funcionamiento.....	82
3.5.6.1	Secuencia para Posición A1	85
3.5.6.2	Secuencia para Posición B1	86
3.5.6.3	Secuencia para Posición C1	88
3.5.6.4	Secuencia para Posición D1	89
3.5.6.5	Secuencia para Posición E1	91
3.5.6.6	Panel de usuario HMI	92
CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA		
INVESTIGACIÓN		96
4.1	Análisis de resultados de la etapa mecánica y de accionamiento	96
4.2	Análisis de resultados de la etapa sensórica	97
4.3	Análisis de resultados de la etapa de control	98
CONCLUSIONES		100
RECOMENDACIONES.....		101
REFERENCIAS.....		102
ANEXOS		104
APENDICE.....		121

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Beneficios del paletizado en actividades industriales	24
Tabla N°2: Principales características de las 4 configuraciones mencionadas.....	29
Tabla N°3: Clasificación según la variable a medir	36
Tabla N°4: Características PLC S7-1200	44
Tabla N°5: Parámetros del sistema	47
Tabla N°6: Cuadro comparativo entre materiales de eslabones	50
Tabla N°7: Parámetros de D-H	57
Tabla N°8: Características de masa, área y volumen de cada eslabón	59
Tabla N°9: Torque requerido para los motores	64
Tabla N°10: Tabla de selección Servorreductores planetarios Serie PSF.	65
Tabla N°11: Selección Servomotor Serie CMP, marca EURODRIVE	65
Tabla N°12: Servomotorreductor de ejes paralelos Serie F, marca EURODRIVE.....	66
Tabla N°13: Comparativo de Sistemas de accionamiento para gripper	66
Tabla N°14: Parámetros de la etapa sensorica	68
Tabla N°15: Comparativo de sensores de proximidad industriales	69
Tabla N°16: Principales características del sensor ultrasónico UM12-1192261.....	70
Tabla N°17: Posiciones a considerar según el nivel y ubicación en el Pallet	71
Tabla N°18: Parámetros de la etapa de control.....	73
Tabla N°19: Comparativo entre CPU1211C, CPU1212C y CPU1214C	74
Tabla N°20: Configuración de dirección IP para los sistemas de control	77
Tabla N°21: Posiciones a considerar según el nivel y ubicación en el Pallet	82
Tabla N°22: Sensores seleccionados para la etapa sensorica.	98
Tabla N°23: Requerimientos de despacho en la industria cementera.....	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso productivo UNACEM	22
Figura 2: Estibamiento de bolsas de cemento en Empresa UNACEM	23
Figura 3: Sistema robótico para paletizado	25
Figura 4: Sistema continuo para paletizado	26
Figura 5: Componentes básico de un sistema robot manipulador	27
Figura 6: Principales tipos de articulaciones para robots	28
Figura 7: Principales configuraciones de los robots manipuladores	29
Figura 8: Asignación de sistemas de referencia en una aplicación robótica.....	30
Figura 9: Parámetros de D-H en eslabones con articulación rotatorias	33
Figura 10: Principio de codificador óptico	37
Figura 11: Diagrama de funcionamiento de sensor de proximidad capacitivo	38
Figura 12: Esquema de un motor paso a paso de imanes permanentes	40
Figura 13: Estructura interna de un cilindro neumático de doble efecto.....	41
Figura 14: Esquema de control en lazo cerrado	42
Figura 15: Estructura Interna de un PLC	44
Figura 16: Vista superior - Delimitación del espacio de trabajo.....	45
Figura 17: Distribución de 2x3 por cada capa del pallet	46
Figura 18: Disposición de la conformación del pallet.....	46
Figura 19: GDL de KAMIBOT, eslabones y ángulos de giro.....	48
Figura 20: Disposición de los motores en la estructura mecánica	49
Figura 21: Diseño de la estructura del eslabón 2	51
Figura 22: Diseño de estructura del eslabón 3.....	52
Figura 23: Análisis de Tensión en eslabón 3 en Software Inventor	52
Figura 24: Diseño del extremo del robot	53
Figura 25: Diseño de la herramienta de trabajo.....	53
Figura 26: Diseño de la base	54
Figura 27: Estructura mecánica en el espacio de trabajo	55
Figura 28: Asignación de sistemas de referencia según D.H.....	56
Figura 29: Asignación de sistema de referencia en herramienta de trabajo.....	56
Figura 30: Características técnicas del eslabón 1 y 2 mediante el Software Inventor. ..	59
Figura 31: Características técnicas del eslabón 3 mediante el Software Inventor.	59
Figura 32: Diagrama de cuerpo libre en posición Horizontal para cálculo de eje 2.....	60

Figura 33: Diagrama de cuerpo libre en posición Horizontal para el cálculo del eje 3..	61
Figura 34: Diagrama de fuerzas que intervienen para el cálculo de inercia en el Eje 4.	62
Figura 35: Diagrama de fuerzas que intervienen para el cálculo de inercia en el Eje 1.	63
Figura 36: Diagrama de accionamiento neumático en software Fluidsim.....	67
Figura 37: Sensor ultrasónico UM12-1192261, marca SICK	69
Figura 38: Tipos de accionamiento de limit switches	70
Figura 39: Interruptor XCKS141H29 marca Schneider.	71
Figura 40: Diagrama de estructura general del Brazo Robótico KAMIBOT.	73
Figura 41: Diagrama de cableado PLC S7-1200	74
Figura 42: Circuito de conexionado HMI – PLC S7-1200- PC	75
Figura 43: Dirección IP del PLC	76
Figura 44: Pantalla de comunicación entre el PLC y HMI.....	77
Figura 45: Rutina de asignación de posiciones.....	78
Figura 46: Sub Rutina de Posición inicial	79
Figura 47: Rutina de Lectura de datos	80
Figura 48: Rutina Accionamiento de motores	81
Figura 49: Rutina Guardar Posición.	82
Figura 50: Brazo robótico en posición inicial.	83
Figura 51: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 1	83
Figura 52: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 2.....	84
Figura 53: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 3.....	84
Figura 54: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 4.....	84
Figura 55: Diagrama de flujo de Secuencia para posición A1 en el Pallet.....	85
Figura 56: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición A1 del pallet	86
Figura 57: Diagrama de flujo de Secuencia para posición B1 en el Pallet.....	87
Figura 58: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición B1 del pallet	87
Figura 59: Diagrama de flujo de Secuencia para posición C1 en el Pallet.....	88
Figura 60: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición C1 del pallet	89
Figura 61: Diagrama de flujo de Secuencia para posición D1 en el Pallet.....	90
Figura 62: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición D1 del pallet	90
Figura 63: Diagrama de flujo de Secuencia para posición E1 en el Pallet.	91
Figura 64: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición E1 del pallet	92
Figura 65: Ventana principal del HMI elaborado en el software INTOUCH.....	93

Figura 66: Sub-ventana “Asignación de posiciones” del HMI elaborado en el software INTOUCH WindowMaker	94
Figura 67: Sub-ventana “Rutina Principal” del HMI elaborado en el software INTOUCH WindowMaker.	95
Figura 68: Sub-ventana “Alarmas y eventos” del HMI elaborado en el software INTOUCH WindowMaker.	95
Figura 69: Características del eslabón del antebrazo, a) En acero al carbono b) En aluminio	96
Figura 70: Cambio de Estructura del diseño del eslabón antebrazo a) Con una perforación b) con dos perforaciones.....	97

RESUMEN

El desarrollo y uso de los robots en el entorno industrial ha ido incrementándose de forma vertiginosa, y actualmente existen diferentes tipos de robots de acuerdo con la aplicación y funciones en el sector donde se van a desempeñar.

La presente investigación tuvo como objetivo una mejora y optimización en el proceso de despacho de la industria cementera, para lo cual se propone un diseño robótico para la automatización de la etapa de paletizado con el fin de reducir la intervención humana, disminuir los tiempos de espera en el proceso despacho y mejorar la calidad del producto final. Esta investigación está dividida en diseño mecánico, etapa sensorica y sistema de control de un brazo robótico paletizador para la industria cementera, basándose en el diseño de los manipuladores ya existentes en el mercado de marcas prestigiosas como ABB Y FESTO.

Para el diseño de este brazo robótico paletizador se consideró un mecanismo de 4 grados de libertad, accionados por 4 servomotorreductores suministrado precisión y alto torque, un sistema de accionamiento neumático para la herramienta de trabajo, así mismo se realizó el control de estos equipos mediante el PLC S7-1200 y se elaboró un programa para el HMI que permite al usuario inspeccionar el proceso de paletizado y visualizar alarmas o eventos que ocurran en las actividades. Como resultado de la investigación, este diseño disminuye los tiempos excesivos en el carguío de camiones de despacho, mejora la calidad del producto final y logra automatizar la etapa de paletizado en la industria cementera. Además, supone la confluencia de los distintos conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera y la experiencia.

Palabras claves: Brazo robótico, paletizado, automatizar.

ABSTRACT

The development and use of robots in the industrial environment has been increasing dramatically, and currently there are different types of robots according to the application and functions in the sector where they will be performed.

The present research aimed to improve and optimize the dispatch process in the cement industry, for which a robotic design is proposed for the automation of the palletizing stage in order to reduce human intervention, reduce waiting times. in the dispatch process and improve the quality of the final product. This research is divided into mechanical design, sensory stage and control system of a robotic palletizer arm for the cement industry, later in the design of manipulators already existing in the market of prestigious brands such as ABB and FESTO.

For the design of this robotic palletizing arm, a mechanism with 4 degrees of freedom was considered, actuated by 4 servo gearmotors supplied with precision and high torque, a pneumatic actuation system for the work tool, as well as the control of these equipment through the S7-1200 PLC and a program was developed for the HMI that allows the user to inspect the palletizing process and view alarms or events that occur in the activities. As a result of the research, this design reduces excessive loading times for dispatch trucks, improves the quality of the final product and manages to automate the palletizing stage in the cement industry. In addition, it involves the confluence of the different knowledge obtained throughout the career and experience.

Keywords: robotic arm, palletizing, automate.

INTRODUCCIÓN

Las actividades físicas de los estibadores en la industria del cemento vienen siendo rudimentarias y muy extenuantes dentro del proceso de despacho, esto a su vez implica una mayor inversión en recurso humano para poder suplir turnos rotativos por fatiga o algún incidente. Siendo actualmente un proceso de forma manual, los tiempos de despacho dependen del lapso que le toma al estibador realizar la recepción de la carga y apilarla en la plataforma de despacho, teniendo en cuenta que mientras transcurren las horas este se verá afectado directamente por el agotamiento físico.

En el capítulo I se exponen los temas correspondientes al planteamiento del problema donde se considera la problematización, objetivos generales y específicos, así como la justificación, alcances y límites de la investigación; en el capítulo II se presenta el marco teórico donde se consideran los antecedentes nacionales e internacionales, bases teóricas y definición básicos; en el capítulo III se desarrolla el diseño del brazo robótico paletizador para la optimización en el proceso de despacho de la industria cementera donde se considera el diseño del sistema mecánico, diseño del sistema electrónico de control y diseño de la etapa sensorica; en el capítulo IV se presentan los resultados donde se describen los objetivos específicos y generales de la presente investigación, Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se describe la problemática y se presentan los objetivos generales y específicos de la presente investigación, alcances y limitaciones que se dieron en el desarrollo del diseño, y la importancia y justificación de la presente tesis.

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos.

Actualmente la mayoría de las empresas en el Perú pertenecientes al rubro cementero presentan un proceso de fabricación semi – automatizado, el mayor enfoque se tiene en los procesos como: extracción de materia prima, trituración y pre - homogeneización, molienda de harina cruda, clinkerización, molienda de cemento, empaque, sin embargo se ha observado que aún en el proceso de despacho presentan algunas falencias, existe una gran ineficiencia en el proceso de paletizado para el despacho de bolsas de cemento, el cual viene siendo realizado de forma manual por estibadores.

Este personal encargado de la operación de despacho debe levantar cada uno de los sacos que salen de la línea de producción y depositarlos manualmente en el camión de despacho, al realizar esta tarea los estibadores se exponen a diferentes daños en su salud tras estar sometidos a una carga excesiva durante su jornada de trabajo produciendo una alta fatiga en el cuerpo humano, a su vez están expuestos a altas dosis de polución que se desprenden de las bolsas de cemento al ser manipuladas, lo cual es altamente riesgoso.

Este método de trabajo consume grandes recursos humanos por el desgaste físico que resulta ser para los estibadores, necesitando disponer de personal suficiente y distribuido por turnos para la ejecución del trabajo. Cabe indicar que este método resulta ser rudimentario ya que la carga supera los 40 kg. por saco.

Al trabajar en estas condiciones y ser un objeto pesado de carga se ocasionan pérdidas por golpes o daños en la bolsa de cemento, lo cual disminuye la calidad del producto final.

Adicionalmente al ser una tarea manual, el proceso de despacho debe acoplarse al tiempo necesario para que los estibadores puedan recepcionar cada bolsa de cemento y llevarla hacia el camión, esto se ve reflejado en tiempos excesivos de unidades en

espera que indirectamente terminan afectando la producción, generando pérdidas en la empresa cementera.

Las empresas de cemento enfrentan una competencia agresiva, por lo que implementar estrategias para alcanzar la competitividad es elemental. El uso adecuado de los recursos es imprescindible y es por ello que se plantea una mejora y optimización de los recursos en la etapa de paletizado dentro del proceso de despacho, ya que un paletizado efectivo contribuirá a mejorar la calidad del producto final y a su vez reducir tiempos y costos.

Considerando lo mencionado, se propone el diseño de un brazo robótico paletizador para el proceso de despacho en la industria cementera.

1.1.1. Problema general

¿Cómo diseñar un brazo robótico paletizador para la optimización y mejora dentro del proceso de despacho en la industria cementera?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cómo realizar el diseño de la estructura mecánica del brazo robótico teniendo en cuenta la capacidad de carga para las funciones de paletizado en la industria cementera?
- ¿Cómo realizar el diseño de la etapa sensorica del brazo robótico, para que realice de forma óptima las funciones de apilamiento en el pallet?
- ¿Cómo realizar el diseño del sistema de control del brazo robótico para ejecutar funciones de posicionamiento en el pallet?

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un brazo robótico paletizador para la optimización y mejora dentro del proceso de despacho en la industria del cemento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar la estructura mecánica del brazo robótico teniendo en cuenta la capacidad de carga requerida la función de paletizado en la industria cementera.
- Diseñar la etapa sensorica del brazo robótico, para que realice de forma óptima las funciones de apilamiento en el pallet.
- Diseñar el sistema de control del brazo robótico para ejecutar funciones de posicionamiento en el pallet.

1.3 Importancia y Justificación del estudio

1.3.1 Importancia

La importancia de realizar este proyecto se centra en poder diseñar de forma exitosa un brazo robótico que pueda realizar el paletizado de bolsas de cemento proponiendo la automatización en un proceso actualmente manual que brindará una mejora en la calidad del producto final.

1.3.2 Justificación

- a. Justificación en Salud Ocupacional: El presente proyecto de tesis al ser desarrollado, propone en primer lugar prevenir lesiones físicas al personal operativo que actualmente realiza la estiba de bolsas de cemento, por ser una actividad repetitiva y rudimentaria. Según Ley N°29088 de Seguridad y Salud en el Trabajo, el peso máximo que un estibador puede manipular de forma manual no deberá ser mayor a 25 kg., es por ello que se propone evitar problemas asociados con la fatiga, lesiones, así como efectos en la salud por realizar movimientos repetitivos y tediosos. Si bien, es cierto esta actividad se viene realizando en muchas empresas del rubro cementero desde hace mucho tiempo atrás, se debe realizar una mejora que suprima esta actividad manual y sea reemplazada por un sistema automatizado.
- b. Justificación económica: Se plantea garantizar la continuidad en las líneas de producción de bolsas de cemento, ya que esto se ve afectado cuando un estibador presenta algún problema durante la operación o al momento de

realizar relevos. Al contar con un brazo robótico éste puede ser configurado a una velocidad asignada y así garantizar una continuidad en el proceso de despacho y en consecuencia en la línea de producción, haciendo óptimo el proceso de despacho. Con lo mencionado anteriormente, se plantea el ahorro de tiempo, seguridad, mejora en la calidad del producto final y aumento de producción en comparación al proceso actual, lo que significa un mayor ingreso económico hacia la empresa cementera.

- c. Justificación Tecnológica: Con el diseño propuesto se propone, la automatización del proceso de paletizado para el despacho de bolsas de cemento mediante un sistema robótico, eligiendo esta tecnología por encima de un sistema automático continuo, ya que éste nos permite una mejor adaptación en el área de trabajo sin hacer grandes modificaciones en el proceso actual de producción y una menor inversión en la implementación. Al contar con un sistema robótico y suprimir la operación manual en el paletizado, se propone una mejora en los estándares de calidad del proceso ya que se garantiza una mejora dentro del proceso de despacho.

1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación

1.4.1 Alcances

La presente tesis contempla el diseño de un brazo robótico paletizador para el proceso de despacho en la industria cementera.

- Este diseño robótico podrá ser implementado en cualquier industria cementera en el Perú, considerando la NTP (Norma Técnica Peruana) a la cual se rige nuestro país para la capacidad de contenido de las bolsas de cemento.
- El diseño contempla sólo el brazo robótico para el paletizado, y se debe tener en cuenta la implementación de un sistema automático básico que permita almacenar y realizar el desplazamiento del pallet al área de trabajo del brazo robótico.

1.4.2 Limitaciones

Las limitaciones que podrían darse en el desarrollo del diseño propuesto:

- Este diseño no podrá ser aplicado en industria alimentaria o textil por los agentes externos a tener en cuenta.
- Según la NTP solo podrá usarse para pesos máximos de 42.5kg
- Debido a que este plan de tesis está basado en un diseño, los cálculos para el diseño del módulo electrónico y de control serán de manera teórica, en el caso de implementarlo se tendría que tomar en cuenta los factores externos que afectan los resultados del proyecto.
- De realizar la implementación del diseño propuesto, se deberá disponer de un espacio de trabajo en el que se tenga un sistema semi automático de alimentador de pallet

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se mencionan los antecedentes de la investigación que se tomaron como referencia y como bases para el diseño del brazo robótico paletizador para la optimización dentro del proceso de despacho en la industria cementera. Asimismo, se presenta las bases teóricas que sustentan y complementan con todos los temas que se utilizaron y aplicaron para el desarrollo de la presente tesis.

2.1 Antecedentes de la investigación

Investigaciones Internacionales

Pascual (2017). En su trabajo final de grado de Ingeniería Electrónica y automática, titulado “Estudio comparativo de las soluciones de paletizado actuales”. Universidad Politécnica de Valencia. España. Realizó una evaluación de los recursos utilizados y costos que influyen en un proceso manual de paletizado comparándolo con un sistema robótico. Dentro de las conclusiones más importantes, se planteó como mejor opción robots de tipo antropomórfico para el proceso de paletizado y se comprueba con cálculos de costeo la alta rentabilidad que ofrece la automatización en el proceso de paletizado y la baja inversión que conlleva esta implementación.

Jara - Pacheco (2013). En su tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero en electrónica control y redes industriales, titulado “Diseño e implementación de un robot cartesiano para el montaje de tapa y/o pasador, en el proceso de paletizado”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Plantean que la implementación de un brazo robótico o manipulador es una solución más rentable en el proceso de producción debido a que los errores se ven reducidos o incluso eliminados en comparación de una operación manual, y pueden situarse fácilmente en cualquier ubicación del área de trabajo. Concluyeron que la implementación de un robot cartesiano en el proceso de paletizado causará un impacto en la automatización del sistema, en la optimización de los tiempos de proceso y en la utilización más efectiva de recursos evitando pérdidas y retardos en el proceso de ensamblaje.

Investigaciones Nacionales

Flores - Medina (2018). En su tesis de pregrado para obtener el grado de Ingeniero Electrónico, titulado “Diseño de una máquina automática para paletizar cajas de leche evaporada en la fábrica Nestlé – Perú”. de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque. Realizaron el diseño de una máquina automatizada para el proceso de paletizado, mencionan que el proceso de paletizado en varias empresas del Perú, sigue siendo realizada de forma manual siendo un trabajo extenuante por la cantidad de personas por turnos que realizan este trabajo. En su investigación resalta que al implementar el diseño propuesto de una máquina automática solo se necesitaría un operario capacitado para supervisión y se reducirían latentes pérdidas de operación y posibles daños en la integridad del trabajador.

Paz (2018). En su tesis de pregrado para obtener el grado de Ingeniero Industrial, titulado “Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad de la etapa de paletizado en la empresa Jayanca Fruits S.A.C. de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo. Realiza el diseño de un sistema automatizado para la etapa de paletizado en la empresa Jayanca Fruits S.A.C, se demuestra que el paletizado manual es un trabajo muy pesado y con productividad baja a comparación de un sistema automatizado, concluye que el sistema automatizado logra eliminar las causas que conllevan a una baja productividad y con un análisis costo beneficio se demuestra que es un proyecto viable y rentable para la empresa.

2.2 Bases teóricas

Dentro del marco de estudio de esta investigación es importante abarcar los tópicos relacionados a los temas de la presente tesis. Es así como comprende la siguiente división de sustentos teóricos que ayudarán a entender y complementar la investigación.

2.2.1 Procesos del Cemento en el Perú

El proceso de fabricación del cemento consta de 4 etapas importantes para su elaboración, estas son: explotación y extracción, molienda de la materia prima, homogeneización de la materia prima y la clinkerización.

Se inicia con la explotación de yacimientos de materia prima en tajo abierto, el material que resulta de este proceso es transportado en camiones para que sea

triturado en una primera etapa mediante una chancadora primaria que logra reducir la roca a tamaños máximos de 15 cm hasta los 25 cm, este es depositado en un parque de almacenamiento donde se verifica su composición química y pasa por una segunda etapa de trituración a una chancadora secundaria que logra reducir el tamaño de la roca hacia los 2 mm aproximadamente. El material triturado finalmente es depositado en un parque de materias primas mediante cintas transportadoras. ASOCEM, Asociación de Productores de Cemento, (2016).

La siguiente etapa comprende la molienda, por molinos de bolas o por prensas de rodillos, en esta etapa se obtiene un material de gran finura, se realiza la selección de los materiales según el diseño de la mezcla con el fin de optimizar el material crudo que ingresará al horno. El material molido pasa a unos silos de homogeneización teniendo como material resultante un polvo de gran finura. En la etapa de clinkerización, la harina cruda es introducida a un intercambiador de calor por suspensión de gases donde se desarrollan reacciones químicas y físicas que dan lugar a la formación del clinker, el horno es el elemento fundamental para la fabricación de cemento, este llega a temperaturas de 1500 a 1600°C, el Clinker que egresa del horno pasa a un proceso de enfriamiento rápido por enfriadores de parrilla, seguidamente es llevado a una cancha de almacenamiento y después pasa por un proceso de extracción por molino de bolas a circuito cerrado o prensas de rodillos con separadores neumáticos que brindan una finura de alta superficie específica. Finalmente, el cemento es depositado en silos donde se encuentra lista para ser despachado en bolsas de 42.5 kg. ASOCEM (2016). En la Figura 1, se puede observar el proceso productivo de la empresa cementera UNACEM (Unión Andina de Cementos).

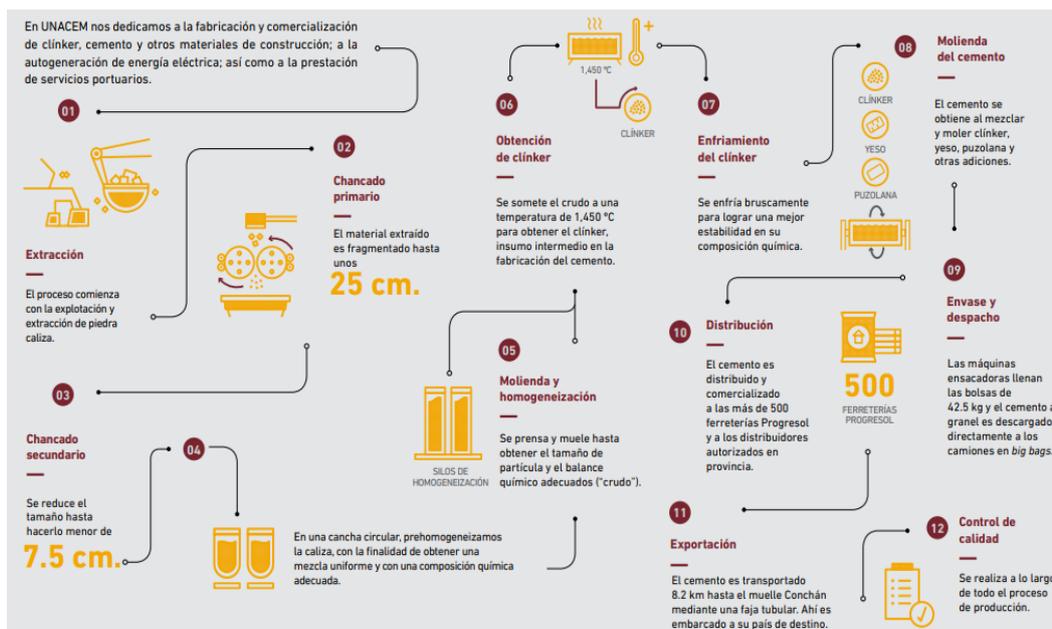


Figura 1: Proceso productivo UNACEM

Fuente: "Unacem". Construyendo Oportunidades, 2017, p. 23

2.2.1.1 Proceso de envase y despacho en Empresa UNACEM

Después de las etapas producción y almacenamiento en silos, el cemento es transportado por canaletas hacia los elevadores para ser vaciados en las zarandas donde se realiza la separación del material inservible, el cemento útil es almacenado en tolvas para posteriormente ser dosificado y llevado a una ensacadora rotativa. Las bolsas de cemento una vez logrado el peso deseado (42.5 kg) son llevadas a través de fajas de salida a la balanza que clasifica las bolsas de cemento según su peso, las bolsas de muy bajo peso son descartadas en el rechaza bolsas y llevadas a una trituradora que rompe las bolsas y recupera el material de las bolsas descartadas. Las bolsas con el peso correcto son llevadas a través de las fajas del rechaza bolsas a las fajas de despacho. Las bolsas con peso adecuado son transportadas a distintas fajas móviles de despacho a través de los desviadores, luego de lo cual los estibadores acomodan las bolsas de cemento en los camiones.

2.2.1.2 Etapa de estibamiento

La estiba es la adecuada colocación y distribución de las mercancías en una unidad de transporte de carga (UTC), es decir un contenedor, una caja de camión, etc., dentro de un vehículo de transporte. La etapa de estibamiento de bolsas cemento puede ser visualizado en la Figura 2, el

cual consiste en la operación de retirar bolsas de una faja inclinada para luego ser apiladas sobre la plataforma del camión, esta operación se realiza por dos personas llamadas “estibadores”, la conformación de estas bolsas sobre la plataforma empieza en un primer nivel, en el cual las bolsas de cemento deben estar fijos sobre la plataforma o palet y conformar el primer nivel de 3 x 2 en filas x columnas e iniciar el siguiente y así sucesivamente hasta completar 8 niveles por cada palet.

Los estibadores, una vez culminado el carguío proceden a realizar la validación de bolsas cargadas en la unidad, ya que puede ser el caso que durante la manipulación puedan presentar daños, es por ello que deben realizar una inspección visual, y en el caso de tener desperfectos deben separar dicha bolsa defectuosa.



Figura 2: Estibamiento de bolsas de cemento en Empresa UNACEM

Fuente: Diario Gestión, 2018

2.2.2 Paletizado industrial

Un pallet es una unidad de carga que facilita el manejo de ésta con seguridad, consiste básicamente en bases separadas entre sí apoyadas sobre patas a una altura que permite la manipulación por medio de montacargas o camiones paleteros. Según el material de fabricación se tiene los siguientes tipos: Pallet de madera, plástico, metales, cartón. Se define al paletizado como una operación que consiste en la disposición de mercancías sobre un pallet, de forma agrupada que pueda ser manejado como una sola unidad para un determinado volumen de carga.

Los principales beneficios del paletizado industrial se observan en la tabla 1.

Tabla N°1: Beneficios del paletizado en actividades industriales

Actividades Industriales	Beneficios
Carga y descarga	Se mantiene la consistencia de los productos.
Manipulación	Fácil colocación en estanterías.
Almacenamiento	Máximo aprovechamiento de estanterías y áreas de almacenamiento.
Despacho	Minimiza tiempos de espera. Comodidad al movilizar lo almacenado hacia vehículos de despacho. Reducción de daños por manejo indebido de la mercadería.

Fuente: Peralo, 2015.

2.2.3 Paletizado automático

La automatización en el sector industrial es un proceso imprescindible para aumentar la productividad y rendimiento aplicado al manejo de mercancías en el área de paletizado. Según Peralo (2015) lo define como “Un sistema mecatrónico capaz de realizar la labor de paletizar automáticamente”.

Este sistema permite que la función de paletizar se realice sin la intervención de un operario, ya que mediante un programa estos sistemas tienen la capacidad de preparar el pallet y realizar la actividad de paletizado según el producto. La mayor ventaja de este sistema es que se aprovecha al máximo el espacio de trabajo, se evita problemas en el transporte de la carga y almacenamiento, y se reduce el tiempo de carga hacia el pallet a comparación de una operación manual. Cuví y Gómez, (2014). Existen dos tipos de paletizadora automática: Los sistemas continuos y los sistemas robóticos.

a) Sistema robótico para el paletizado:

Este sistema hace referencia a la utilización de un brazo robótico articulado para las funciones de recoger y agrupar la mercancía en una posición determinada hasta conseguir el palet armado, esto con el fin de facilitar su almacenamiento y transporte. Este sistema es recomendado en producciones medianas donde llegan productos de varias líneas de producción hacia el despacho, también en empresas que priorizan la conformación de varios palet simultáneos. Entre sus principales ventajas es que optimizan la zona de almacenamiento o despacho ya que ocupan un menor tamaño, reducen la

manipulación de mercancía y ofrecen una alta precisión en la colocación del producto, sin embargo, es mayormente usado para capacidades de carga de menor tamaño. Pérálo (2015). En la figura 3, se puede observar un robot paletizador de cajas realizando las funciones de armado de palet.



Figura 3: Sistema robótico para paletizado
Fuente: Revista de Robots, 2020

b) Sistema continuo para paletizado:

Este sistema realiza la función de paletizado mediante transportadores que realizan la alineación del producto y son empujados hacia una bandeja de carga, se conforman filas de productos que se depositan unas encima de otras hasta formar el pallet, estos sistemas son instalados al final de la línea de producción y forman parte de la línea de proceso. Entre sus principales ventajas es que son altamente robustos, son sistemas fiables y seguros con cinemáticas sencillas, trabajan a altas velocidades de producción, sin embargo, su mayor inconveniente es su tamaño. Pérálo (2015). En la figura 4, se puede visualizar un sistema automático continuo para el paletizado.



Figura 4: Sistema continuo para paletizado
Fuente: Peralo, 2015.

2.2.4 Robot industrial

Existen varias definiciones para el concepto de robot industrial, la definición comúnmente más aceptada es la de la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), que lo define como: “Un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas”. Están destinados en su mayoría a aplicaciones de manipulación peligrosas para el hombre o en lugares inaccesibles y en entornos difíciles. La robotización de un proceso requerirá de una inversión importante en una empresa y debe ser precedida de un estudio de viabilidad.

2.2.4.1 Componentes de un brazo robótico industrial

Según Iñigo y Vidal (2002), menciona que un brazo robótico industrial necesita como mínimo los siguientes componentes:

El brazo, es un sistema de articulaciones mecánicas conformado básicamente por: Eslabones, engranajes (transmisión por cadena o correa), actuadores (motores eléctricos, hidráulicos, neumáticas), sensores de posición y un manipulador. Iñigo y Vidal, (2002).

El controlador, es el dispositivo que se encarga de regular todos los movimientos del brazo robótico, generalmente basado en un

microcomputador, tiene una unidad central, memoria, dispositivos de alimentación e interfaces que le permiten el contacto con los comandos externos. Iñigo y Vidal, (2002).

La unidad convertora de potencia, recepciona los comandos enviados por el controlador y se encarga de la alimentación eléctrica de los motores que actúan en las articulaciones. Iñigo y Vidal, (2002). Estos componentes se visualizan en la Figura 5.

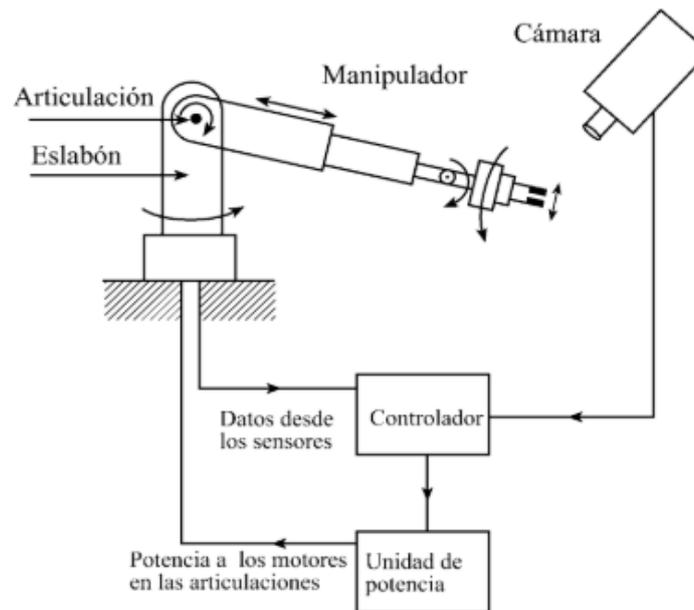


Figura 5: Componentes básico de un sistema robot manipulador.
Fuente: Iñigo y Vidal, 2002

2.2.4.2 Estructura mecánica de robots manipuladores

La estructura mecánica o brazo de un robot está constituido por una cadena formada por eslabones (ejes) consecutivos, unidos por medio de articulaciones o pares cinemáticos. Comúnmente la cadena tiene un extremo fijo llamado base y el otro extremo opuesto se encontrará libre para la fijación de un mecanismo que realizará el trabajo. Rentería y Rivas, (2000). Las articulaciones permiten el movimiento relativo entre los sucesivos eslabones.

Tipos de articulaciones:

El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro o de una combinación de ambos, De este modo se tiene los seis tipos diferentes de articulaciones que se muestran en la Figura 6.

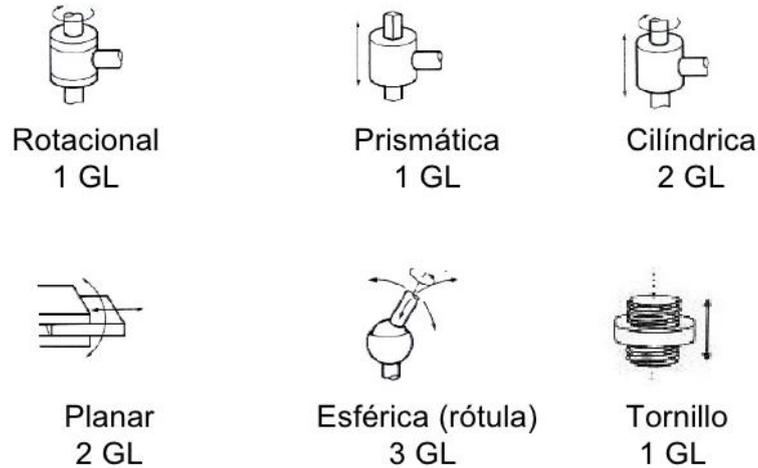


Figura 6: Principales tipos de articulaciones para robots.
Fuente: Oporto, 2010

Cada movimiento independiente que puede realizar cada articulación con respecto al anterior es denominado grado de libertad (GDL). El número de grados de libertad que tendrá el robot será dado por la suma de los grados de libertad de sus articulaciones, las articulaciones más empleadas para un brazo robótico vienen siendo las de rotación y la prismática que cuentan con 1 solo GDL cada una, es por ello que el número de GDL del robot puede coincidir con el número de articulaciones del que se compone. Barrientos, (2002).

2.2.4.3 Configuraciones principales de un brazo robótico

El empleo de las diferentes combinaciones de articulaciones en un robot nos brinda diferentes configuraciones con ciertas características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot.

Existen 4 configuraciones principales que son las más utilizadas para un brazo robot manipulador, estas tienen diferentes características de acuerdo con el espacio de trabajo y accesibilidad a posiciones determinadas.

En la Figura 7 se muestran estas configuraciones básicas. El espacio de trabajo hace referencia al conjunto de puntos en los que el efector final del manipulador podrá situarse, estos puntos delimitan el espacio de trabajo ya que para llegar a ellos se requiere una única orientación. Ollero, (2001).

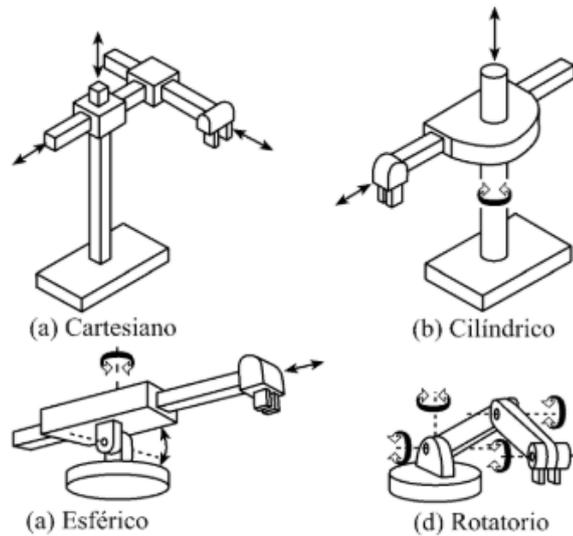


Figura 7: Principales configuraciones de los robots manipuladores
Fuente: Iñigo y Vidal, 2002.

En la tabla N°2 se especifica las principales características de las 4 configuraciones mencionadas.

Tabla N°2: Cuadro comparativo de las configuraciones de un brazo robótico

Configuraciones	Articulaciones	Características	Aplicaciones
Robot cartesiano	3 articulaciones tipo prismáticas.	Constituido por 3 eslabones perpendiculares entre sí, situados a lo largo de los ejes x, y, z.	- Máquinas de fresado o dibujo. - Control numérico.
Robot cilíndrico	1 articulación tipo rotacional y 2 prismáticas	Espacio de trabajo en forma de cilindro. La posición se especifica en coordenadas cilíndricas.	- Soldadura - Montaje y ensamblaje
Robot esférico	1 articulación prismática y 2 rotacionales	Permite un buen volumen de trabajo. La posición del extremo del tercer eslabón se especifica en coordenadas polares.	- Fundición a presión - Manipulación de herramientas.
Robot angular o rotatorio	3 articulaciones rotacionales	La posición del extremo final se especifica en coordenadas angulares	- Operaciones de paletizado. - Pintado en spray.

Fuente: Iñigo y Vidal, 2002.

2.2.5 Cinemática del robot

Se entiende por cinemática, al estudio del movimiento sin considerar las fuerzas que lo producen, las especificaciones del movimiento se refieren al extremo del robot o a un punto fijo de su herramienta, puesto que la orientación del extremo del robot es uno de los factores a controlar, las posiciones del robot son especificadas en forma de sistema de referencia con un punto de origen, expresado en coordenadas cartesianas y una terna de vectores que definirán la orientación deseada para el extremo del robot en ese punto. Por lo tanto, para especificar la posición y orientación de un objeto este debe estar asociado a un sistema de referencia. Rentería y Rivas (2000).

En la figura 8 se puede observar la aplicación de un robot móvil dotado de un manipulador, sea $\{V\}$ el sistema de referencia asociado al vehículo móvil y $\{B\}$ el asociado a la base del manipulador. El manipulador está definido por una cadena cinemática en cuyo extremo se tiene una muñeca definido por un sistema $\{M\}$. Otro sistema de referencia asociado al manipulador es el $\{H\}$, solidario a la herramienta que soporta la muñeca del manipulador y se tienen los sistemas relacionados a la tarea u objeto que se pretende manipular. Se identifica un sistema $\{O\}$ que permite definir donde se debe posicionar la herramienta para realizar la tarea, es conveniente definir $\{O\}$ con respecto a un sistema de referencia $\{P\}$ característico del espacio de trabajo en el que se realiza la tarea. Ollero (2001).

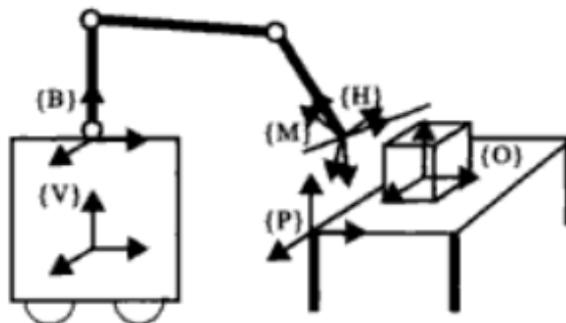


Figura 8: Asignación de sistemas de referencia en una aplicación robótica.

Fuente: Ollero, 2001.

En base al ejemplo anterior, se tiene que el sistema característico del espacio de trabajo $\{P\}$ está relacionado con respecto al robot mediante una transformación ${}^B_P T$.

Para realizar el movimiento de la herramienta en la posición final de trabajo, {H} debe coincidir con {O}, es por ello que para posicionar la herramienta interesa calcular {H} con respecto al sistema de referencia {P}, lo cual estará expresado mediante la siguiente ecuación:

$${}^B_H T = {}^B_P T^{-1} \cdot {}^B_M T \cdot {}^M_H T \quad \dots (1)$$

Siendo:

B: Base manipulador. Sistema referencia articulación 0.

P: Localización relevante para la tarea.

M: Muñeca, solidaria último segmento del manipulador.

H: Herramienta, solidaria extremo herramienta. Se define con respecto al sistema de la muñeca {M}.

La ecuación 1, permite definir un modelo general del robot que nos posibilitará calcular la posición de la herramienta que lleva el manipulador con respecto a un sistema de referencia del espacio de trabajo {P}. Finalmente, la transformación que involucra la cadena cinemática formada por las articulaciones y eslabones del robot estará representada por ${}^B_M T$, teniendo en cuenta que el sistema de referencia de las articulaciones es {0}, {1}, ..., {n}, y el sistema {B} coincide con el {0} así como el {M} coincide con el {n}. Según Ollero, el sistema {M} es definido con respecto a la base mediante la siguiente ecuación:

$$\{M\} = {}^B_M T = {}^0_n T \quad \dots (2)$$

Siendo:

B: Base manipulador. Sistema referencia articulación 0.

M: Muñeca, solidaria último segmento del manipulador.

Esta transformación será obtenida mediante ecuaciones cinemáticas del manipulador mediante el problema cinemático directo.

2.2.5.1 El problema cinemático directo

Un robot se considera una cadena cinemática conformada por eslabones entre sí mediante articulaciones, se puede debe establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia. Por lo tanto, el problema cinemático directo se basa en encontrar una matriz homogénea de transformación T en función de las coordenadas articulares que pueda relacionar la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo. Barrientos (2002).

2.2.5.2 Algoritmo de Denavit - Hartenberg

Es uno de los métodos de modelado cinemático más extendidos para resolver el problema cinemático directo, está orientado a una elección de parámetros y sistemas de referencia que sistematicen la obtención de la transformación de un sistema $\{S_{i-1}\}$ en el sistema $\{S_i\}$. Denavit y Hartenberg (D-H) proponen los siguientes pasos para resolver el problema cinemático directo:

- a) Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se numerará como eslabón 0 a la base fija del robot.
- b) Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando con n .
- c) Localizar el eje de cada articulación, si ésta es rotativa el eje será su propio eje de giro y si es prismática será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.
- d) Para i de 0 a $n-1$ situar el eje z_i sobre el eje de la articulación $i+1$.
- e) Situar el origen del sistema de la base $\{S_0\}$ en cualquier punto del eje z_0 . Los ejes x_0 e y_0 se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con z_0 .
- f) Para i de 1 a $n-1$ situar el sistema $\{S_i\}$ (solidario al eslabón i) en la intersección del eje z_i con la línea normal común a z_{i-1} y z_i . Si ambos ejes se cortasen se situaría $\{S_i\}$ en el punto de corte. Si fuese paralelos $\{S_i\}$ se situaría en la articulación $i+1$.
- g) Situar x_i en la línea normal común a z_{i-1} y z_i .

- h) Situar y_i de modo que forme un sistema dextrógiro con x_i y z_i .
- i) Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que z_n coincida con la dirección de z_{n-1} y x_n sea normal a z_{n-1} y z_n .
- j) Obtener θ_i como el ángulo que hay que girar en torno a z_{i-1} para que x_{i-1} u x_i queden paralelos.
- k) Obtener d_i como la distancia medida a lo largo de z_{i-1} que habría que desplazar $\{S_{i-1}\}$ para que x_i y x_{i-1} queden alineados.
- l) Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i que habría que desplazar el nuevo $\{S_{i-1}\}$ para que su origen coincida con $\{S_i\}$.
- m) Obtener α_i como el ángulo que habría que girar en torno a x_i para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincida con $\{S_i\}$.
- n) Obtener las matrices de transformación ${}^{i-1}_iA$.
- o) Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot $T = {}^0_1A, {}^1_2A \dots {}^{n-1}_nA$.
- p) La matriz T define la orientación y posición del extremo referido a la base en función de las n coordenadas articulares.

Siguiendo los pasos mencionados, podemos visualizar en la figura 9 los parámetros de D-H para un eslabón giratorio.

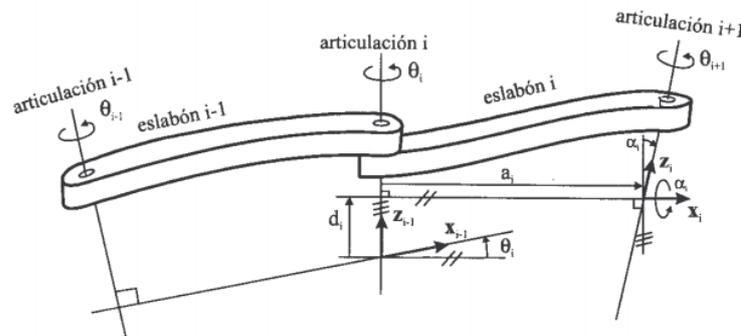


Figura 9: Parámetros de D-H en eslabones con articulación rotatorias
Fuente: Barrientos, 2002.

Según la representación de D-H, escogiendo adecuadamente los sistemas de coordenadas asociados a cada eslabón será posible pasar de uno al siguiente mediante 4 transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características geométricas del eslabón. Dado que el producto de matrices no es conmutativo, las transformaciones se han de realizar en el orden indicado según la siguiente ecuación:

$${}^{i-1}_i T = T_{\{Z_i, \theta_i\}} \cdot T_{\{0,0,d_i\}} \cdot T_{\{a_i,0,0\}} \cdot T_{\{X,\alpha_i\}} \dots (3)$$

Siendo:

θ_i : El ángulo que hay que girar en torno a Z_{i-1} para que X_{i-1} y X_i queden paralelos.

d_i : La distancia medida a lo largo del eje Z_{i-1} que habría que desplazar para que X_i y X_{i-1} quedaran alineados.

a_i : La distancia medida a lo largo del eje X_i que habría que desplazarse para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincidiese con $\{S_i\}$.

α_i : El ángulo que habría que girar en torno a X_i para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincidiese totalmente con $\{S_i\}$

Realizando el producto entre matrices de la ecuación (3) se tiene lo siguiente ecuación:

$${}^{i-1}_i T = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{i-1}_i T = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & 0 & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & 0 & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (4)$$

Donde:

$C\theta_i$: Cos θ_i

$S\theta_i$: Sen θ_i

$C\alpha_i$: Cos α_i

$S\alpha_i$: Sen α_i

θ, α, d, a : Son los parámetros D-H del eslabón i.

2.2.5.3 El problema cinemático inverso

Consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot $q = [q_1, q_2, q_3, \dots, q_n]^T$ para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial. El

método geométrico permite obtener los valores de las primeras variables articulares las que posicionan el robot. Se utilizan relaciones trigonométricas y geométricas sobre los elementos del robot. El método de desacoplamiento cinemático permite, para ciertos robots, resolver los primeros grados de libertad, dedicados al posicionamiento, de manera independiente a la resolución de los últimos grados de libertad, dedicados a la orientación. Cada uno de estos dos problemas más simples podrá ser tratado y resuelto por cualquier procedimiento. Barrientos, Peñin, Balaguer, & Aracil (2007).

2.2.6 Sensores

Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que está en función de la variable medida. Según Pallás, los sensores deben ser seleccionados teniendo en cuenta las siguientes características:

- Exactitud
- Precisión.
- Rango de funcionamiento.
- Velocidad de respuesta
- Calibración,
- Fiabilidad.
- Coste.

Según Pallás, la clasificación más común es según el tipo de variable medida, esta clasificación puede ser observada en la tabla N°3.

Tabla N°3: Clasificación según la variable a medir.

Clasificación de los sensores según la variable a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH
	Biométricos
	De corriente

Fuente: Pallás, 2005

2.2.6.1 Sensor óptico

Por emisión y recepción de luz. Tanto en el emisor como en el receptor existen pequeñas lentes ópticas que permiten concentrar el haz de luz y se encuentran en un mismo encapsulado. Generalmente trabajan por reflexión de luz, es decir, el emisor emite luz y si esta luz es reflejada por un objetivo el receptor lo detecta. Pallás (2005).

Los sensores ópticos están conformados por las siguientes partes:

- Fuente: Origina un haz luminoso usualmente con un led que puede tener un amplio rango en el espectro (incluyendo luz visible e infrarroja). Para la mayoría de las aplicaciones se prefiere las radiaciones infrarrojas pues son las que mayor porcentaje de luz emite y disipan menos calor.
- Receptor: El receptor recibe los pulsos de luz en sincronía con el emisor, esto permite ignorar radiaciones provenientes de otras fuentes.
- Lentes: Tiene la función de dirigir el haz de luz tanto en el emisor como en el receptor para restringir el campo de visión, esto trae como consecuencia aumentar la distancia de detección.
- Circuito de salida: Existen varios tipos de salidas discretas o digitales, se denominan así por tener dos estados y los más comunes son: NPN ó PNP.

Según el tipo de aplicación o modo de trabajo, los sensores ópticos se dividen en: Reflexión sobre objeto o réflex, reflexión sobre espejo y barrera óptica.

2.2.6.2 Codificadores ópticos

Estos sensores convierten un desplazamiento rotacional en una señal digital sin necesidad de un convertidor analógico – digital. En la figura 10 podemos ver un diagrama de su funcionamiento. La medida del desplazamiento se realiza contando las interrupciones de un haz de luz; como emisor puede emplearse una fuente incandescente o un diodo. El detector es típicamente un fotodiodo. Para medir el ángulo girado se cuenta el número de transiciones oscuro-luz y luz-oscuro, para ello es necesario un circuito que suministre un pulso positivo en cada transición. Pallás (2005).

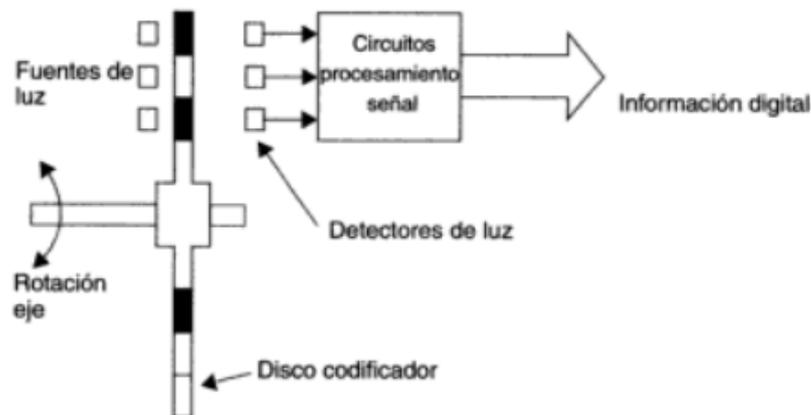


Figura 10: Principio de codificador óptico
Fuente: Ollero, 2001.

Los codificadores ópticos rotativos se dividen en 2 tipos: Tipo incremental y absoluto. En los codificadores ópticos absolutos produce un sólo código por cada posición angular del eje. Éste permite contar de 0 a 15: por lo tanto 16 desplazamientos diferentes. Ollero (2001).

2.2.6.3 Sensores capacitivos

Los sensores de proximidad capacitivos sensan objetos metálicos y no metálicos. La superficie de sensado está formado por dos electrodos concéntricos de metal de un capacitor. Cuando un objeto se aproxima a la

superficie de sensado éste entra al campo electrostático de los electrodos y cambia la capacitancia en un circuito oscilador. El circuito disparador lee la amplitud del oscilador y cuando alcanza un nivel específico la etapa de salida del sensor cambia. Conforme el objetivo se aleja del sensor, la amplitud del oscilador decrece conmutando al sensor a su estado original. Pallás (2005). En la figura 11 se puede observar un diagrama de funcionamiento de un sensor de proximidad capacitivo.

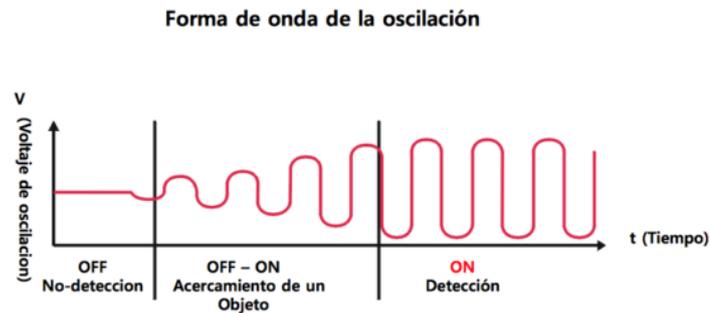


Figura 11: Diagrama de funcionamiento de sensor de proximidad capacitivo
Fuente: Ingeniería Mecafenix, 2017

Estos sensores dependen de la constante dieléctrica del objeto a medir, mientras más grande la constante dieléctrica de un material es más fácil de detectar.

2.2.7 Actuadores

Es un dispositivo mecánico que tiene como función proporcionar una fuerza para mover o actuar sobre los elementos del robot según las órdenes de la unidad de control. La fuerza que provoca el actuador puede provenir de 3 fuentes posibles: energía neumática, hidráulica y eléctrica. Barrientos (2012).

2.2.7.1 Actuadores eléctricos

Son los actuadores más usados en robots industriales por sus características de control, sencillez y precisión. Se dividen en 3 tipos diferentes: motores de corriente continua, motores de corriente alterna, motores paso a paso. Barrientos (2012).

Motores paso a paso

Es el convertidor electromecánico que permite la conversión de una señal en forma de energía eléctrica en una energía mecánica y una información de la posición. Está constituido por un estator cuyos devanados se llaman fases y un rotor de un elevado número de polos, es de funcionamiento síncrono y la alimentación cíclica de sus fases origina un cambio en la configuración del giro. Barrientos (2012).

Existen 3 tipos de motores paso a paso:

- De imanes permanentes.
- De reluctancia variable.
- Híbridos.

Motor de imanes permanentes: El rotor posee una polarización magnética constante y gira para orientar los polos de acuerdo con un campo magnético creado por las fases del estator, el ángulo de rotación se determina por el número de polos en el estator. En la figura 12 se puede visualizar el esquema de un motor con 4 fases. Barrientos (2012)

Motor híbrido de paso: Se caracteriza por tener varios dientes en el estator y en el rotor, el rotor con un imán concéntrico magnetizado axialmente alrededor de su eje. Se puede ver que esta configuración es una mezcla de los tipos de reluctancia variable e imán permanente. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par y se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8° . Barrientos (2012).

Motor de paso de reluctancia variable: Tiene un rotor multipolar de hierro y un estator devanado laminado, y rota cuando los dientes del rotor son atraídos a los dientes de estator electromagnéticamente energizados. La inercia del rotor de un motor de paso de reluctancia variable es pequeña y la respuesta es muy rápida, pero la inercia permitida de la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero. Generalmente, el paso angular de este motor de paso de reluctancia variable es de 15° . Barrientos (2012).

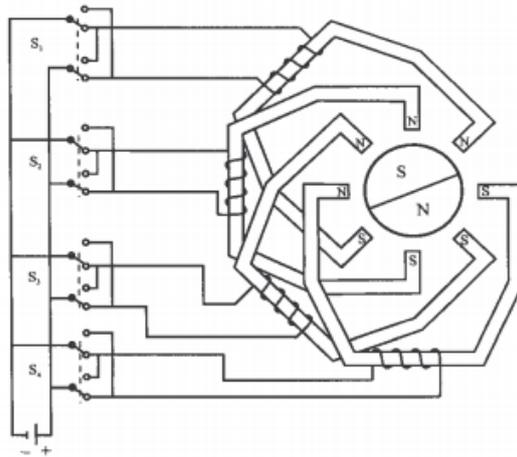


Figura 12: Esquema de un motor paso a paso de imanes permanentes con cuatro fases.
Fuente: Barrientos, 2012

2.2.7.2 Actuadores neumáticos

Son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico. Existen 2 tipos de actuadores neumáticos:

- Cilindros neumáticos.
- Motores neumáticos (de aletas rotativos o de pistones axiales).

Cilindros neumáticos, realizan el desplazamiento de un émbolo cerrado en un cilindro, estos pueden ser de simple o doble efecto. En los cilindros de simple efecto el émbolo se desplaza en un sentido como resultado del empuje ejercido por el aire a presión mientras que en el otro sentido se desplaza como consecuencia del efecto de un muelle. En la figura 13 se puede visualizar la estructura interna de un cilindro de doble efecto, el aire a presión es el encargado de empujar el émbolo en las dos direcciones al poder ser introducido de forma arbitraria en cualquiera de las dos cámaras. Barrientos (2012).

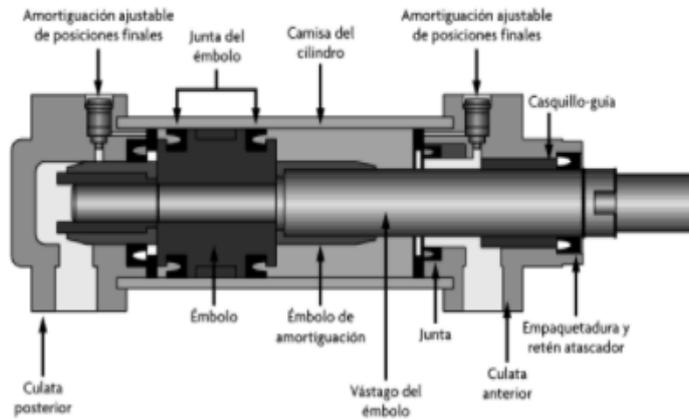


Figura 13: Estructura interna de un cilindro neumático de doble efecto.
Fuente: Corona, Abarca, Mares (2014)

2.2.8 Sistema de control

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de un proceso. Existen dos configuraciones de sistemas de control: Lazo abierto y lazo cerrado. En un sistema de control de lazo abierto la salida siempre se rige por la señal de entrada y no es capaz de realizar compensaciones a las perturbaciones que se suman a la señal de actuación del controlador, esto se debe a que carece de una retroalimentación. Un sistema de control de lazo cerrado mide la señal de la respuesta de salida y la compara con la señal de la respuesta de entrada mediante una trayectoria de retroalimentación, la cual permite estimar las perturbaciones exteriores para que estas puedan ser corregidas. Ollero (2001).

2.2.8.1 Elementos de un sistema de control de lazo cerrado

Medida: Sistema que mide la variable del proceso que queremos controlar y transmite su valor hacia el controlador.

Punto de consigna: Valor deseado para la variable controlada.

Comparador: Observa si hay diferencia entre el valor deseado y el de la variable controlada.

Regulador: En función de la diferencia calculada por el comparador, decide la acción que debe ejecutar el actuador, para que el proceso consiga el valor deseado.

Actuador: Elemento final de control, que es capaz de influir sobre la variable del proceso.

Proceso: Sistema dispuesto con el fin de mantener o modificar la variable controlada.

En la figura 14 se puede visualizar un esquema con todos los elementos de control.

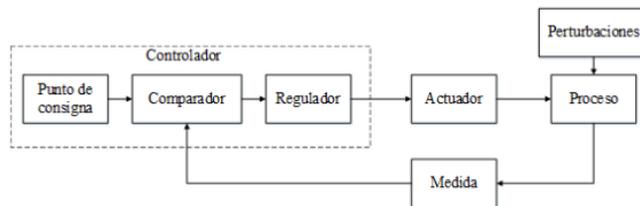


Figura 14: Esquema de control en lazo cerrado
Fuente: Valero,2015

2.2.8.2 Controladores

El controlador será el encargado de tomar las decisiones sobre las actuaciones a ejecutar en cada momento y el momento preciso a realizarlas con relación a las señales enviadas por los sensores y a la consigna impuesta. Algunos de los controladores más usados en la actualidad. Hernández (2018).

Controlador lógico programable (PLC), controlador digital de procesos, ordenador industrial (PCI), placas Arduino.

Para la presente tesis el controlador usado es un PLC.

2.2.8.3 Programador lógico programable (PLC)

Es un dispositivo electrónico de estado sólido que puede controlar un proceso o una máquina, fabricado para sustituir los circuitos secuenciales basados en relés que eran necesarios para el control de las máquinas.

Un PLC permite controlar un proceso o realizar una secuencia de acciones de manera automática a partir de un programa definido por el usuario. Hernández (2018).

Las ventajas de los PLC son las siguientes:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que no es necesario dibujar el esquema de contactos.

- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande como para almacenarlas.
- La lista de materiales a emplear es más reducida y, al elaborar el presupuesto correspondiente, se elimina parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la maquina queda fuera de servicio, el autómatas sigue siendo útil para controlar otra máquina o sistema de producción.

Las desventajas de los PLC son las siguientes:

- Hace falta un programador, lo que exige la preparación de los técnicos en su etapa de formación.
- La inversión inicial es mayor que en el caso de los relés, aunque ello es relativo en función del proceso que se desea controlar. Dado que el PLC cubre de forma correcta un amplio espectro de necesidades, desde los sistemas lógicos cableados hasta el microprocesador, el diseñador debe conocer a fondo las prestaciones y limitaciones del PLC. Por tanto, aunque el coste inicial debe ser tenido en cuenta a la hora de decidirse por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurarnos una decisión acertada.

Estructura Interna, compuesta de dispositivos electrónicos para poder alojar las instrucciones básicas del funcionamiento del PLC, así como las unidades para procesar instrucciones de un programa precargado y realizar las tareas especificadas en él. Hernández (2018). En la figura 15, se puede visualizar la estructura interna del PLC.

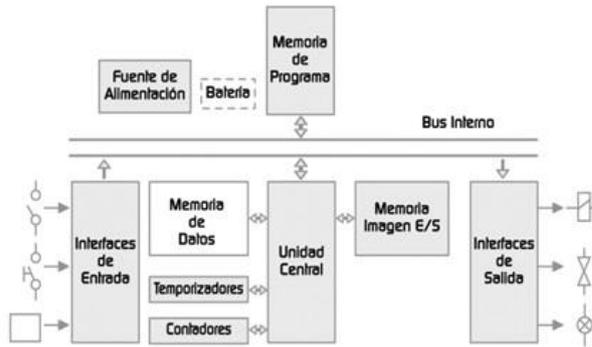


Figura 15: Estructura Interna de un PLC
Fuente: Hernandez,2018

Estructura Externa, hace referencia a lo correspondiente a los módulos de entradas y salidas digitales, fuente de poder, carcasa, indicadores led; contiene los elementos netamente tangibles del PLC.

2.2.8.4 SIMATIC S7-1200

El autómata que se utilizara es un modelo de PLC Siemens, en concreto S7-1200. Es un modelo de los denominados compactos que integra CPU, entradas y salidas digitales y también analógicas (dependiendo del modelo) y la fuente de alimentación también está integrada. Berrios (2013). Las características principales del SIMATIC S7-1200 puede observarse en la tabla 4.

Tabla 4: Características PLC S7-1200

Fabricante	Siemens
Módulo central	CPU 1214C AC/DC/relé
Programa correspondiente	Step 7 Basic
Tensión nominal de alimentación	230 VAC
Tensión nominal de carga	24 VDC
Consumo	Nominal 50 Ma, Máximo 150 Ma
Máxima Intensidad al conectar	20 A
Número de entradas analógicas	2
Número de entradas digitales	14
Número de salidas digitales	10 relé

Fuente: Siemens

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL BRAZO ROBÓTICO PALETIZADOR

En este capítulo se presenta el diseño del brazo robótico paletizador para la optimización dentro del proceso de despacho en la industria cementera., quien en adelante se llamará “KAMIBOT”, el cual está compuesto por 3 etapas. Estructura mecánica, etapa sensoría y el módulo de control.

3.1 Entorno del brazo robótico paletizador “KAMIBOT”

Se establece la ubicación de KAMIBOT en el área de paletizado considerando la disposición de la faja “Vía de rodillos” siendo el mecanismo encargado de transportar las bolsas de cemento hasta un límite extremo de la faja para que esté al alcance del brazo robótico. Esta disposición en de la zona de paletizado se puede observar en la figura 16.

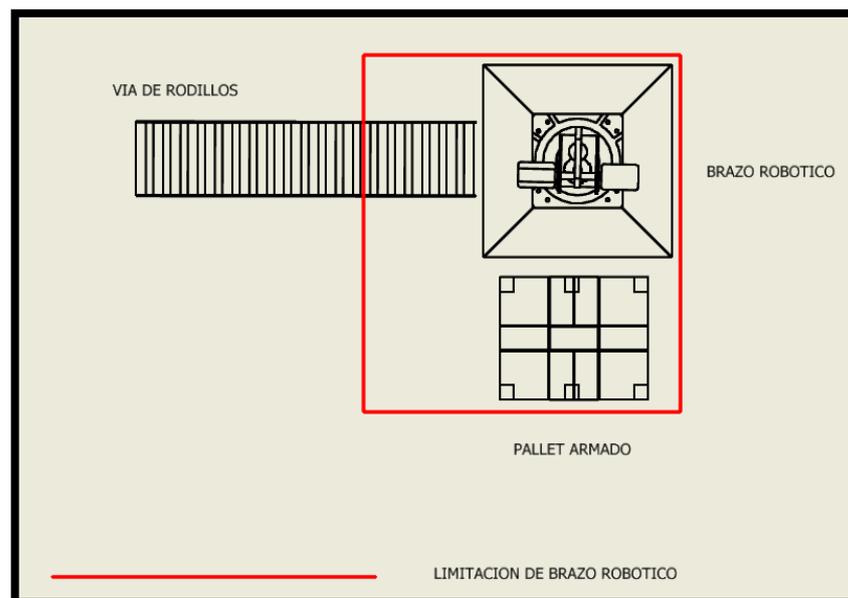


Figura 16: Vista superior – Disposición en el área de paletizado

Fuente: Elaboración Propia

El brazo robótico durante el armado del pallet debe contar con una configuración específica para garantizar una estabilidad en el producto final, para lo cual debe cumplir con lo siguiente:

- Las bolsas de cemento deben agruparse siguiendo una disposición de 2 x 3 en cada capa, como se observa en la figura 17. Siendo distribuidas de tal manera que hagan un amarre entre ellas para garantizar la estabilidad de la misma.

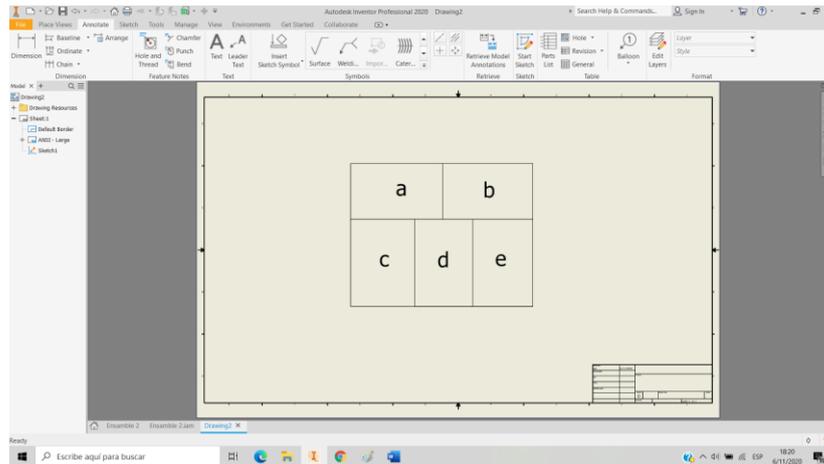


Figura 17: Distribución de 2x3 por cada capa del palet

Fuente: Elaboración Propia.

Siendo:

“a”: La posición 1 del cemento, situado al extremo izquierdo superior en orientación vertical.

“b”: La posición 2 del cemento, situado al extremo derecho superior en orientación vertical.

“c”: La posición 3 del cemento, situado al extremo izquierdo inferior en orientación horizontal.

“d”: La posición 4 del cemento, situado al costado de “c” en orientación horizontal.

“e”: La posición 5 del cemento, situado al extremo derecho inferior en orientación horizontal.

- El total de capas por palet debe ser de 8 niveles, como se aprecia en la figura 18. Siendo ésta la configuración estándar para el despacho en la industria cementera.

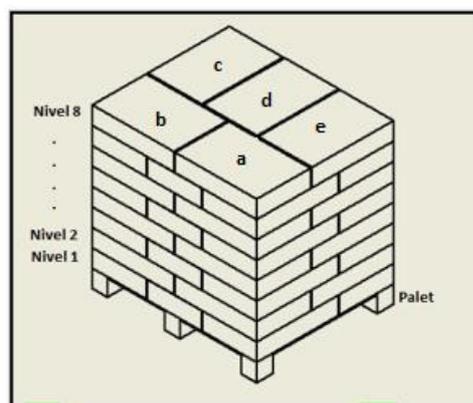


Figura 18: Disposición de la conformación del palet

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Diseño del sistema mecánico

Para el desarrollo del sistema mecánico delimitamos los requerimientos a considerar para la aplicación, en base a ello se definirá la configuración y GDL de KAMIBOT, el material de los eslabones, la disposición de los motores, la estructura mecánica del gripper, así como el modelamiento en 3D del sistema.

3.2.1 Requerimientos

Se definen los principales requerimientos mecánicos para el diseño del brazo robótico paletizador, estos se muestran en la tabla N°5.

Tabla 5: Parámetros del sistema.

Parámetros	Capacidad	Descripción
Grados de libertad requeridos	De 4 a 5 grados de libertad	El diseño del robot debe permitir posicionar la herramienta en toda la zona de armado de palet
Carga mínima requerida	42.5 kg	El diseño debe permitir cargar como mínimo el peso de una bolsa de cemento.
Dimensiones máximas	Altura máxima 2000mm	El alcance del brazo robótico KAMIBOT viene definido por la disposición del área de paletizado.
Temperatura de operación	2°C a 45°C	El área trabajo está ubicado en un espacio abierto
Grado de protección	Considerar una protección IP65	Estará expuesto a partículas en suspensión.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2 Elección de la estructura mecánica del brazo robótico

Tomando como base los requerimientos mecánicos mencionados en la tabla 5, se requiere como mínimo que el sistema tenga 4 grados de libertad, es por ello que se elige un brazo robótico de configuración angular del tipo RRRR (Rotacional – rotacional – rotacional - rotacional), con 3 eslabones en serie. Se considera esta configuración por ser similar a los movimientos del brazo humano y abarcar un mejor volumen de trabajo a comparación de las otras configuraciones. Los grados de libertad que dispone el robot son: uno en la base de rotación(A), otro en la articulación de rotación tipo hombro(B), un tercero en la articulación de rotación tipo codo (C) y finalmente una

articulación de rotación tipo muñeca (D) utilizado para la orientación del actuador final, como se puede observar en la figura 19.

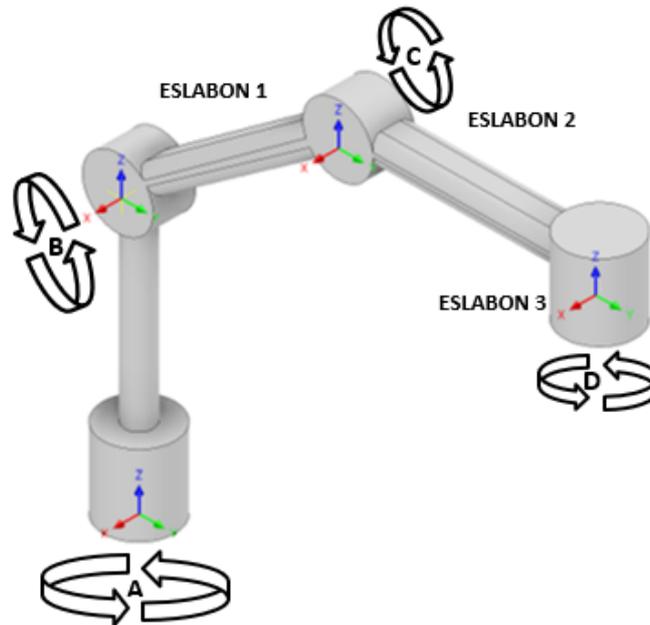


Figura 19: Estructura de mecanismo del brazo robótico
Fuente: Elaboración Propia Verificar figura

Según estas especificaciones asignamos las longitudes necesarias para conseguir posicionar la herramienta en dos puntos críticos en el extremo inferior más alejado sin carga en el palet, y en el extremo superior con el palet armado en el espacio de trabajo XYZ, conservando la perpendicularidad del “eslabón 3” con respecto al plano XY.

Del sistema propuesto se tiene las siguientes consideraciones:

- La articulación “A” con un movimiento perpendicular al plano XY es el encargado de rotar el brazo en ángulos de 0° a 90° .
- El tercer eslabón debe conservar perpendicularidad con respecto al plano de trabajo, la longitud de este eslabón será mínima.

3.2.3 Disposición mecánica de motores

El motor 1 se dispone de forma externa paralelo al eslabón 1, como se muestra en la figura 20, para una mejor maniobrabilidad en el mantenimiento, éste se encuentra acoplado a un engranaje recto con el fin de disminuir el torque requerido. Por otra parte, teniendo en cuenta evitar los momentos torsores

causados normalmente por la disposición del motor a un solo lado de los eslabones. Se consideró 2 opciones para la disposición de los motores 2 y 3:

1. Añadir contrapesos paralelos a cada motor en los ejes de las articulaciones “B” y “C”
2. Asignar la ubicación del motor 2 y 3 en el eje de la articulación “B”.

Se elige la opción 2, por ser la más beneficiosa para el sistema mecánico teniendo en cuenta que esta opción demandará un torque menor en el motor 3. Y finalmente, el motor 4 se dispone encima de la herramienta de trabajo. En la figura 20 se muestra la disposición final de los motores en la estructura mecánica.

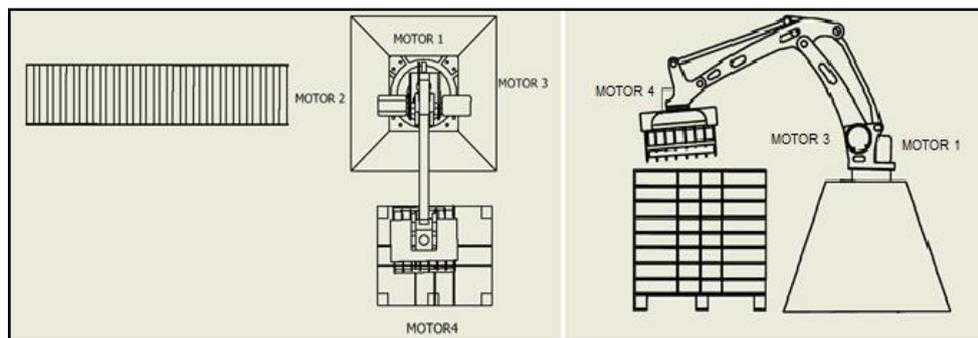


Figura 20: Disposición de los motores en la estructura mecánica
Fuente: Elaboración Propia

3.2.4 Selección del material de los eslabones

Se debe tener en cuenta que el material de fabricación de los eslabones debe ser ligero para evitar que esto aumente el torque requerido en el sistema, pero manteniendo una rigidez adecuada para evitar deformaciones en el material. Se analizan 3 materiales mayormente usados en este tipo de aplicaciones: Aluminio, acero al carbono, fibra de carbono. En la tabla 6 se mencionan las principales características de ambos materiales.

Tabla 6: Cuadro comparativo entre materiales de eslabones.

Características	Aluminio 6061	Acero al carbono	Fibra de carbono
Densidad	2.7g/cm ³	7.5g/cm ³	1.6g/cm ³
Módulo de elasticidad	68.9 G Pa	206.8 G Pa	200 GPa
Limite elástico	125 MPa	550 MPa	850 MPa
Dureza	95 HB	1-160 HB	45-65HB
Escala de costo	Medio	Bajo	Alto

Fuente: Elaboración Propia.

Se seleccionó aluminio 6061 por su baja densidad en comparación con el acero al carbono, estar dentro de la escala de costo medio. En el anexo 1.1 se detalla más características mecánicas del aluminio 6061.

3.2.5 Cálculo y modelamiento 3D de eslabones

Realizaremos el modelamiento 3D en el software Autodesk inventor por la facilidad en el ensamblaje de piezas y la interacción de la simulación mecánica.

Diseño de la estructura mecánica del Eslabón 2

En la figura 21, se muestra el diseño la estructura mecánica del eslabón 2, se trata de una pieza que al igual que el eslabón 3 debe soportar altas cargas, es por esto por lo que presenta una estructura sólida y resistente. Cuenta con 2 perforaciones en su estructura para aligerar su peso. Esta pieza es el punto de unión entre el eje 2 y el eje 3 por lo tanto, presenta en sus extremos dos zócalos para alojar las piezas y unir los ejes.

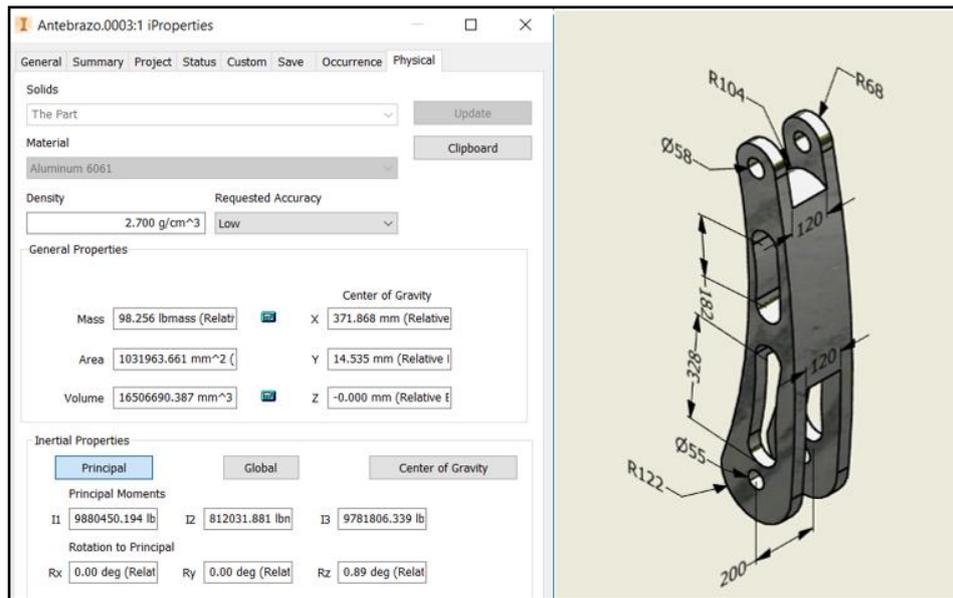


Figura 21: Diseño de la estructura del eslabón 2
Fuente: Elaboración Propia

Diseño del eslabón 3

En la figura 22, se muestra el diseño del eslabón 3, se consideraron 3 zócalos (A, B y C) para alojar las piezas y unir los ejes 3 y 4. Esta es una pieza que debe resistir grandes esfuerzos por lo que presenta una estructura sólida y resistente, además se consideró 3 perforaciones en su estructura para reducir el peso de la pieza manteniendo su resistencia. En la figura 24 se realizó la simulación en Autodesk Inventor respecto a una fuerza aplicada.

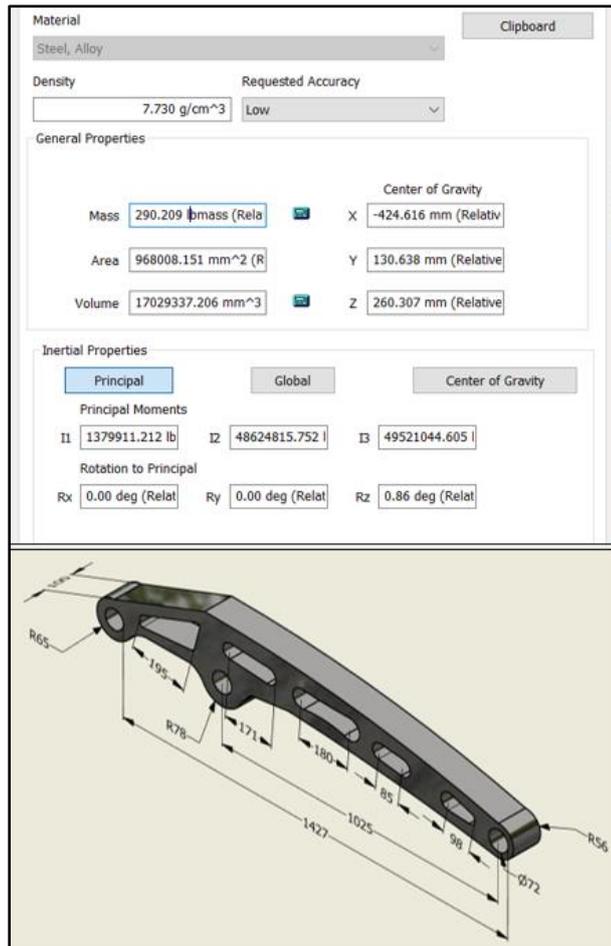


Figura 22: Diseño de estructura del eslabón 3
Fuente: Elaboración Propia

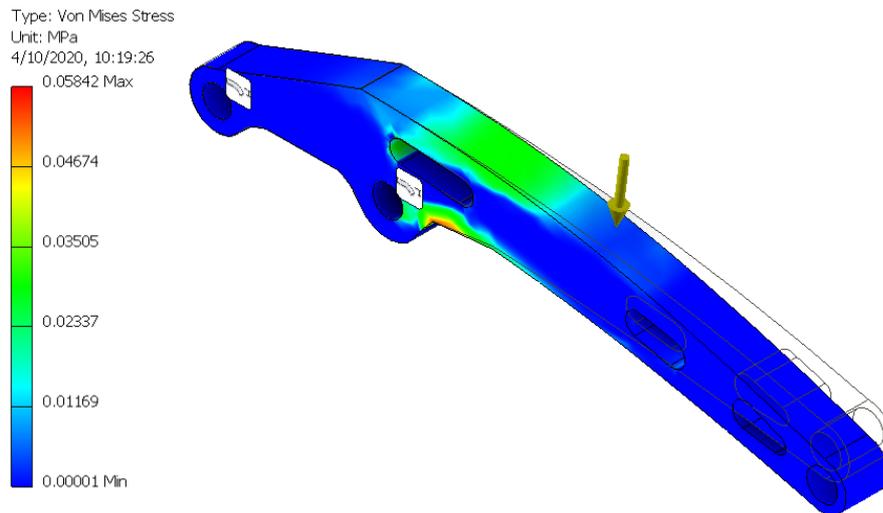


Figura 23: Análisis de Tensión en eslabón 3 en Software Inventor
Fuente: Elaboración Propia

Diseño del extremo del robot

En la figura 24, se muestra el diseño del extremo del robot destinado a interactuar con objetos del entorno. Posee el cuarto eje del robot encargado de dar la orientación del efector final siendo siempre paralelo al suelo.

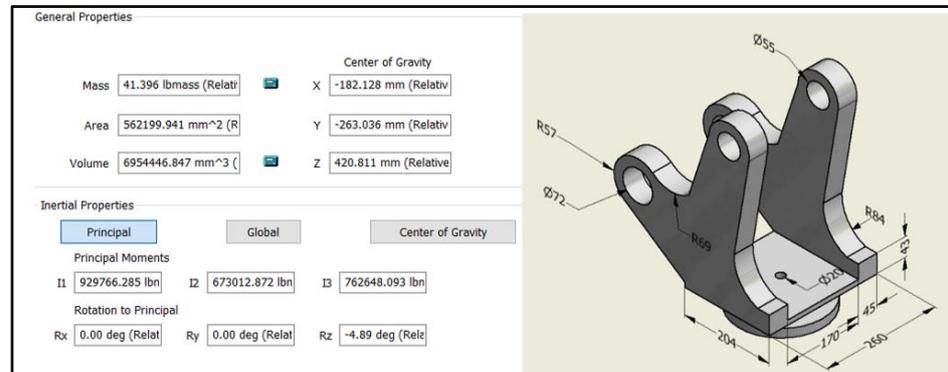


Figura 24: Diseño del extremo del robot

Fuente: Elaboración Propia

3.2.6 Diseño en 3D de la herramienta de trabajo

En la figura 25, se observa el diseño de la herramienta de trabajo para conseguir recoger las bolsas de cemento y trasladarlas hacia el área de paletizado, este diseño en 3D está basado en la herramienta de trabajo ya existente y funcional en el mercado industrial de la marca ABB

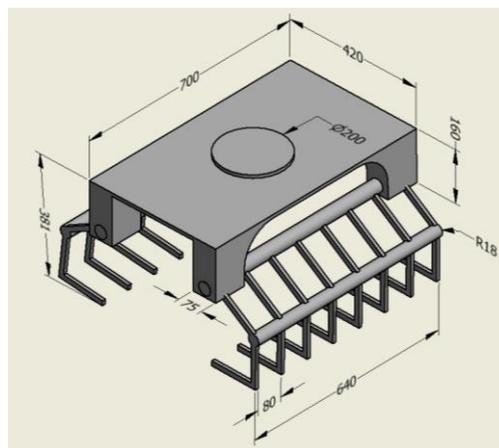


Figura 25: Diseño de la herramienta de trabajo

Fuente: Elaboración Propia

3.2.7 Diseño de la base

La base del robot es una pieza fundamental que representa la estructura del robot, Se realizó el diseño de la base considerando un soporte con 8 agujeros para la sujeción mediante pernos a la base de cemento, como se muestra en la figura 26.

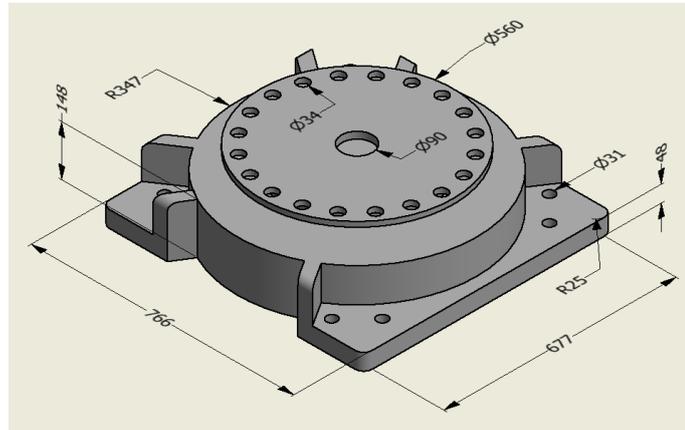


Figura 26: Diseño de la base
Fuente: Elaboración propia

3.2.8 Ensamblaje de la estructura mecánica

Con la herramienta de ensamblaje de Inventor y considerando las piezas descritas se procede al ensamblaje de brazo robótico conformado principalmente por la base del robot, eslabones, y la herramienta de trabajo como se puede visualizar en la figura 27.

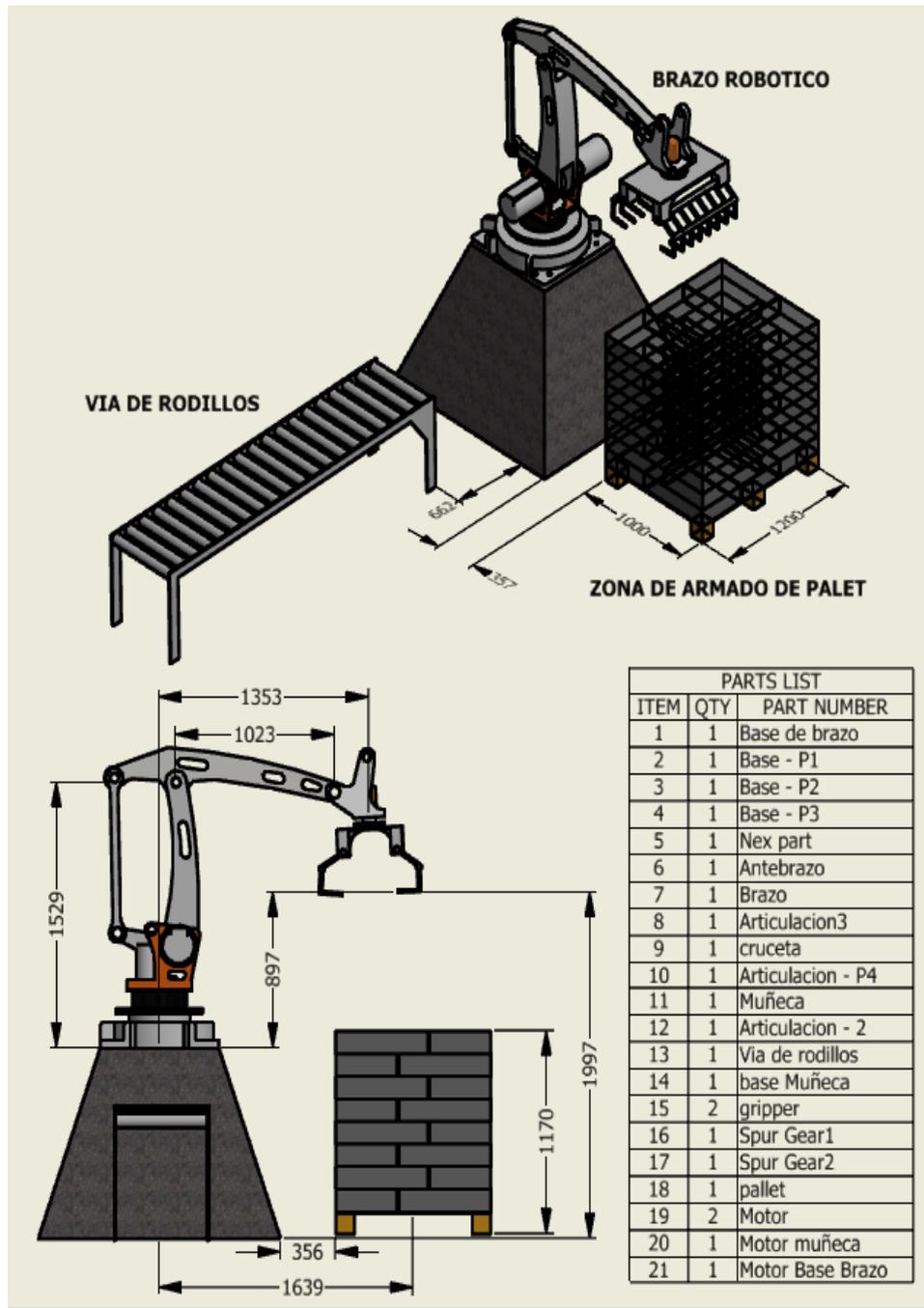


Figura 27: Estructura mecánica en el espacio de trabajo
Fuente: Elaboración Propia

3.2.9 Cinemática del robot

Una parte esencial para controlar una estructura robótica es su modelo cinemático, el cual sirve para conocer la relación entre la rotación de los actuadores y la posición y orientación del actuador final. Se obtienen los parámetros de Denavit – Hartenberg que nos ayudarán a determinar el espacio de trabajo del brazo, estos dependerán de la geometría del brazo y

construcción de este. En la figura 28 y 29 se puede visualizar la asignación de sistemas de referencia y ejes en cada articulación.

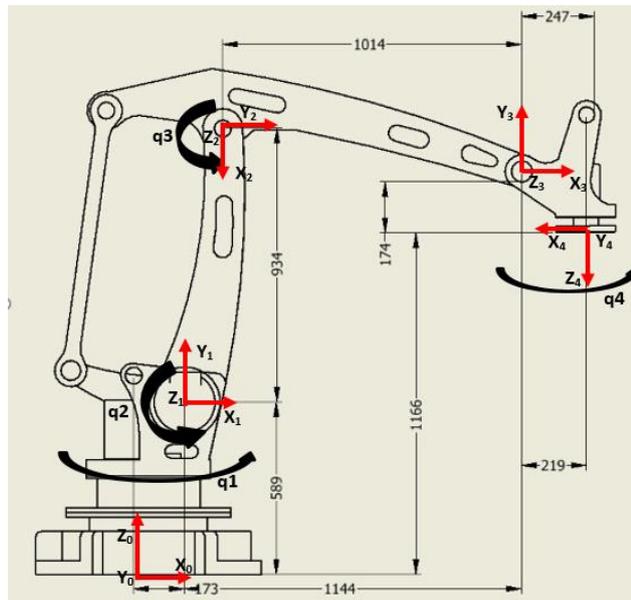


Figura 28: Asignación de sistemas de referencia según D.H.
Fuente: Elaboración Propia.

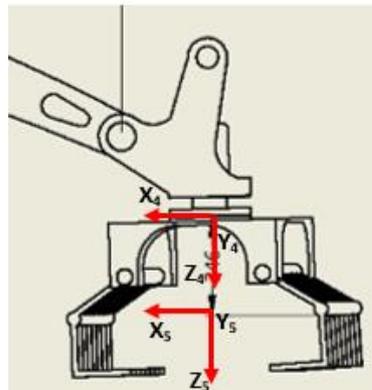


Figura 29: Asignación de sistema de referencia en herramienta de trabajo.
Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 7 se presentan los parámetros de Denavit y Hartenberg para el brazo robótico, estos se utilizan para encontrar las matrices de transformación por cada grado de libertad.

Tabla 7: Parámetros de D-H

Eslabón	Θ_i (°)	d_i (mm)	a_i (mm)	α_i (°)
1	q_1	589 mm	173 mm	90°
2	$q_2 - 90$	0	-934 mm	0°
3	$q_3 + 90^\circ$	0	1014 mm	0°
4	180°	174 mm	219 mm	-90°
5	q_4	246 mm	0	0°

Fuente: Elaboración Propia.

Para la resolución del problema cinemático directo se requiere la obtención de la matriz de transformación del sistema completo, es por ello que se obtendrá por separado cada una de las matrices de transformación de los eslabones según los valores mencionados en la tabla 6.

Matriz de transformación entre el eslabón 0 y el eslabón 1:

$${}^1_0T(\theta_1, d_1, a_1, \alpha_1) = \begin{pmatrix} \cos(q_1) & 0 & \sin(q_1) & 173 * \cos(q_1) \\ \sin(q_1) & 0 & -\cos(q_1) & 173 * \sin(q_1) \\ 0 & 1 & 0 & 589 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz de transformación entre el eslabón 1 y el eslabón 2:

$${}^2_1T(\theta_2, d_2, a_2, \alpha_2) = \begin{pmatrix} \cos(q_2 - 90^\circ) & -\sin(q_2 - 90^\circ) & 0 & -934 * \cos(q_2) \\ \sin(q_2 - 90^\circ) & \cos(q_2 - 90^\circ) & 0 & -934 * \sin(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz de transformación entre el eslabón 2 y el eslabón 3:

$${}^3_2T(\theta_3, d_3, a_3, \alpha_3) = \begin{pmatrix} \cos(q_3 + 90^\circ) & -\sin(q_3 + 90^\circ) & 0 & 1014 * \cos(q_3) \\ \sin(q_3 + 90^\circ) & \cos(q_3 + 90^\circ) & 0 & 1014 * \sin(q_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz de transformación entre el eslabón 3 y el eslabón 4:

$${}^4_3T(\theta_4, d_4, a_4, \alpha_4) = \begin{pmatrix} \cos(-90^\circ) & 0 & \sin(-90^\circ) & 219 * \cos(-90) \\ \sin(-90^\circ) & 0 & -\cos(-90) & 219 * \sin(-90) \\ 0 & 1 & 0 & 174 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz de transformación entre el eslabón 4 y el eslabón 5:

$${}^5_4T(\theta_5, d_5, a_5, \alpha_5) = \begin{pmatrix} \cos(q_4) & -\sin(q_4) & 0 & 0 \\ \sin(q_4) & \cos(q_4) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 246 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La matriz de transformación entre el eslabón 5 y el sistema de coordenadas de referencia queda de la siguiente forma:

$${}^5_0T = {}^1_0T \times {}^2_1T \times {}^3_2T \times {}^4_3T \times {}^5_4T \quad \dots \quad (8)$$

3.3 Diseño del sistema de transmisión y movimiento

En esta etapa se realiza el análisis del torque requerido para cada motor en una posición crítica del brazo robótico y se contempla la selección de motores para cada eje, A su vez se realiza un análisis para la selección del accionamiento de la herramienta de trabajo.

3.3.1 Cálculo de torque requerido para motores

Para la selección de los servomotores lo primero que se debe tener en cuenta es que un brazo robótico tiene similitud con el brazo del cuerpo humano, por este motivo las articulaciones de este están limitadas, es decir, ninguna tiene una rotación completa.

El segundo parámetro que se debe tener en cuenta es el peso de cada articulación, es por ello que mediante Autodesk Inventor obtenemos información sobre cada eslabón, asignamos el material de aluminio 6061 para cada eslabón, como se muestra en la figura 30 y figura 31, verificamos sus características según dimensiones y morfología del diseño; en la tabla N°8 consolidamos las características necesarias para el cálculo.

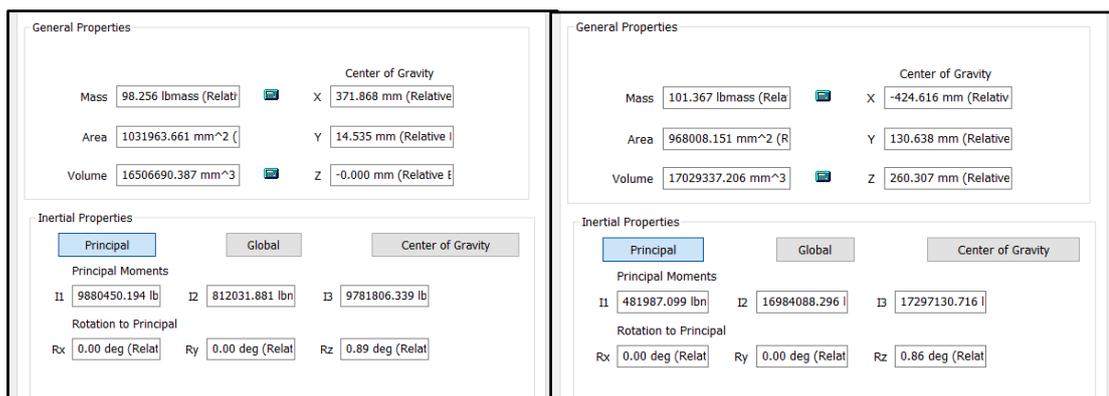


Figura 30: Características técnicas eslabón 1 y 2 mediante el Software Autodesk Inventor.
Fuente: Elaboración Propia.

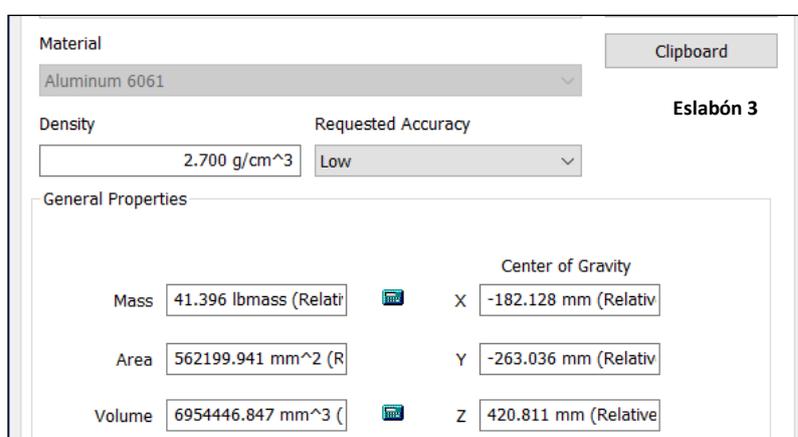


Figura 31: Características técnicas del eslabón 3 mediante el Software Autodesk Inventor.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°8: Características de masa, área y volumen de cada eslabón

Número de eslabón	Masa (Kg)	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Eslabón 1	44.56 kg	1.03 m ²	0.016 m ³
Eslabón 2	45.97 kg	0.97 m ²	0.017 m ³
Eslabón 3	18.77 kg	0.56 m ²	0.007 m ³

Fuente: Elaboración Propia

Con esta información se procede a calcular los torques necesarios para cada articulación, con el fin de tener un punto de partida para la selección de los actuadores que serán los óptimos para su funcionamiento.

Para calcular los torques se debe posicionar el brazo robótico de una forma muy crítica, esta se consigue estirando el brazo y dejando que actúe la fuerza de gravedad sobre él, posteriormente se realiza el diagrama de cuerpo libre, como se observa en la figura 32.

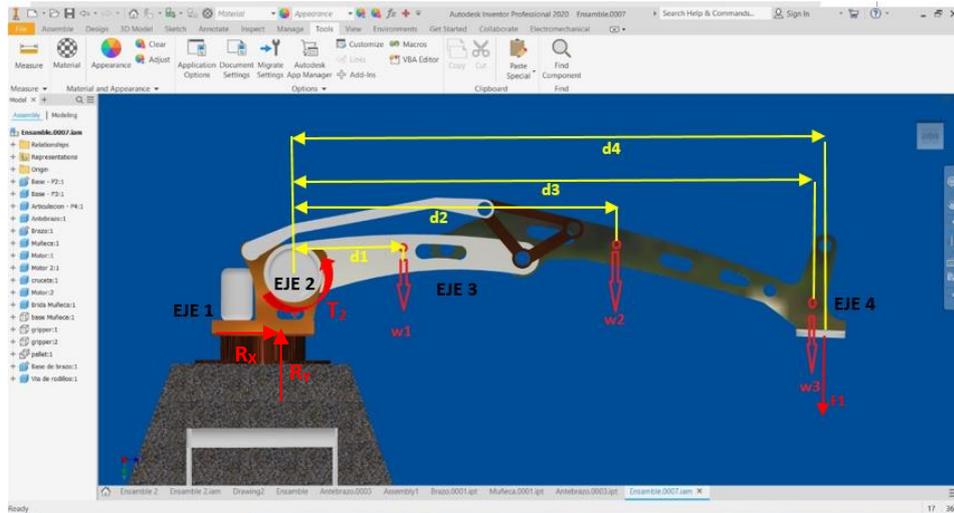


Figura 32: Diagrama de cuerpo libre en posición Horizontal para cálculo del eje 2
Fuente: Elaboración Propia.

Siendo:

W1, el peso del eslabón 1.

W2, el peso del eslabón 2.

W3, el peso del eslabón 3.

d1, La distancia desde el eje 2 hacia el centro de gravedad del eslabón 1.

d3, La distancia desde el eje 2 hacia el centro de gravedad del eslabón 2.

d4, La distancia desde el eje 2 hacia el centro de gravedad del eslabón 3.

F1, La fuerza que ejerce el peso de la carga.

Del proceso se sabe que $F1 = 42,5 \text{ Kg}$, asimismo según la tabla N° 8, se tiene que:

$W1 = 44.56 \text{ kg}$; $W2 = 45.97 \text{ kg}$; $W3 = 18.77 \text{ Kg}$

Inicialmente se aplicará estática para hallar la reacción Ry en la base 1 según el diagrama de cuerpo libre.

$$\sum F = 0$$

$$Rx = 0$$

$$Ry = W1 + W2 + W3 + F1$$

$$Ry = 151.8 \text{ Kg}$$

La fuerza Ry es importante para realizar un análisis estructural a los componentes como pernos de anclaje de la base.

Mediante una evaluación en el software Autodesk inventor se tiene que:

$$d1=0.39 \text{ m}, d2 = 0.43 \text{ m}, d3 = 1.15 \text{ m}, d4= 2.11 \text{ m}; d5= 2.20 \text{ m}$$

Se plantean las siguientes fórmulas necesarias para el cálculo del torque:

$$\bar{T} = (\text{Fuerza} * \text{Distancia} * \sin \theta) \quad \dots (9)$$

- Para calcular el torque requerido en el eje 2, se tiene en cuenta las fuerzas que actúan sobre éste.

$$T_2 = W1 * d2 + W2 * d3 + W3 * d4 + F1 * d5 \quad \dots (10)$$

$$T_2 = 44.56 * 0.43 + 45.97 * 1.15 + 18.77 * 2.11 + 42.5 * 2.20$$

$$T_2 = 205.12 \text{ Kg.m}$$

- Para calcular el torque requerido en el eje 3, se tiene en cuenta las fuerzas que actúan sobre éste, como se puede observar en la figura 33.

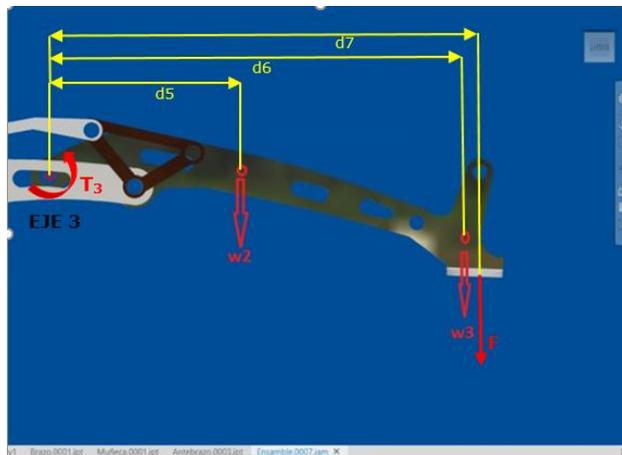


Figura 33: Diagrama de cuerpo libre en posición Horizontal para el cálculo del eje 3
Fuente: Elaboración Propia

Del software Autodesk Inventor se tiene que:

$$d5= 0.69 \text{ m}; d6= 1.19 \text{ m}; d7 =1.21 \text{ m}$$

Aplicando cálculo estático para el eje 3, considerando la suma de momentos y suma de fuerzas igual a 0 para el equilibrio del cuerpo.

$$T_3 = W2 * d6 + W3 * d7 + F1 * d8 \quad \dots (11)$$

$$T_3 = 45.97 * 0.69 + 18.77 * 1.19 + 42.5 * 1.21$$

$$T_3 = 105.46 \text{ Kg.m}$$

- Para el análisis en el eje 4, se realiza el cálculo del torque necesario para generar el movimiento de rotación de la herramienta de trabajo, usando la ecuación de torque en función de inercia. Para los cálculos respectivos se consideró el diagrama mostrado en la figura 34.

$$\sum T = I * \alpha \quad \dots (11)$$

Donde:

T: Torque.

I: Momento de inercia.

α : aceleración angular.

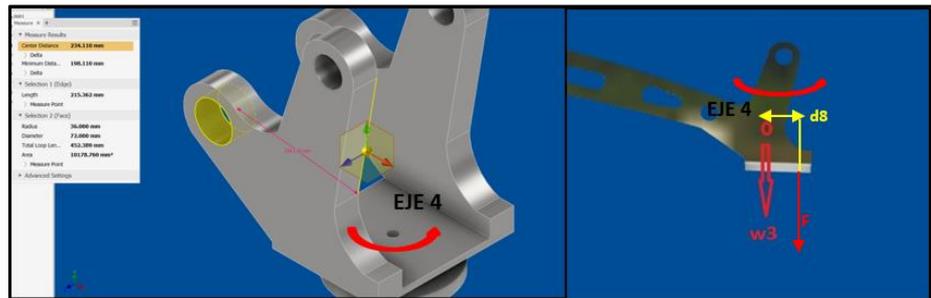


Figura 34: Diagrama de fuerzas que intervienen para el cálculo de inercia en el Eje 4
Fuente: Elaboración Propia

Se calcula el momento de inercia mediante la ecuación 12, los pesos a considerar:

W3= 18.77 Kg; F=42.5 Kg y la longitud del cuerpo, d8=0.10 m

$$I = \sum \frac{1}{2} * M_i * R_i^2 \quad \dots (12)$$

$$I = \frac{1}{2} * 18.77 \text{Kg} * (0) + \frac{1}{2} * 42.5 \text{Kg} * (0.10)^2$$

$$I = 0.21 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

Se calcula la aceleración angular mediante la ecuación 13, considerando una velocidad angular de 80rpm y un tiempo de 1s deseados para el cálculo.

$$\omega = 8.37 \text{ rad/s}$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha * t$$

$$\alpha = 8.37 \text{ rad/s}^2$$

Reemplazando en la ecuación 11:

$$T_4 = 0.21 \text{Kg} * m^2 * 8.37 \text{ rad/s}^2$$

$$T_4 = 1.75 \text{ N.m}$$

Teniendo en cuenta la ecuación 12:

$$P = T * \omega \quad \dots (12)$$

Siendo:

ω : Velocidad angular en rad/s.

$$P = 1.75 \text{ N.m} * 8.37 \text{ rad/s} \quad \dots (12)$$

$$P = 14.64 \text{ W}$$

El último torque que se calculó es del primer eslabón, ya que para éste es necesario conocer el peso total de los motores seleccionados; entre otras variables, para realizar el análisis correspondiente.

- Para el análisis en el eje 1, se realiza el cálculo del torque necesario para generar el movimiento de rotación del brazo robótico, usando la ecuación de torque en función de inercia. Para los cálculos respectivos se consideró el diagrama mostrado en la figura 35.



Figura 35: Diagrama de fuerzas que intervienen para el cálculo de inercia en el Eje 1

Fuente: Elaboración Propia

Se calcula el momento de inercia mediante la ecuación 12, los pesos a considerar $W_1 = 44.56 \text{ kg}$; $W_2 = 45.97 \text{ kg}$; $W_3 = 18.77 \text{ Kg}$, y distancias se calculan mediante el Software inventor:

$$I = \sum \frac{1}{2} * M_i * R_i^2 \quad \dots (12)$$

$$I = \frac{1}{2} * 44.56 * 0.56^2 + \frac{1}{2} * 45.97 * (0.6)^2 + \frac{1}{2} * 18.77 * (2.28)^2 + \frac{1}{2} * 42.5Kg * (2.37)^2$$

$$I = 183.38 Kg * m^2$$

Se calcula la aceleración angular, considerando una velocidad angular definida para el diseño de 20rpm y un tiempo de 1s deseados para el cálculo.

$$\omega = 2.09 \text{ rad/s}$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha * t$$

$$\alpha = 2.09 \text{ rad/s}^2$$

Reemplazando en la ecuación 11:

$$T_1 = 183.38Kg * m^2 * 2.09 \text{ rad/s}^2$$

$$T_1 = 383.26 \text{ N.m}$$

Dado que no se han considerado el peso de los motores en cada eje para el cálculo del eje 1 se considerará un factor de seguridad de 2. Teniendo en cuenta ello el T1 requerido será de 766.52 N.m

Con los cálculos obtenidos, se obtiene la tabla N°9 donde se detalla el torque requerido en los motores para cada eje.

Tabla N°9: Torque requerido para los motores

Torque para cada eje	Torque en Kg.m	Torque en N.m
Torque para el motor 1	78.16	766.52
Torque para el motor 2	205.12	2011.54
Torque para el motor 3	105.46	1034.20
Torque para el motor 4	0.17	1.75

Fuente: Elaboración Propia.

Con estos valores se procede a seleccionar los actuadores que formaran parte del diseño.

3.3.2 Selección de motores

Dentro de los accionamientos industriales más conocidos se encontraron motores paso a paso, servomotores y motorreductores, por el alto torque requerido se eligió utilizar servomotores acoplados a reductores. Se eligió la combinación de reductores planetarios y servomotores por ser una solución óptima para aplicaciones dinámicas y de alta precisión. Se buscó opciones en el mercado industrial y se encontraron servomotores y reductores planetarios de marcas reconocidas como: SCHNEIDER ELECTRIC, SEW EURODRIVE,

WEG, decidiéndonos por la marca SEW EURODRIVE por tener una propuesta integral de servorreductores planetarios.

Para la selección de los motores del eje 2 y eje 3, se considera la tabla N°10, que brinda las características técnicas de los servorreductores de la serie PS.F de la marca SEW EURODRIVE.

Tabla N°10: Tabla de selección Servorreductores planetarios Serie PSF.

TIPO	TAMAÑO 1ETAPA/ 2 ETAPAS	CLASE DE PAR (Nm)	RANGO DE CARGA RADIAL (N)	INDICES DE REDUCCIÓN	DE	HOLGURA ANGULAR ESTÁNDAR
PS(K) F	121/122	25	1920-2000			8"/10"
	221/222	55	1720-2680	Una etapa: 3,4,5,7,10.		6"/8"
	321/322	110	4380-5480			
	521/522	300	6150-9610	Dos etapas: 16,20,25,28,35,40, 49,70,100		4"/6"
	621/622	600	13400-14200			
	721/722	1000	25700-35900			
	821/822	1750	51400-62800			
921/922	3000	55000-83300				

Fuente: SEW EURODRIVE.

Teniendo en cuenta la tabla N°10 se selecciona el motor para el eje 2, siendo el modelo **PSKF 921/922** que entrega un par de motor de 3000Nm.

Teniendo en cuenta la tabla N°10 se selecciona el motor para el eje 3, siendo el modelo **PSKF 821/822** que entrega un par de motor de 1750Nm. Para la selección del motor a requerir en el eje 4, se tiene en cuenta que el par de motor es menor y por ello que se escoge el modelo CMP de la línea de servomotores de la marca SEW EURODRIVE, que se observa en la tabla N°11.

Tabla N°11: Selección Servomotor Serie CMP, marca EURODRIVE

MODELO	VELOCIDAD NOMINAL	M ₀ (Nm)	M _{pK} (Nm)
CMP71M /	2000 / 3000 /	9.4	30.8
CMPZ71M	4500 / 6000		

Fuente: Elaboración Propia.

Por último, para el motor del eje 1 se tiene en cuenta las características del diseño mecánico del brazo robótico y el espacio limitado en la base, es por ello que se selecciona un Servomotorreductor de ejes paralelos de la serie F de la marca SEW EURODRIVE como se observa en la tabla N°12.

Tabla N°12: Servomotorreductor de ejes paralelos Serie F, marca EURODRIVE

REDUCTOR		MOTOR
TAMAÑO DEL REDUCTOR	TAMAÑO	RANGO DE PAR
27	40M-71M	15-157
37	40M-71M	14-240
47	40M-80S	18-435
57	50S-112S	26-645
67	50S-112S	30-920
77	63S-112M	62-1530
87	71S-112E	137-3090
97	80S-112E	275-4360
107	80L-112E	490-8860

Fuente: SEW EURODRIVE

En los anexos se detalla mayores características de los motores seleccionados.

3.3.3 Selección de accionamiento de herramienta de trabajo

Existen diversos tipos de sistemas para el accionamiento de la herramienta de trabajo, teniendo en cuenta que la fuerza necesaria para la carga es de 42.5 kg se evaluará los 3 tipos de sistemas más usados en aplicaciones industriales, como se muestra en la tabla N°13.

Tabla N°13: Comparativo de Sistemas de accionamiento para herramienta de trabajo

Tipo de Sistema	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Energía a utilizar	Aire a Presión 5-10 Bar	Aceite mineral 50 – 100 Bar	Corriente Eléctrica
Instalación y mantenimiento	Instalación especial (Compresor, filtros)	Difícil mantenimiento Instalación Especial (Filtro, eliminación de Aire)	Sencilla instalación y mantenimiento.
Capacidad de carga	Capacidad Media	Capacidad Alta	Capacidad Baja
Escala de costo	Bajo	Alto	Bajo

Fuente: Elaboración Propia.

Se seleccionó el sistema neumático por ser más económico, robusto frente a los otros dos sistemas. En el anexo 1 se detallan más características de los sistemas neumáticos.

Una vez seleccionado el tipo de sistema a utilizar, se evalúan las diversas marcas que existen en el mercado como: SMC, FESTO, BURKERT, AZCO. Se optó por SMC, por su bajo costo, altas prestaciones y disponibilidad de repuestos en el mercado.

Se elabora la secuencia para el accionamiento neumático de la herramienta de trabajo mediante el Software Fluidsim como se muestra en la figura 36.

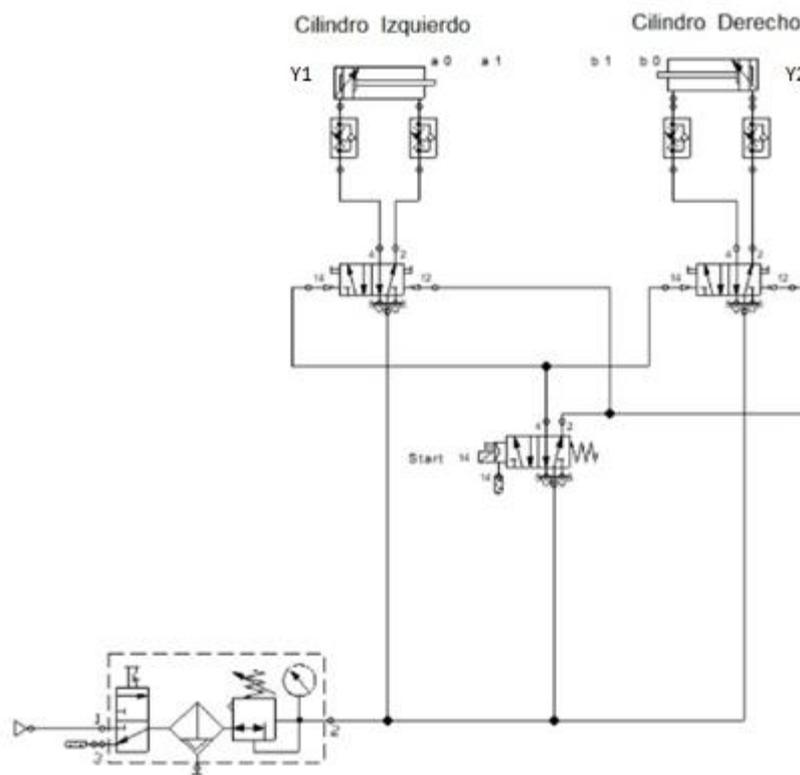


Figura 36: Diagrama de accionamiento neumático en software Fluidsim
Fuente: Elaboración Propia

Funcionamiento de accionamiento neumático para herramienta de trabajo:

- Al energizar electroválvula Y1, el “Cilindro Izquierdo” y “Cilindro Derecho” se desplazan simultáneamente logrando que el gripper cierre.
- Al energizar electroválvula Y2 “Cilindro Izquierdo” y “Cilindro Derecho” se contraen logrando que el gripper se abra.

- Estas 2 secuencias de apertura y cierre serán ejecutadas según la secuencia de programación.

3.4 Diseño de la etapa sensorica

En esta etapa se realiza la selección de sensores requeridos por el sistema robótico para las funciones de paletizado.

3.4.1 Requerimientos

Se definen los principales requerimientos para el diseño de la etapa sensorica, estos se muestran en la tabla N°14.

Tabla N°14: Parámetros de la etapa sensorica

Parámetros	Elección	Descripción
Posición inicial	4 sensores de contacto.	El sistema debe ser capaz de entregar al software, la confirmación de posición inicial del brazo robótico
Proximidad	1 sensor de proximidad	Debe tenerse en cuenta que el sensor de proximidad a seleccionar debe poder detectar materiales de papel para no tener inconvenientes de lectura con las bolsas de cemento.
Protección IP	IP55	Se debe considerar la protección IP adecuada para los componentes electrónicos contra el polvo del ambiente.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2 Sistema de Sensores

El sistema de sensores para el brazo robótico KAMIBOT está constituido por los sensores de posición inicial para cada motor, y un sensor de proximidad para confirmar el inicio del proceso de paletizado, los cuales servirán como retroalimentación al controlador brindando precisión y seguridad en el sistema robótico.

3.4.3 Sensor de proximidad

Existen diversos tipos de sensores de proximidad, teniendo en cuenta los parámetros de la tabla N° 14, se evaluará los 3 tipos de sensores más usados en aplicaciones industriales, como se muestra en la tabla N°15.

Tabla N°15: Comparativo de sensores de proximidad industriales.

Tipo de sensor	Capacitivo	Fotoeléctrico	Ultrasónico
Distancia de alcance	<60mm	<200 metros	<15 metros
Materiales detectados	Cualquier material	Todo tipo de piezas incluso materiales transparentes	polvo, metal, sólido, líquido, vidrio translúcido, plástico, cartón, madera, etc
Perturbaciones	Frente a la humedad o vapores densos	Frente a la suciedad de su entorno	Frente a corrientes de aire o variaciones de temperatura.
Escala de Costo	Medio	Bajo	Alto

Fuente: Elaboración Propia.

Se seleccionó el sensor tipo ultrasónico por tener una distancia de alcance necesaria para el sistema y no tener perturbaciones frente a la suciedad del entorno. En el anexo 2.1 se detallan más características de los sensores tipo ultrasónicos.

Una vez seleccionado el tipo de sensor de proximidad a utilizar, se evalúan las diversas marcas que existen en el mercado como: SICK, TELEMECANIQUE, PEPPERL+FUCHS. Se optó por el sensor ultrasónico de la marca SICK, modelo UM12-1192261, mostrado en la figura 37. Asimismo, en la tabla N°16 se detallan sus principales características técnicas.



Figura 37: Sensor ultrasónico UM12-1192261, marca SICK
Fuente: SICK

Tabla N° 16: Principales características del sensor ultrasónico UM12-1192261

Características técnicas	Descripción
Tensión de alimentación	Corriente continua, 10 V – 30 V
Consumo de energía	≤ 1.2 W
Peso	15 g
Grado de protección	IP 65
Alcance de trabajo	40 mm a 350 mm
Tiempo de respuesta	30 ms
Precisión	+0.15%
Salida analógica	Salida de corriente, 4 a 20 Ma

Fuente: SICK

En el anexo 2.2, se adjunta el datasheet del sensor UM12-1192261 así como el detalle del conexionado electrónico.

3.4.4 Sensor de contacto

Son utilizados para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos. Existen diversos tipos de accionamiento de limit switches como se muestran en la figura 38.

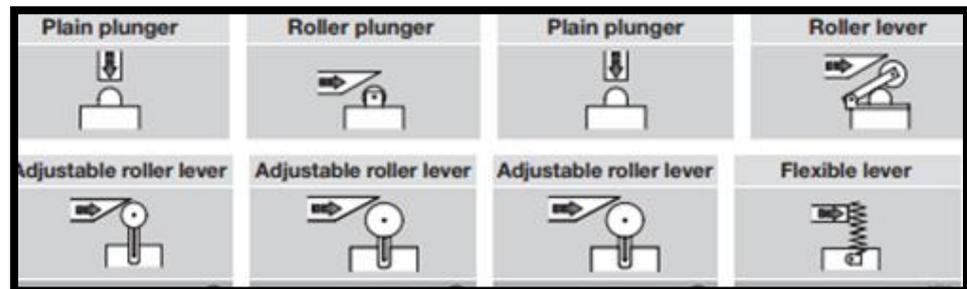


Figura 38: Tipos de accionamiento de limits switches

Fuente: ABB

Se consideraron 4 finales de carrera de accionamiento tipo rodillo para los 4 motores que componen el sistema robótico. Se realizó la evaluación de 3 marcas reconocidas como Telemecanique, ABB, Schneider, en la tabla N°17.

Tabla N°17: Cuadro comparativo de limit switches

Final de carrera	Telemecanique Modelo: XCKP2145G11	ABB Modelo LS35P76D11-S	Schneider Modelo: XCKS141H29
Material del cuerpo	Plástico	Acero inoxidable	Plástico
Contactos	1 NC + 1 NA	1 NC + 1 NA	1 NC + 1 NA
Par mínimo de disparo	0.1 N.m	0.1 N.m	0.1 N.m
Máxima velocidad de accionamiento	1.5 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
Endurancia Mecánica	10,000000 ciclos	10,000000 ciclos	20,000.000 ciclos
Peso	0.145 kg	0.170 kg	0.165 kg
Protección IP	IP 66	IP 67	IP 66
Escala de costo	Bajo	Medio	Bajo

Fuente: Elaboración Propia

Se seleccionó el interruptor modelo XCKS141H29 de la marca Schneider que se muestra en la figura 39, teniendo en cuenta que tiene una mayor endurancia mecánica de 20, 000000 ciclos y una escala de costo bajo a comparación de los otros modelos. En el anexo 2.3 se adjunta la hoja técnica del interruptor.



Figura 39: Interruptor XCKS141H29 marca Schneider
Fuente: Schneider Electric

3.5 Diseño de la etapa de control

En esta etapa se desarrolla el diagrama de funcionamiento del brazo robótico KAMIBOT, se efectúa la selección del PLC para el control del sistema, se desarrolla los diagramas de bloque de la rutina principal y de las subrutinas de programación, y diseña el entorno de interfaz gráfico para el usuario.

3.5.1 Requerimientos

Se definen los principales requerimientos para el sistema de control, estos se muestran en la tabla N°18.

Tabla N°18: Parámetros de la etapa de control

Parámetros	Elección	Descripción
Interfaz Robot – Usuario	HMI	Supervisión por panel del brazo robótico.
Salidas del PLC	4 salidas de pulso para servomotores	Se requiere de un mínimo de 4 salidas de pulso en el PLC para el control de servomotores

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.2 Diagrama de estructura general de KAMIBOT

En la figura 40, se muestra el diagrama de la estructura del sistema robótico KAMIBOT, este cuenta con 5 sistemas esenciales. El sistema de alimentación, el sistema de procesamiento de datos, el sistema de control, el sistema de sensores y el sistema de transmisión y movimiento.

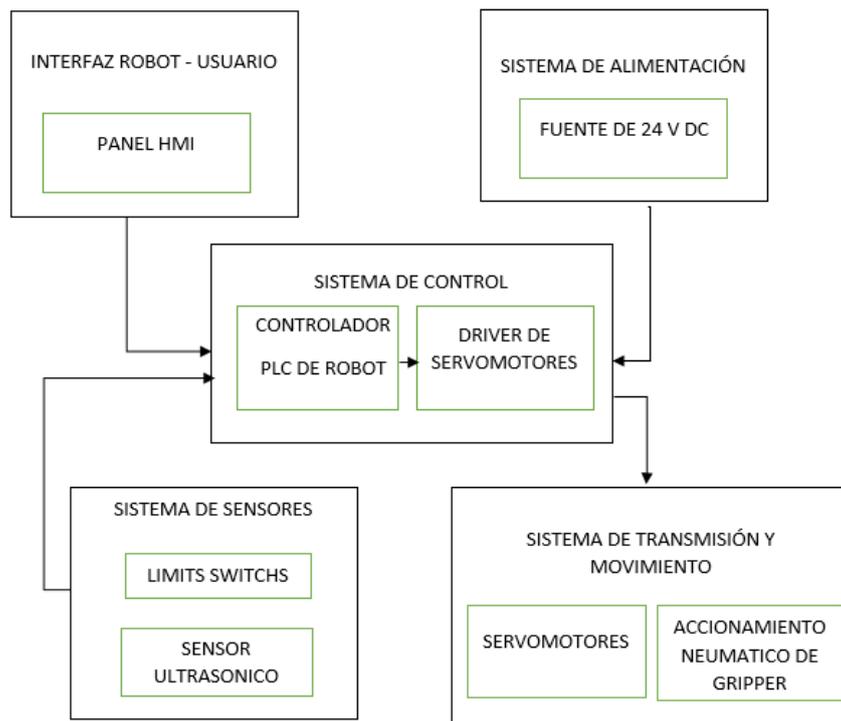


Figura 40: Diagrama de estructura general del Brazo Robótico KAMIBOT
Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 Elección del Controlador Lógico Programable

Teniendo en cuenta los parámetros de la tabla N° 16 se optó por utilizar el PLC modelo SIMATIC S7-1200, siendo éste el modelo de la marca SIEMENS para pequeños sistemas de automatización que requieren funciones simples y/o avanzadas de control. El CPU tiene incorporado: Un microprocesador, una fuente de alimentación propia, entradas y salidas de alta velocidad.

El PLC S7-1200 cuenta con 3 tipos de CPU, cada una de ellas posee gran capacidad de expansión. En la tabla N° 19 se realiza el comparativo de los 3 tipos de CPU.

Tabla N°19: Comparativo entre CPU1211C, CPU1212C y CPU1214C.

Características	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU1214C
Memoria de usuario de trabajo	25 KB	25 KB	50 KB
E/S digitales integradas locales.	6 entradas 4 salidas	8 entradas 6 salidas	14 entradas 10 salidas
E/S analógicas integradas locales.	2 entradas	2 entradas	2 entradas
Ampliación con módulo de señales	Ninguna	2	8
Salidas de pulsos Incorporadas	2	3	4
Contadores rápidos	3	4	6
Velocidad de ejecución	18 us	18 us	18 us
Escala de costo	Bajo	Medio	Medio

Fuente: Siemens

Se optó por el PLC S7-1200 con CPU 1214C, por tener las entradas digitales necesarias para los sensores y 4 salidas de pulso necesarios para el accionamiento de los motores del sistema robótico. En el anexo 3.1 se adjunta la hoja técnica del CPU 1214C.

En la figura 41, se muestra el diagrama de cableado del PLC S7 – 1200 CPU 1214C DC/DC/DC (6ES7214-1AG40-0XB0).

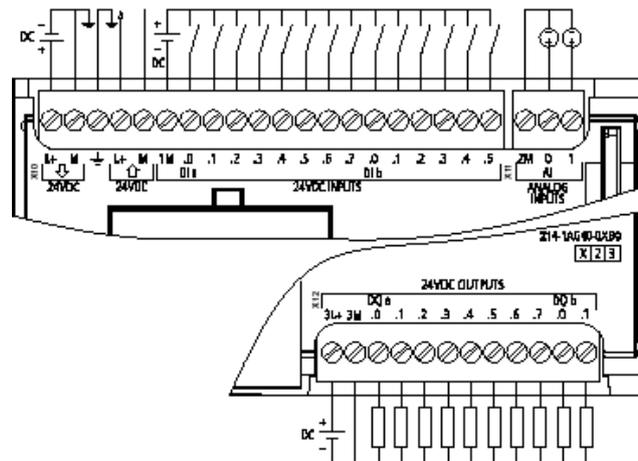


Figura 41: Diagrama de cableado PLC S7-1200
Fuente: Siemens

3.5.4 Comunicación PLC – HMI

Para iniciar la comunicación entre el PLC y HMI, se conecta el Panel (HMI), el Autómata Programable (PLC) y el computador (PC) al switch de comunicaciones por medio de cables Ethernet, como se muestra en la figura 42.

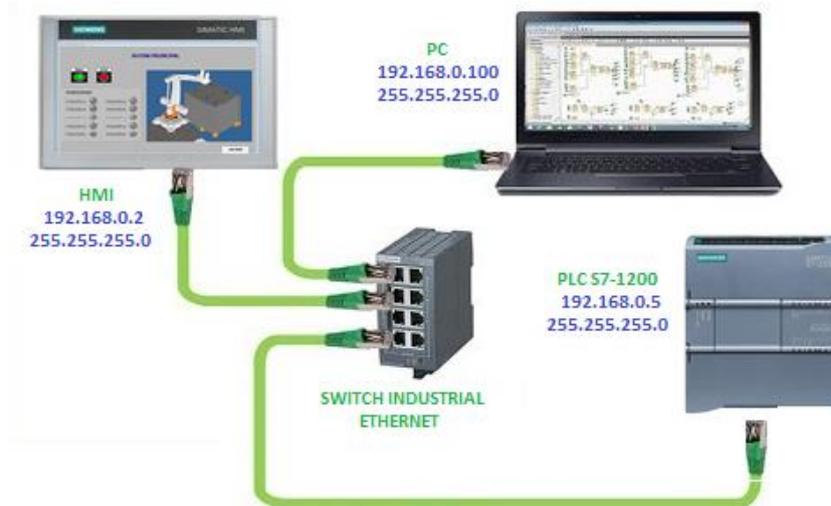


Figura 42: Circuito de conexionado HMI – PLC S7-1200- PC
Fuente: Elaboración Propia

Para establecer la comunicación Ethernet se utilizó el software TIA PORTAL, seleccionando el CPU 1214C DC/DC/DC, referencia 6ES7 214-1AE30-0XB0. Se eligió el HMI KTP 400 y se estableció la conexión Controlador – HMI.

Para poder garantizar la comunicación entre estos equipos se debe seleccionar la opción Configuración de dispositivo en el Proyecto, seleccionar el equipo, posteriormente ingresar al panel propiedades y verificar la dirección IP del PLC y máscara subred, además para el HMI se debe seleccionar una dirección IP dentro del mismo rango que la dirección del PLC como se muestra en la figura 43.

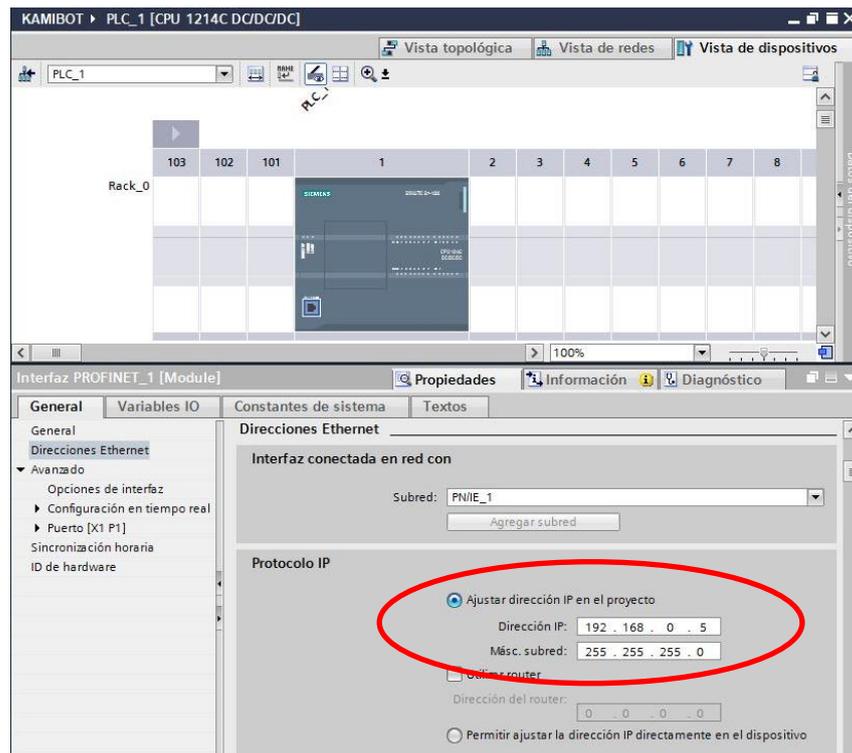


Figura 43: Dirección IP del PLC
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la dirección IP del PLC, se asigna otras direcciones IP dentro del mismo rango para los otros sistemas de control, detallados en la tabla N° 20.

Tabla N°20: Configuración de dirección IP para los sistemas de control

Configuración	HMI	PLC	Computador
Dirección IP	192.168.0.2	192.168.0.5	192.168.0.100
Máscara Subred	255.255.255.0	255.255.255.0	255.255.255.0

Fuente: Elaboración Propia

Una vez configurada la dirección IP de los otros sistemas, podemos visualizar la ventana de comunicación en la red Ethernet entre el PLC y la pantalla HMI, como se puede observar en la figura 44. En el anexo 6 se adjunta hoja técnica del HMI KTP 400.

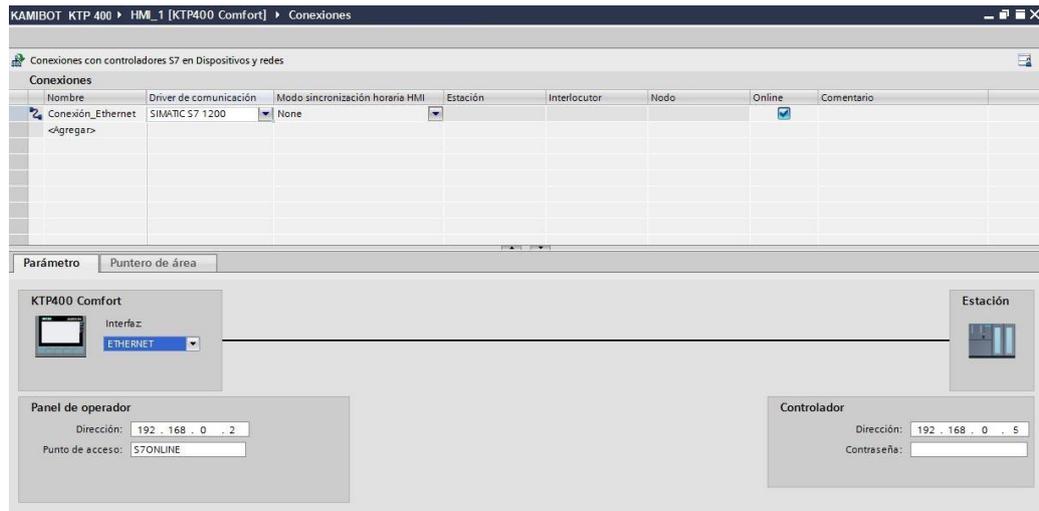


Figura 44: Pantalla de comunicación entre el PLC y HMI
 Fuente: Elaboración Propia

3.5.5 Programación para “Asignación de Posiciones”

Se realizó el diagrama de flujo según la lógica de programación para la asignación de posiciones de manera inicial, esta se dividirá en una rutina general y diversas subrutinas.

3.5.5.1 Diagrama de flujo Rutina de “Asignación de Posiciones”

Los bloques mostrados en la figura 45, representan el diagrama de flujo para la asignación de posiciones del robot. El brazo robótico debe encontrarse en su posición inicial; esto se logra haciendo girar los motores hasta activar los limit switch ubicados en cada articulación. Posteriormente se debe ingresar el número de posición a asignar en el software de panel de usuario, se realiza la lectura de los valores de giro del motor enviados por el software para el accionamiento de los motores, de conseguir la posición requerida se guardarán los valores asignados, caso contrario se volverá a realizar la lectura de valores. Para la rutina general de paletizado se han considerado 13 posiciones necesarias.

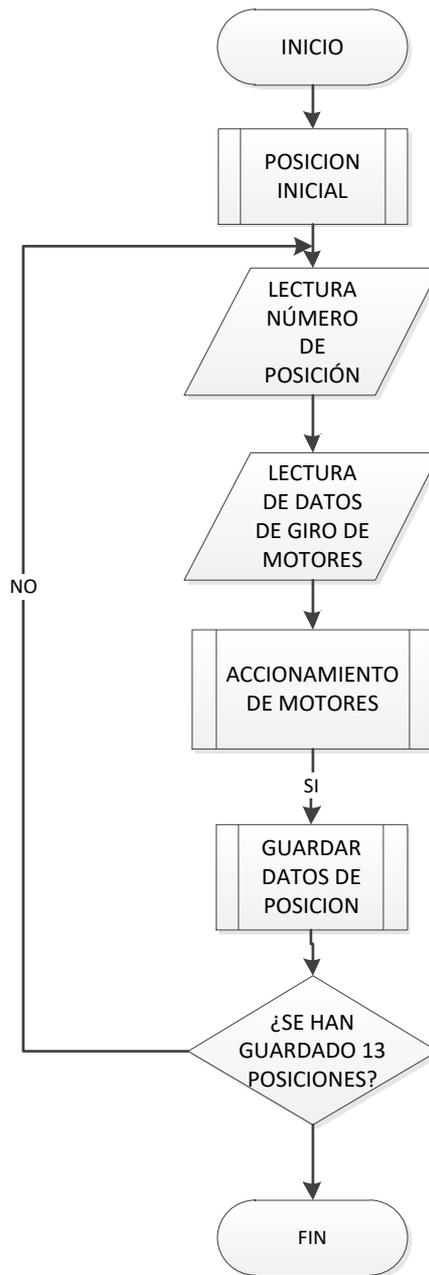


Figura 45: Rutina de asignación de posiciones
Fuente: Elaboración Propia.

3.5.5.2 Diagrama de flujo Subrutina Posición inicial

Los bloques mostrados en la figura 46, representan el diagrama de flujo para la posición inicial del robot. Se comprueba si el limit switch 1 asociado a la base se encuentra presionado, al no estar presionado se hace girar el motor de la base con parámetros establecidos por defecto hasta que el limit switch ubicado en esa articulación sea activado de forma satisfactoria. Seguidamente se repite el procedimiento para la

articulación del hombro (asociado al limit switch 2), del codo (asociado al limit switches 3), y de la articulación de la muñeca (asociado al limit switch 4).

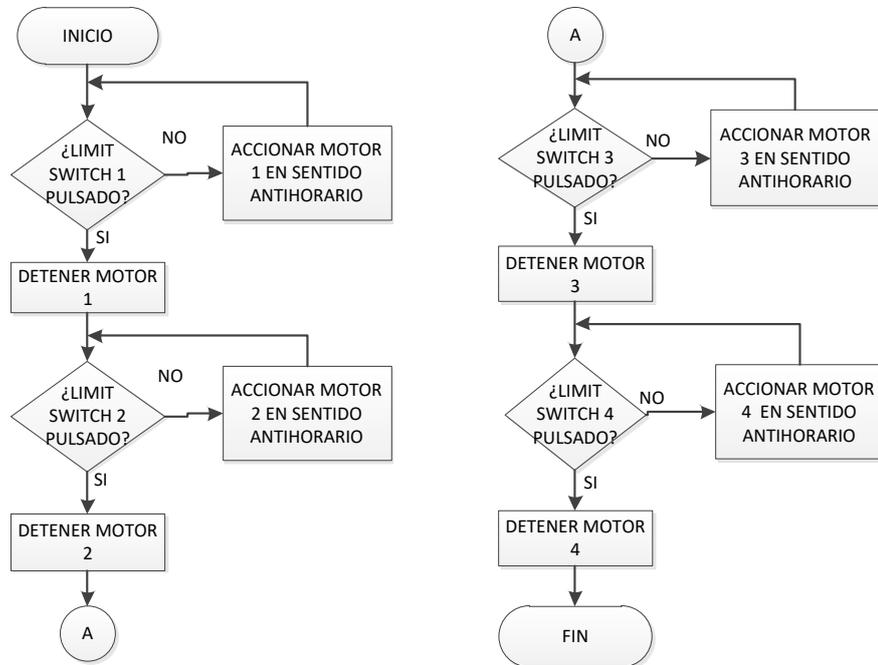


Figura 46: Sub Rutina de Posición inicial
Fuente: Elaboración Propia.

3.5.5.3 Diagrama de flujo Subrutina Lectura de datos

Los bloques mostrados en la figura 47, representan el diagrama de flujo de la subrutina de lectura de datos provenientes del panel de usuario, donde se ingresan los grados de giro para cada motor, estos serán leídos para dar instrucción a los servomotores.

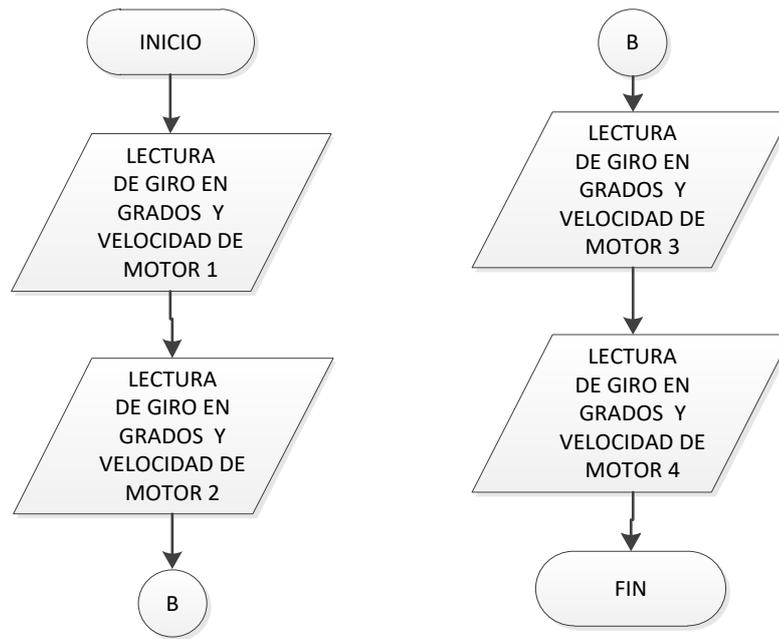


Figura 47: Rutina de Lectura de datos
Fuente: Elaboración Propia.

3.5.5.4 Diagrama de flujo Subrutina Accionamiento de motores

Los bloques mostrados en la figura 48, representan la subrutina de diagrama de flujo de accionamiento de motores, este se encargará de realizar el accionamiento de los motores, según el arreglo de datos enviados por el software.



Figura 48: Rutina Accionamiento de motores

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.5.5 Diagrama de flujo Subrutina Guardar posición

Los bloques mostrados en la figura 49, representan el diagrama de flujo de la subrutina guardar posición. Esto se efectúa teniendo en cuenta la confirmación de posición requerida por el usuario. Se ingresa el número de posición asignado y se guarda los valores de giro de cada motor.



Figura 49: Rutina Guardar Posición

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.6 Programación Rutina de Funcionamiento

Se realizó el diagrama de flujo según la lógica de programación para la rutina de funcionamiento, esta se dividirá en una rutina general y diversas subrutinas. Se debe tener en cuenta la distribución requerida para las bolsas de cemento mencionadas inicialmente, según ello se desarrolla la tabla N°21 para definir la cantidad de secuencias a desarrollar.

Tabla N°21: Posiciones a considerar según el nivel y ubicación en el Pallet.

Ubicación en el Pallet	a	b	c	d	e
Nivel 1	Posición A1	Posición B1	Posición C1	Posición D1	Posición E1
Nivel 2	Posición A2	Posición B2	Posición C2	Posición D2	Posición E2
Nivel 3	Posición A1	Posición B1	Posición C1	Posición D1	Posición E1
Nivel 4	Posición A2	Posición B2	Posición C2	Posición D2	Posición E2
Nivel 5	Posición A1	Posición B1	Posición C1	Posición D1	Posición E1
Nivel 6	Posición A2	Posición B2	Posición C2	Posición D2	Posición E2
Nivel 7	Posición A1	Posición B1	Posición C1	Posición D1	Posición E1
Nivel 8	Posición A2	Posición B2	Posición C2	Posición D2	Posición E2

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, de la tabla N°21, definimos 10 posiciones diferentes a considerar para la secuencia de armado en el pallet. Adicional a ello se deben considerar las siguientes posiciones necesarias para la rutina de funcionamiento:

- Posición inicial: Posición ubicada mediante activación de los limit switch, como se observa en la figura 50.

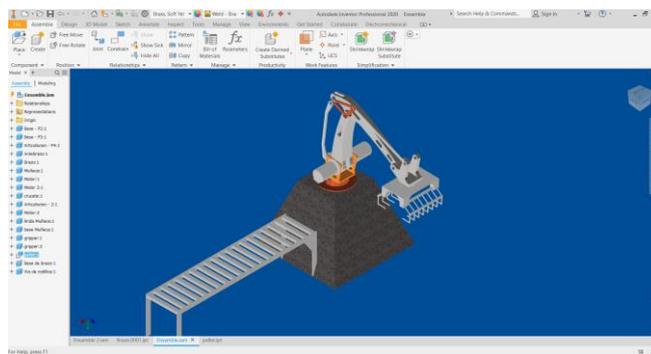


Figura 50: Brazo robótico en posición inicial

Fuente: Elaboración Propia.

- Posición 1: Ubicación de la herramienta sobre la bandeja de rodillos esperando la confirmación de bolsas de cemento mediante el sensor ultrasónico, como se observa en la figura 51.

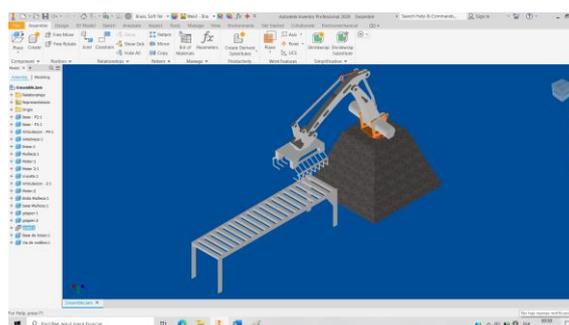


Figura 51: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 1

Fuente: Elaboración Propia.

- Posición 2: Ubicación de la herramienta gripper sobre la bandeja de rodillos para un posterior recojo de la bolsa de cemento, como se observa en la figura 52.

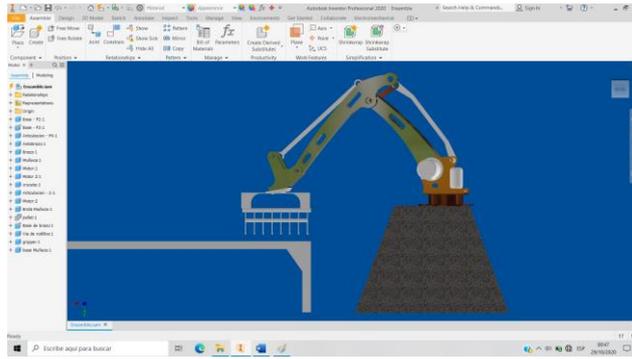


Figura 52: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 2

Fuente: Elaboración Propia.

- Posición 3: Posición del brazo levantando la carga, como se observa en la figura 53.

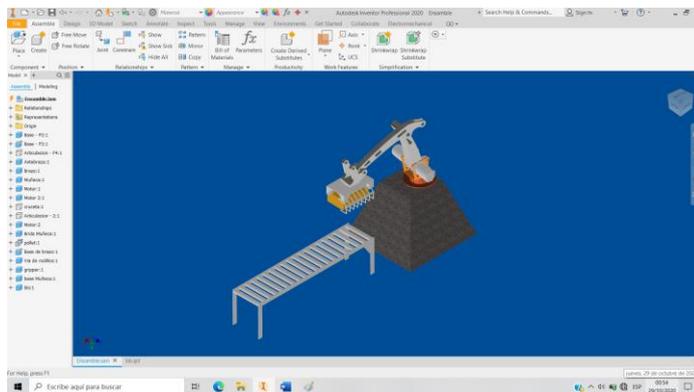


Figura 53: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 3

Fuente: Elaboración Propia.

- Posición 4: Posición previa al armado del pallet, la herramienta se encuentra sobre el área de paletizado, como se observa en la figura 54.

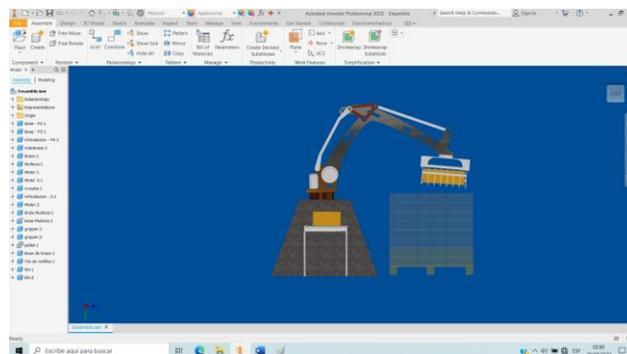


Figura 54: Brazo robótico con herramienta de trabajo en posición 4

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.6.1 Secuencia para Posición A1

La secuencia para la posición A1 se presenta en el diagrama de flujo de la figura 55, esta inicia con la instrucción de posición inicial a los motores, seguidamente la herramienta se ubica en la posición 1 sobre la vía de rodillos a espera de la confirmación de un objeto (bolsa de cemento) mediante el sensor ultrasónico, una vez confirmada la presencia del objeto, la herramienta de trabajo se ubica en una posición 2 para facilitar recojo de la bolsa de cemento mediante el accionamiento del gripper, se envía la instrucción a una posición 3 levantando las bolsas de cemento y posteriormente la base gira 90° hacia el área de paletizado ubicándose en la posición 4, una vez en esta área la herramienta se ubica en la posición A del nivel 1 del pallet, correspondiente a la posición A1, como se observa en la figura 56.

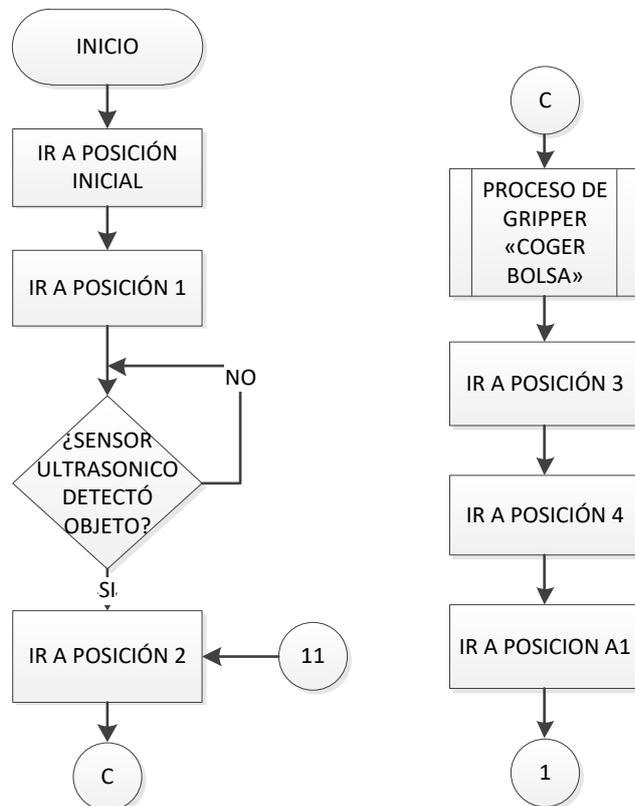


Figura 55: Diagrama de flujo de Secuencia para posición A1 en el Pallet.

Fuente: Elaboración Propia.

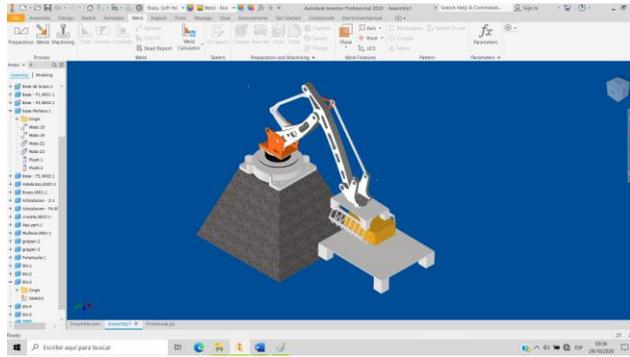


Figura 56: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición A1 del pallet

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.6.2 Secuencia para Posición B1

La secuencia para la posición B1 se presenta en el diagrama de flujo de la figura 57, esta inicia con la instrucción al gripper de soltar bolsa de cemento y seguidamente realiza la secuencia de regreso a la posición 4, posición 3, y posición 1 consecutivamente, una vez detectada una bolsa de cemento mediante el sensor ultrasónico se ubica en la posición 2 para el recojo de la carga, levantando las bolsa de cemento a una posición 3 , posteriormente la base gira 90° hacia el área de paletizado ubicándose en la posición 4, una vez en esta área la herramienta se ubica en la posición B del nivel 1 del pallet, correspondiente a la posición B1, como se observa en la figura 58.

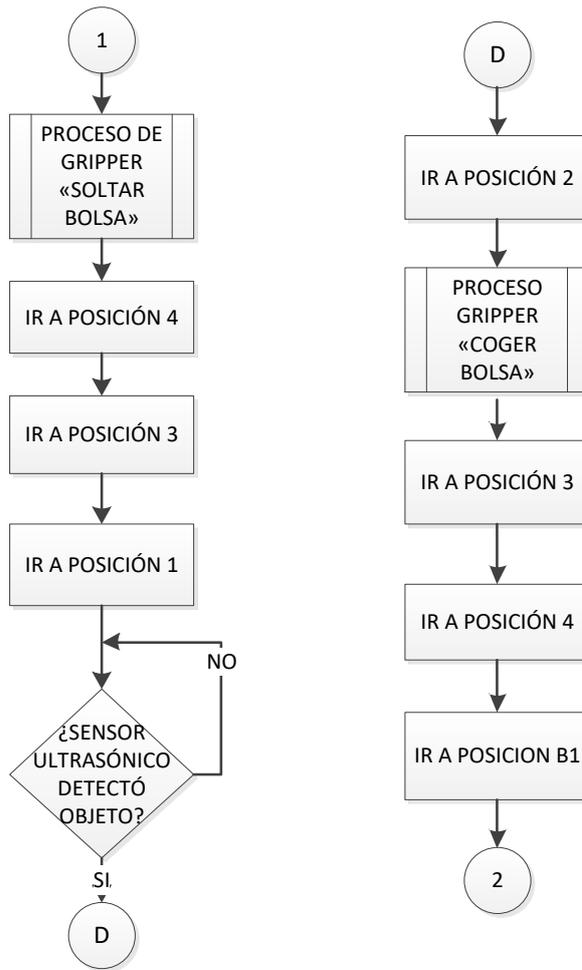


Figura 57: Diagrama de flujo de Secuencia para posición B1 en el Pallet.

Fuente: Elaboración Propia.

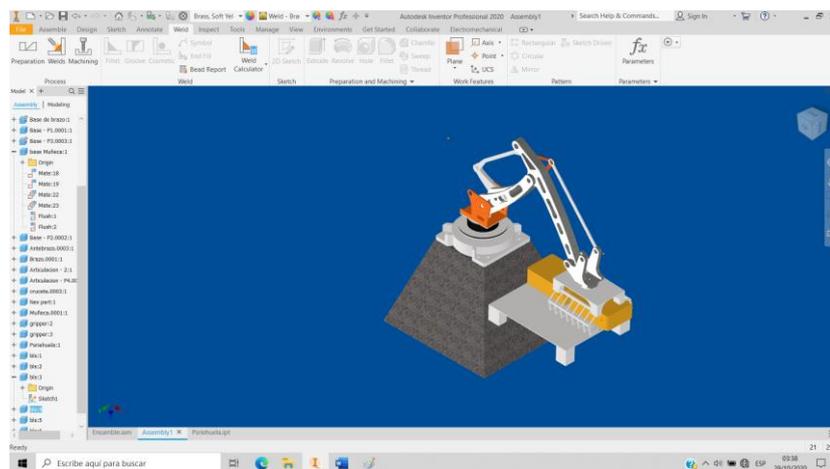


Figura 58: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición B1 del palet

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.6.3 Secuencia para Posición C1

La secuencia para la posición C1 se presenta en el diagrama de flujo de la figura 59, esta inicia con la instrucción al gripper de soltar bolsa de cemento y seguidamente realiza la secuencia de regreso a la posición 4, posición 3, y posición 1 consecutivamente, una vez detectada una bolsa de cemento mediante el sensor ultrasónico se ubica en la posición 2 para el recojo de la carga, levantando la bolsa de cemento a una posición 3, posteriormente la base gira 90° hacia el área de paletizado ubicándose en la posición 4, una vez en esta área la herramienta se ubica en la posición C del nivel 1 del pallet, correspondiente a la posición C1, como se observa en la figura 60.

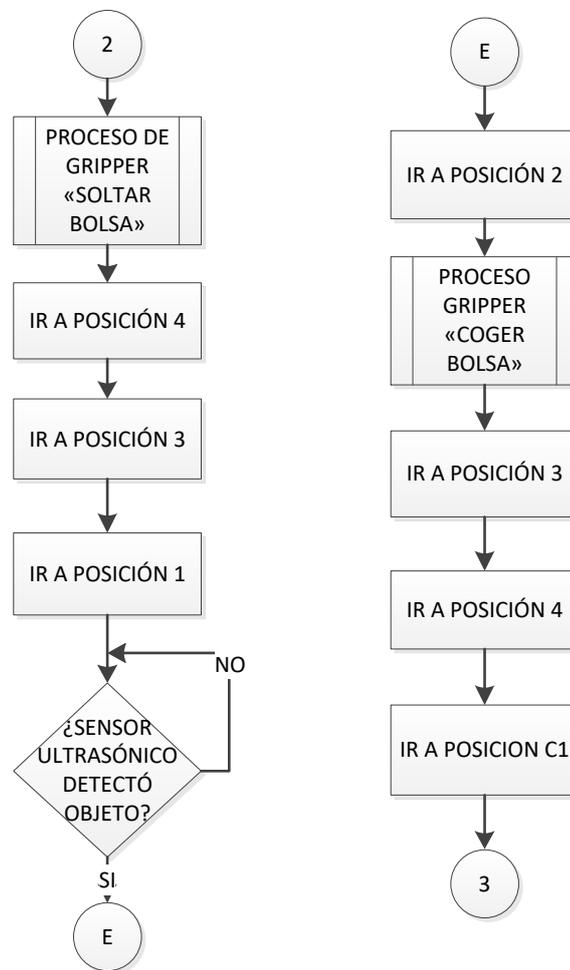


Figura 59: Diagrama de flujo de Secuencia para posición C1 en el Pallet.

Fuente: Elaboración Propia.

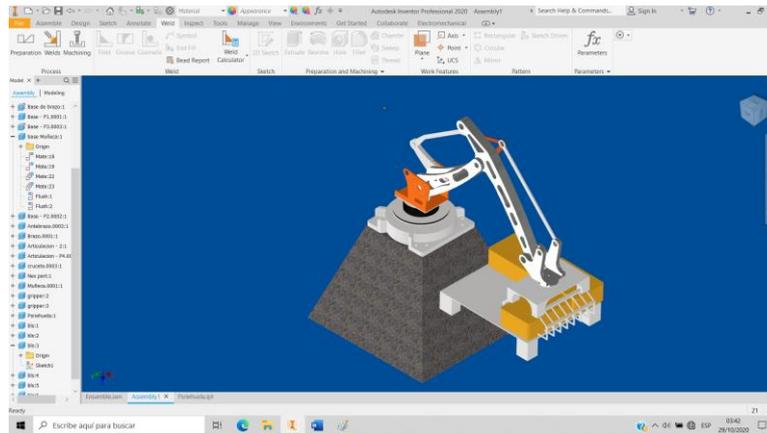


Figura 60: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición C1 del pallet

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.6.4 Secuencia para Posición D1

La secuencia para la posición D1 se presenta en el diagrama de flujo de la figura 61, esta inicia con la instrucción al gripper de soltar bolsa de cemento y seguidamente realiza la secuencia de regreso estándar hasta ubicarse nuevamente en la posición 4, dirigiéndose posteriormente a la posición D del nivel 1 del pallet, correspondiente a la posición D1 como se observa en la figura 62.

3.5.6.5 Secuencia para Posición E1

La secuencia para la posición E1 se presenta en el diagrama de flujo de la figura 63, esta inicia con la instrucción al gripper de soltar bolsa de cemento y seguidamente realiza la secuencia de regreso estándar hasta ubicarse nuevamente en la posición 4, dirigiéndose posteriormente a la posición E del nivel 1 del pallet, correspondiente a la posición E1 como se observa en la figura 64.

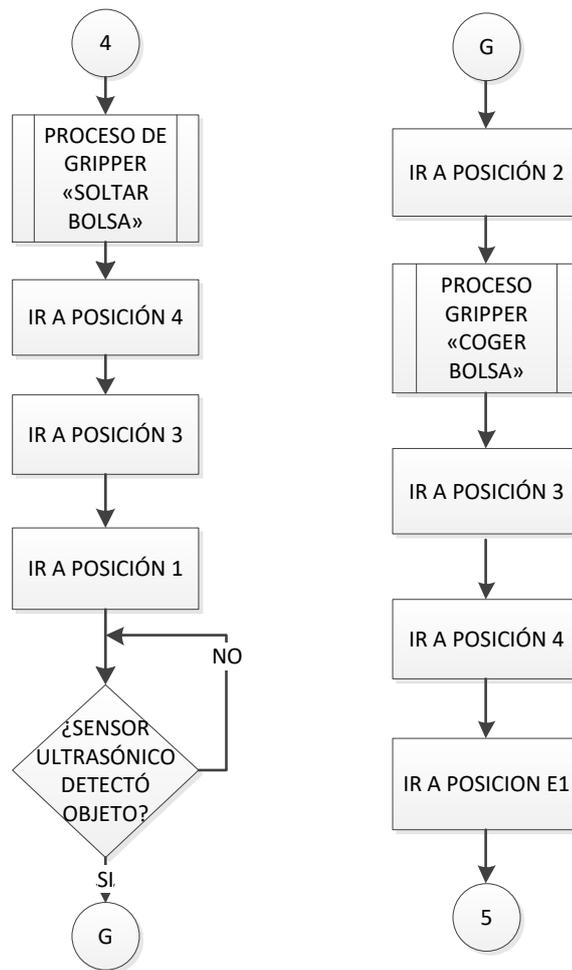


Figura 63: Diagrama de flujo de Secuencia para posición E1 en el Pallet.

Fuente: Elaboración Propia.

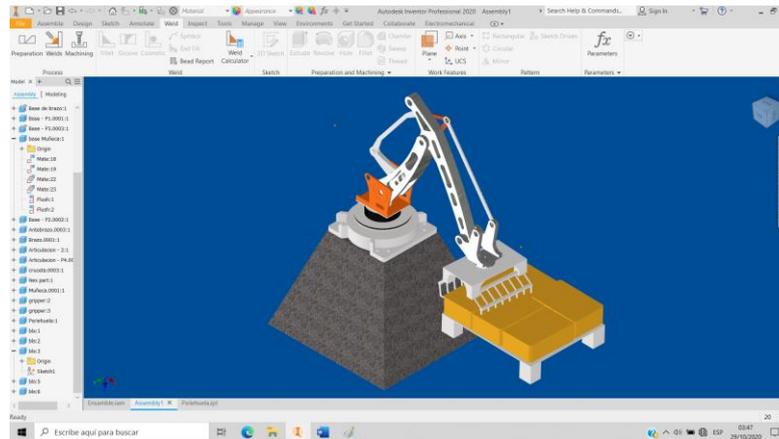


Figura 64: Brazo robótico con herramienta ubicada en la posición E1 del pallet
Fuente: Elaboración Propia.

En el apéndice, se realiza la continuación de lógica de programación para las secuencias de las posiciones A2, B2, C2, D2, E2 para el nivel 2 del pallet respectivamente, posteriormente a ello se repite la posición A1,B1,C1,D1,E1 para el armado del nivel 3 del pallet según tabla N°22 y así sucesivamente.

3.5.6.6 Panel de usuario HMI

Se realizó la creación de un panel de usuario mediante HMI para facilitar la interacción entre el robot y el usuario, éste fue desarrollado en el Software INTOUCH WindowMaker. El panel de usuario está dispuesto por una ventana principal llamada HOME, y sub-ventanas: “Asignación de posiciones”, “Rutina general”, “Alarmas y eventos”. La ventana HOME, muestra la disposición del robot en el área de paletizado y permite acceder a las Sub-ventana según la exigencia del usuario, como se puede visualizar en la figura 65.

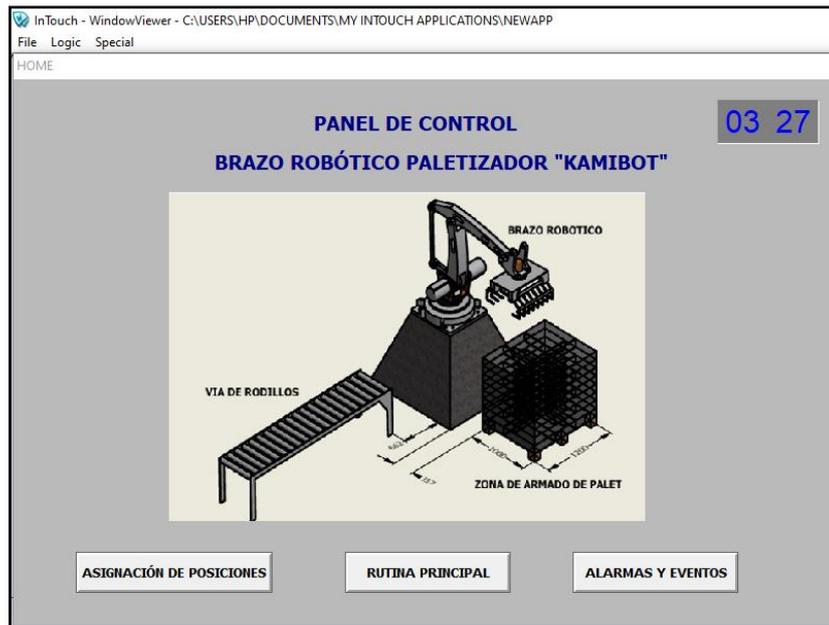


Figura 65: Ventana principal del HMI elaborado en el software INTOUCH.

Fuente: Elaboración Propia.

La Sub-ventana “Asignación de Posiciones” permite al personal supervisor realizar una configuración previa a la función de paletizado, como se muestra en la figura 66, se realizará la calibración de los motores considerando la posición inicial con la activación de los limit switches de carrera. Posteriormente se asignará un número de posición a selección según lista desplegable y se dará la instrucción de los grados de giro de cada motor según el flujo de programación y teniendo en cuenta la disposición de la vía de rodillos y la zona de armado de pallet en el proceso de despacho de la industria cementera.

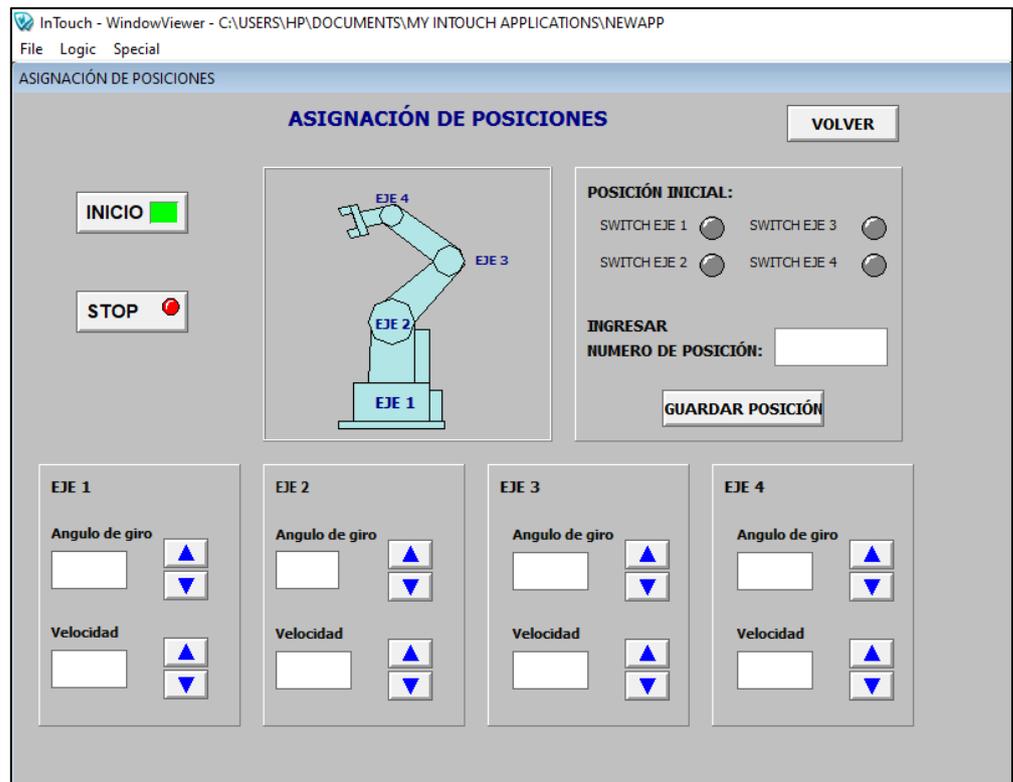


Figura 66: Sub-ventana “Asignación de posiciones” del HMI elaborado en el software INTOUCH WindowMaker.
Fuente: Elaboración Propia.

La Sub-ventana “Rutina Principal” permite al supervisor dar inicio a la programación secuencial del proceso de paletizado para el armado de pallet con una disposición de 3 x 2 columnas x filas, de 8 niveles, como se muestra en la figura 67. El supervisor podrá detener el proceso mediante el HMI en el caso de un evento fortuito y podrá visualizar la confirmación de secuencias realizadas por el robot.

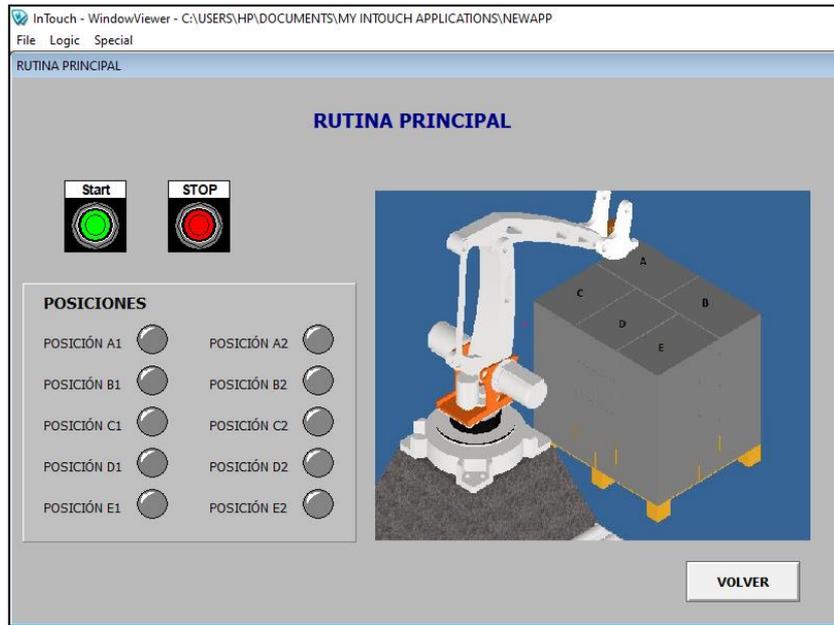


Figura 67: Sub-ventana “Rutina Principal” del HMI elaborado en el software INTOUCH WindowMaker.

Fuente: Elaboración Propia.

Y por último la Sub-ventana “Alarmas y eventos” permite al supervisor visualizar un historial de los últimos eventos transcurridos, con información de fecha y hora de la contingencia, designación de prioridad de la alarma o evento, para poder tomar decisiones de diagnóstico y acciones correctivas, como se muestra en la figura 68.

ALARMAS Y EVENTOS

HISTORIAL DE ALARMAS Y EVENTOS 00:00

Date	Time	State	Class	Type	Priority	Name	Group
28 Oct.	04:28	UNACK	Value	HIHI	1	Alarm1	GroupName
28 Oct.	04:28	UNACK	Value	HI	250	Alarm2	GroupName
28 Oct.	04:28	UNACK	Value	LO	500	Alarm3	GroupName
28 Oct.	04:28	UNACK	Value	LOLO	750	Alarm4	GroupName
28 Oct.	04:28	ACK	Dev	Minor	1	Alarm5	GroupName
28 Oct.	04:28	ACK	Dev	Major	250	Alarm6	GroupName
28 Oct.	04:28	ACK	RDC	1	500	Alarm7	GroupName
28 Oct.	04:28	ACK	Custom	1	750	Alarm8	GroupName

VOLVER

Figura 68: Sub-ventana “Alarmas y eventos” del HMI elaborado en el software INTOUCH WindowMaker.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta el análisis de resultados que se obtuvieron al realizar el diseño del brazo robótico paletizador KAMIBOT para la optimización dentro del proceso de despacho en la industria cementera.

4.1 Análisis de Resultados de la etapa Mecánica y de accionamiento

- Al iniciar el desarrollo de la etapa mecánica, se consideró utilizar como material para los eslabones de la estructura del robot: acero al carbono. Sin embargo, mientras se iba realizando cálculos en el diseño mecánico se observó que este material sería muy pesado para los motores y nos demandaba seleccionar motores con mayor torque, es por ello por lo que se evaluó utilizar otro material con menor densidad pero que pueda soportar las fuerzas de flexión y carga requeridos en el sistema mecánico, después de realizar las comparaciones se escogió al aluminio 6061. En la figura 69 se puede visualizar las diferencias de la masa del eslabón del antebrazo en ambos materiales. Información brindada realizando la simulación en el software AUTODESK INVENTOR.

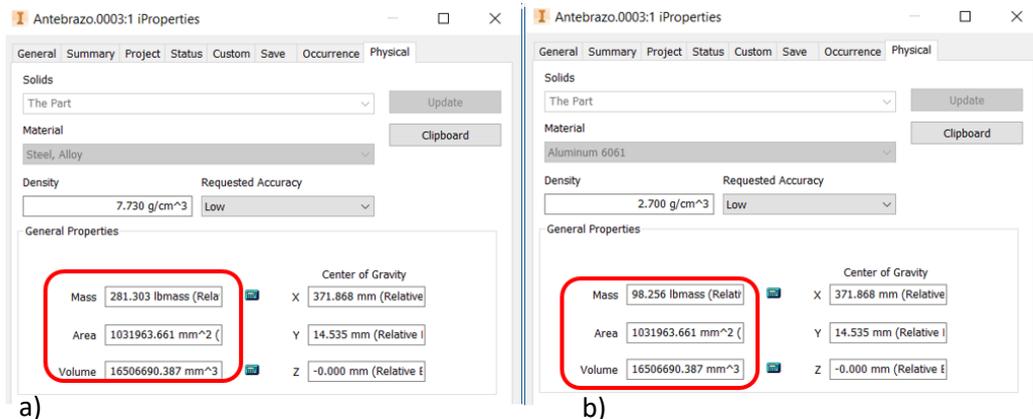


Figura 69: Características del eslabón del antebrazo, a) En acero al carbono b) En aluminio
Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 69, se obtiene que el peso del eslabón del antebrazo se reduce en un 35% al realizar el cambio de material a Aluminio 6061. Es por ello por lo que de la misma forma se realizó en los demás eslabones.

- A pesar de los cambios realizados en el cambio de material de los eslabones a Aluminio 6061, la pieza del eslabón del antebrazo mantenía un peso considerable

Tabla N°22: Sensores seleccionados para la etapa sensórica.

Tipo de sensores	Cantidad	Modelo	Marca
Sensores de contacto	4	XCKS141H29	SCHNEIDER ELECTRIC
Sensores de proximidad Tecnología Ultrasónica	1	UM12-1192261	SICK

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Análisis de Resultados de la etapa de control

- En la etapa de control se evaluó la elección del controlador del brazo robótico KAMIBOT, se tuvo como alternativa utilizar Arduino por facilidad de programación y librerías para control de servomotores, pero mientras se fue realizando el desarrollo del diseño se optó por utilizar un controlador PLC SIMATIC S7 1200, por ser uno de los controladores que cuentan 5 salidas tipo pulso para el driver de los motores a controlar, mayor velocidad de procesamiento, y mayor compatibilidad con sistemas de integración SCADA de la industria cementera.
- En la etapa de diseño de control se planeó realizar la programación basado en el desarrollo de la cinemática directa e inversa del robot, finalmente se optó por realizar una programación basada en secuencias, esta forma de programación permite al usuario asignar las 13 posiciones requeridas, pudiendo variar la asignación de posiciones sin cambiar la programación de la rutina general teniendo en cuenta la disposición de equipos en el área de paletizado para cada empresa cementera.
- En el proceso actual en la etapa de paletizado y despacho en una empresa cementera, una unidad vehicular puede demorar de 50 a 60 minutos aproximadamente sólo en el despacho de bolsas, este tiempo podría aumentar en el caso de inconvenientes por lesiones o cansancio de los estibadores repercutiendo en la reprogramación de unidades de turnos siguientes y por ende disminución en la venta de bolsas de cemento por día. Teniendo en cuenta la tabla N° 23 se calcula el tiempo de demora en el despacho con el diseño de brazo robótico.

Tabla N°23: Requerimientos de despacho en la industria cementera.

REQUERIMIENTOS DE DESPACHO	CANTIDAD
N° de bolsas de cemento por unidad vehicular	800 bolsas
N° de pallets por unidad vehicular	20 pallet
N° de bolsas por pallet	40 bolsas
N° de niveles por pallet	8 niveles

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta que la configuración solicitada para el paletizado es de 8 niveles o capas por pallet y la lógica de programación permite el armado de cada nivel o capa mediante las posiciones: (Posición Inicial, Posición 1, Posición 2, Posición 3, Posición 4, Posición A1, Posición B1, Posición C1, Posición D1, Posición E1)

Se tiene lo siguiente:

N° Posiciones total para el armado un pallet = N° Posiciones x N° de Niveles

N° Posiciones total para el armado un pallet = 80 Posiciones.

Teniendo en cuenta que la velocidad configurada para cada posición es de 1 segundo como máximo. Se calcula:

Tiempo total para el armado de un pallet (segundos) = 80 segundos.

Tiempo total para el despacho en una unidad vehicular = Tiempo total para el armado de un pallet x Cantidad de Pallets por unidad vehicular.

Tiempo total del armado de pallet para una unidad vehicular (segundos) = 80×20
= 1600 segundos

Realizando la conversión a minutos se tiene que el diseño del brazo robótico propone realizar el armado de los 20 pallet necesarios para el despacho en una unidad vehicular en un tiempo de 27 minutos, logrando reducir el tiempo actual de paletizado en un 40% en la industria cementera. Con la presente investigación estaríamos optimizando el tiempo de atención mediante el diseño de la lógica de secuencias para el funcionamiento del brazo robótico.

CONCLUSIONES

1. Ha sido posible optimizar el proceso de despacho, reduciendo el tiempo de atención de unidades mediante la automatización de la etapa de paletizado.
2. Fue posible el diseño del brazo robótico para que soporte el peso de las bolsas de cemento de 42.5 Kg, para el cual se realizó un análisis estructural para las zonas más críticas mediante el software AUTODESK INVENTOR.
3. Se logró seleccionar el equipamiento más adecuado en el mercado industrial para la etapa sensorica de acuerdo los requerimientos y parámetros del diseño.
4. Ha sido posible el diseño de la programación mediante el uso de secuencias para el armado del pallet con una configuración de hasta 40 bolsas, considerando un armado de capa de 2x3 y 3x2 para el amarre requerido en la industria cementera.
5. El diseño de esta presente investigación cumple con los requisitos necesarios para ser utilizado en la industria cementera, ya que en cada etapa del diseño se definió los parámetros necesarios a considerar según la experiencia en este rubro.
6. Esta investigación agrupa diferentes aptitudes y disciplinas como son el modelado 3D, conocimientos en sistemas mecánicos para el cálculo del torque requerido, conocimientos en electrónica para la selección de sensores y conocimientos en programación para el uso del software de TIA PORTAL e INTOUCH.
7. Los servomotorreductores seleccionados cumplieron a cabalidad la función de accionamiento de cada eje teniendo en cuenta el torque requerido y el espacio de instalación logrando consolidar el diseño con las medidas establecidas inicialmente.
8. De los cambios y pruebas realizadas en el software AUTODESK INVENTOR, se tuvo que el mejor material a considerar para el diseño de los eslabones es el aluminio 6061, ya que este nos permite reducir drásticamente el torque requerido en cada eje del brazo robótico.

RECOMENDACIONES

1. Al desarrollo de la implementación de este diseño, se recomienda tener en cuenta la ubicación de la faja de rodillos y la estación de paletizado, ya que deben situarse dentro del área de trabajo del brazo robótico teniendo en cuenta las distancias mencionadas en el capítulo de diseño.
2. El supervisor a cargo del área de paletizado debe recibir una capacitación para una correcta manipulación para evitar posibles accidentes o daños en el funcionamiento de este.
3. La configuración de posiciones en el HMI debe realizarse solo la primera vez que se empezará a trabajar dentro del área, para que el robot pueda identificar las posiciones a tener en cuenta y pueda interactuar con el entorno ya que las posiciones a asignar dependerán mucho de la distribución actual de los equipos en el área de paletizado.
4. En el caso de tener inconvenientes en la integración al control de la planta industrial por un tema de compatibilidad del PLC S7-1200 de la marca SIEMENS, se recomienda realizar pruebas considerando la misma lógica de programación en el PLC ALLEN BRADLEY 5000 de la marca ROCKWELL AUTOMATION, por ser un equipo que posee similares características.
5. Se recomienda en una siguiente investigación simular pruebas de esfuerzo en el software AUTODESK INVENTOR en otras aleaciones que ofrezcan mejores prestaciones mecánicas, pero manteniendo la baja densidad del aluminio 6061.
6. Se recomienda en una siguiente investigación evaluar el uso de sólo 3 servomotores en el diseño ya que el motor 4 ubicado sobre la herramienta podría no ser considerado modificando la lógica de control.
7. Se recomienda en una siguiente investigación evaluar el desarrollo de la programación mediante el uso de funciones de cinemática inversa que permitirá mayor eficiencia en la etapa de paletizado.

REFERENCIAS

- ASOCEM, Asociación de Productores de Cemento. (31 de diciembre del 2016). *El proceso de fabricación de cemento*. <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Plantilla%20-Fabricacion%20del%20cemento.pdf>
- Cuvi, C. y Gomez, D. (2014). *Diseño e implementación de una plataforma controlada por PLC para paletizado de materiales de una línea de montaje*. [Tesis de pregrado, Universidad Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3620>
- Diario Gestión. *Mercado cementero crece en mayo 3.4% respecto al año anterior*. (19 de junio de 2018).[fotografía]
<https://www.noticias.costosperu.com/noticias/asocem-cemento-mayo-respecto>
- Flores, N. y Medina, F. (2018). *Diseño de una máquina automática para paletizar cajas de leche evaporada en la fábrica Nestlé – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/4717>
- Iñigo, R. y Vidal, E. (2002). *Robots industriales manipuladores*, Edición Ilustrada, Catalunya, España.
- Jara, M. y Pacheco, M. (2013). *Diseño e implementación de un robot cartesiano para el montaje de tapa y/o pasador, en el proceso de paletizado*. [Tesis de pregrado, Universidad Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3265>
- Ollero, A. (2001). *Robots industriales manipuladores*, Edición Marcombo, Barcelona, España.
- Pallás, R. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal*, Edición Marcombo (4^o edición), Barcelona, España.
- Pascual, J. (2017). *Estudio comparativo de las soluciones de paletizado actuales*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia].
<https://riunet.upv.es/handle/10251/88769>
- Paz, N. (2018). *Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad de la etapa de paletizado en la empresa Jayanca Fruits S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].
<http://hdl.handle.net/20.500.12423/2003>

Peralo, R. (2015). *Diseño de un equipo paletizador de cargas homogéneas*. [Tesis de postgrado, Universidad de Oviedo]

http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32424/3/TFM_RubenPeraloAlvarez.pdf

Romeo (s.f) [fotografía] <http://automata.cps.unizar.es/robotica/Morfologia.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1 ETAPA MECÁNICA

ANEXO 1.1: PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALUMINIO 6061

-6061- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo	0,40		0,15		0,80	0,04			Otros Total	
Máximo	0,80	0,70	0,40	0,15	1,20	0,35	0,25	0,15	0,05 0,15	El resto

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Características a la tracción						
Estado	Carga de rotura Rm. N/mm ²	Límite elástico Rp 0.2. N/mm ²	Alargamiento A 5.65%	Límite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
0	125	55	27	120	85	30
T4	235	140	21	180	150	65
T6	310	270	14	190	190	95

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N/mm ²	Peso específico g/cm ³	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1/10 ⁶ K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20°C - $\mu\Omega$ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
70,000	2,70	580-650	23,3	T4-155 T6-166	T4-4,3 T6-4,0	T4-40 T6-43	-0,83

APTITUDES TECNOLÓGICAS



RADIOS DE PLEGADO

Estado	0,4<e<0,8 mm.	0,8<e<1,6 mm	1,6<e<3,2 mm.	3,2<e<4,8 mm.	4,8<e<6 mm.	6<e<10 mm.	10<e<12 mm.
0	0	0,5	1	1	1	1,5	2
T4	0,5	1	1,5	2,5	3	3,5	4
T6	1,5	2,5	3,5	3,5	4	4,5	5

Multiplicar el coeficiente por el espesor (e) de la chapa

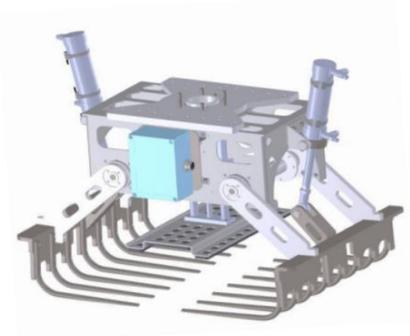
FUENTE: ALACERMAS

ANEXO 1.2 CARACTERÍSTICAS GRIPPER INDUSTRIAL MODELO ABB

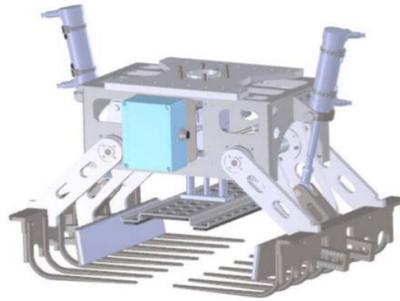
2 Configurations

Option: Side guide

Without Side Guide (Basic)



With Side Guide (add-on option)



FlexGripper Claw

Key specifications

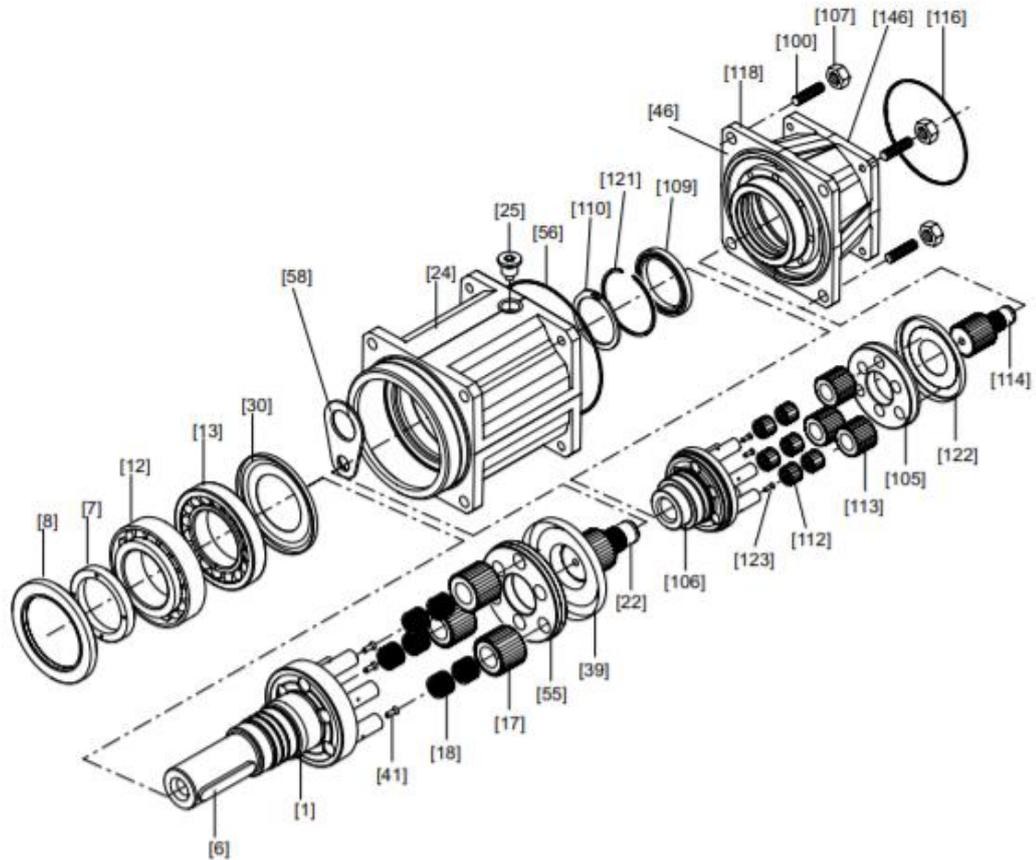
Specification	Without Side Guide (Basic)	With Side Guide (Add-on option)
Handled product	1	
Max. weight/lift	50 kg	
Gripper weight	70 kg	
Finger interval	75 mm	
Bag height range	120 – 240 mm	
Bag length range	300 – 750 mm	
Bag width range	250 – 550 mm	250 – 450 mm
Cable rotation range	+/-180 °	
Air pressure (bar)	5-6 bar	

Fuente: ABB

ANEXO 2: SELECCIÓN DE MOTOR ELÉCTRICO

ANEXO 2.1 PSKF 921/922

3.1.2 Reductores planetarios PSF.. / PSKF..

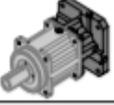
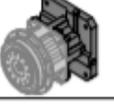


1881393163

[1] Piñón central salida completo	[30] Anillo Nilos ¹⁾	[109] Rodamiento de bolas acanalado
[6] Chaveta ²⁾	[39] Disco de seguridad	[110] Círculo
[7] Tuerca del eje	[41] Remache estriado de cabeza avellanada	[112] Corona de agujas
[8] Retén	[46] Aglutinante y agente de estanqueidad	[113] Rueda planetaria
[12] Rodamiento de rodillos cónicos	[55] Plato presión	[114] Rueda principal
[13] Rodamiento de rodillos cónicos	[56] Junta tórica	[116] Junta tórica
[17] Rueda planetaria	[58] Cáncamo de suspensión	[118] Carcasa de la etapa preliminar
[18] Corona de agujas	[100] Espárrago	[121] Anillo de sujeción
[22] Rueda principal	[105] Plato presión	[122] Disco de seguridad
[24] Carcasa	[106] Piñón central completo	[123] Remache estriado de cabeza avellanada
[25] Tapón roscado	[107] Tuerca hexagonal	[146] Aglutinante y agente de estanqueidad

1) Sólo para posición de montaje M2
2) Sólo para PSKF

3.4 Tipos de ejecución y opciones – reductor planetario PS.F.

Reductor de piñón cónico PS.F.. con brida intermedia B5		
Tipo	Significado	
	PSF..	Eje macizo sin chaveta
	PSKF..	Eje macizo con chaveta
	PSBF..	Eje macizo con eje en bloque de bridas

Opciones para reductores planetarios PS.F..		
Tipo	Significado	
	..R	Reducción de juego
	..M	Holgura minimizada

3.5 Tipos de ejecución – reductor planetario PS.C..

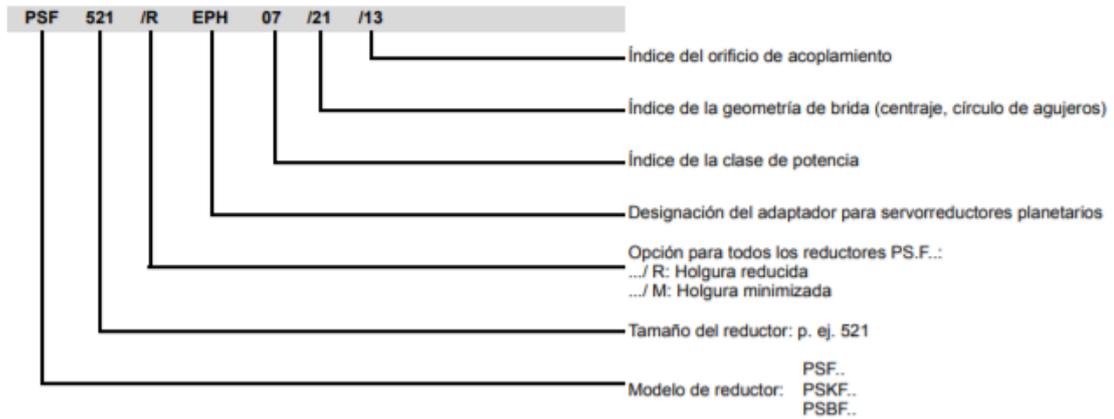
Reductor planetario PS.C.. con brida intermedia B5 / B14		
Tipo	Significado	
	PSC..	Brida intermedia B5, eje macizo sin chaveta
	PSKC..	Brida intermedia B5 eje macizo con chaveta
	PSCZ..	Brida intermedia B14 eje macizo sin chaveta
	PSKCZ..	Brida intermedia B14 eje macizo con chaveta

3.6 Designación de modelo y placa de características

	NOTA
	La placa de características del servomotorreductor se encuentra fijada al servomotor.

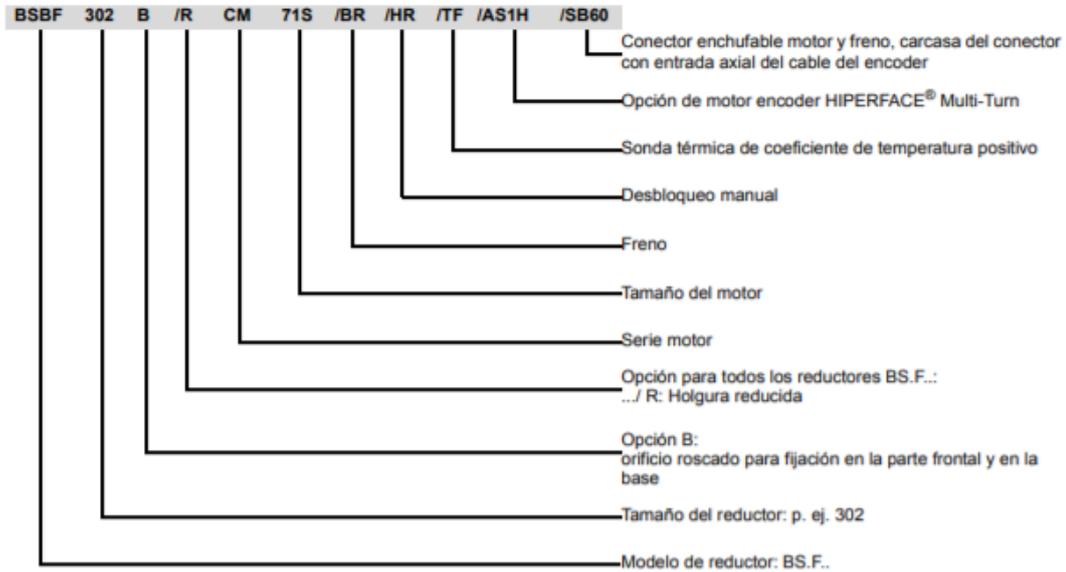
3.6.1 Ejemplo: Designación de modelo para reductor planetario PS.F.. con adaptador EPH..

Un reductor planetario con adaptador tiene, por ejemplo, la siguiente designación de modelo:



3.6.2 Ejemplo: Designación del modelo para reductor de piñón cónico BS.F.. con motor CM

Un servomotorreductor de piñón cónico con freno, desbloqueo manual, sonda térmica de coeficiente de temperatura positivo y conector enchufable con sección de conexión de 1,5 mm² tiene, por ejemplo, la siguiente designación de modelo:



3.6.3 Ejemplo: Placa de características del reductor planetario PS.C.. con adaptador ECH..

La siguiente figura muestra un ejemplo de placa de características de un reductor planetario PS.C.. con adaptador ECH:

SEW-EURODRIVE				i	10
76684 Östringen/Germany				kg	5,9
PSC321 ECH03/13/11				IP	65
01.3215264201.0001.08				IM	M0
na pk	r/min	650	ne pk	r/min	6500
Ma pk	Nm	81	Made in Germany		
 CLP PG 220 Synth.Öl / 0,091L				0117 899 7	
1872039435					

i		Índice de reducción
IM		Indicación de la posición de montaje
IP		Índice de protección
n_{epk}	[rpm]	Velocidad de entrada máxima admisible
n_{apk}	[rpm]	Velocidad de salida máxima admisible
M_{apk}	[Nm]	Par de salida máximo admisible

3.6.4 Ejemplo: Placa de características del servomotorreductor PS.C.. con adaptador ECH..

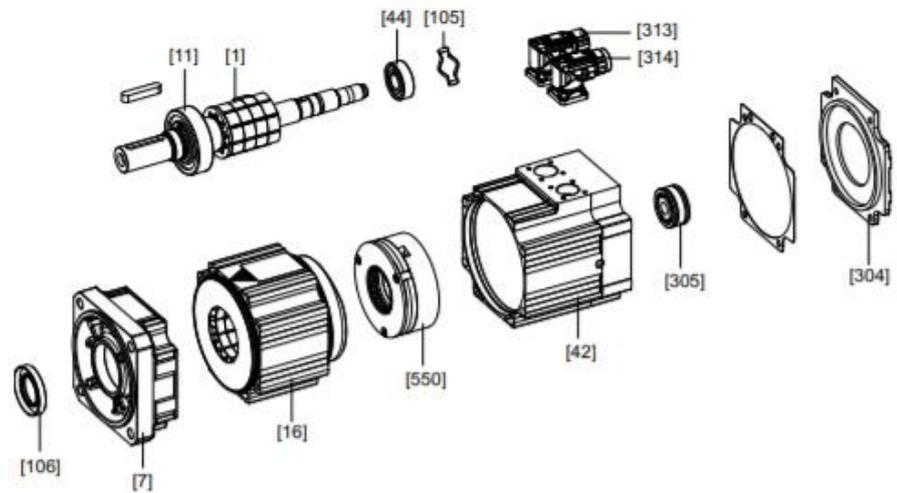
La siguiente figura muestra un ejemplo de placa de características de un reductor planetario PS.C.. con adaptador ECH:



i	Índice de reducción	n_N	[rpm]	Velocidad nominal
IM	Indicación de la posición de montaje	M_o	[Nm]	Par nominal
IP	Tipo de protección	I_o	[A]	Corriente nominal
n_{epk}	[rpm] Velocidad de entrada máxima admisible	$I_{máx}$	[A]	Corriente máxima admisible
n_{apk}	[rpm] Velocidad de salida máxima admisible	f_N	[Hz]	Frecuencia nominal
M_{apk}	[Nm] Par de salida máximo admisible	$U_{máx}$	[V]	Tensión máxima admisible

ANEXO 2.2 CMP 71M

3.1.2 CMP71 – CMP100/BP



- [1] Rotor (key optional)
- [7] Flange
- [11] Grooved ball bearing
- [16] Stator
- [42] Brake endshield
- [44] Grooved ball bearing
- [105] Shim washer
- [106] Oil seal
- [304] Cover
- [305] Resolver
- [313] SB signal plug connector
- [314] SB power plug connector
- [550] BP holding brake

3.2 Nameplate and unit designation

3.2.1 Nameplate on the servomotor

Example: CMP71M / BP / KY / AK0H / SB1 synchronous servo brakemotor – nameplate

Nameplate on the CMP synchronous servo brakemotor.

SEW-EURODRIVE		76646 Bruchsal/Germany			
CMP71M/BP/KY/AK0H/SB1				3~IEC60034	
01.1297864407.0001.09					
Motor	M ₀ 9.4	Nm	I ₀ 10.9	A	Permanentmagnet
n _N	0 - 4500	r/min	I _{max} 57.0	A	IP 65
U _{sys}	400	V			Ins.Cl. F
Bremse	24=	V _{br} 14	Nm		ohne BMV
		IMB5			kg 10.000
1333 930 3 11		Umrichterbetrieb			Made in Germany

The nameplate only contains the FS logo if safety-rated components are used..

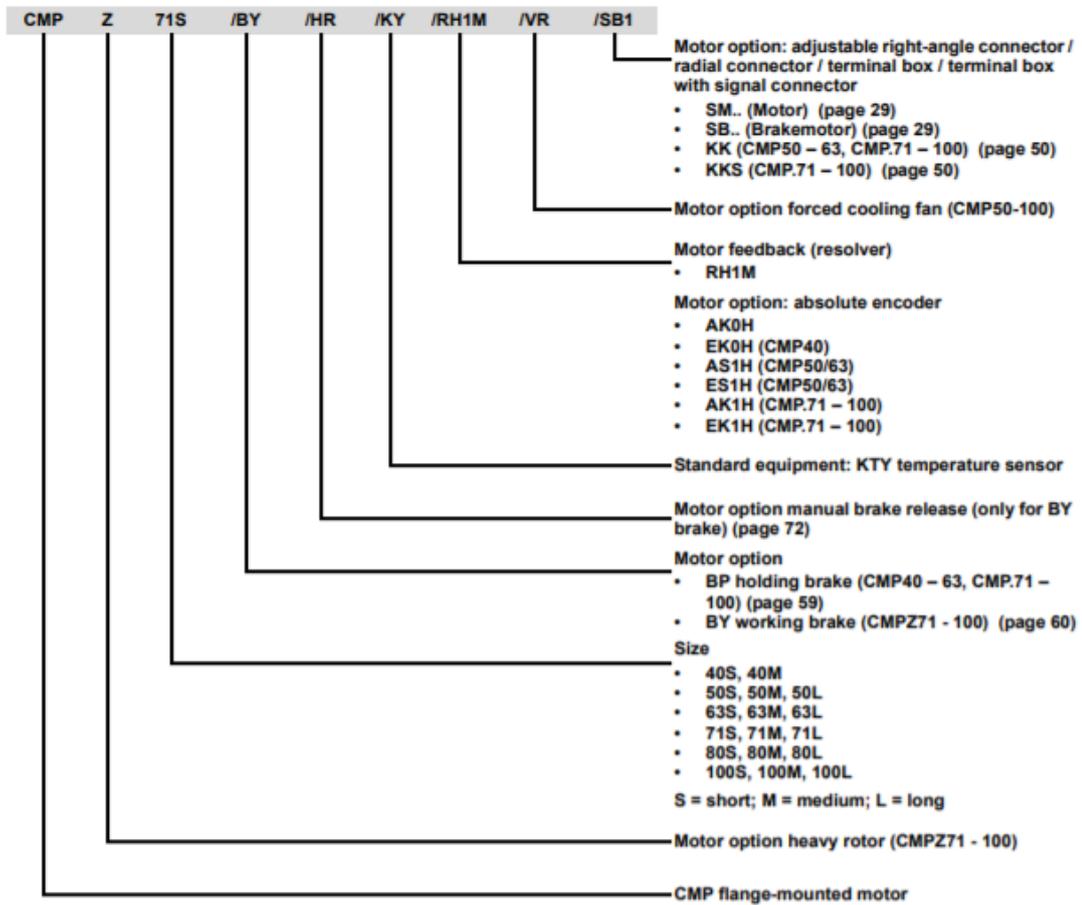
Nameplate on the CMP synchronous servo brakemotor with UL and CSA approvals

SEW-EURODRIVE		76646 Bruchsal/Germany			
CMP71M/BP/KY/AK0H/SB1					
01.1222143417.0001.09					
Motor	M ₀ 9.4	Nm	V _T I ₀ 10.9	A IP 65	E189357
n _N	0 - 4500	rpm	I _{max} 57.0	A ML 03	
U _{sys}	400	V		Ins.Cl. F	3 Phase TENV
Brake	24=	V _{br} 14	Nm		without BMV
		IMB5			kg 10.000
1342 168 9 11		Inverter duty motor			Made in Germany

Location of the nameplate



3.2.2 Type designation of a servomotor



5



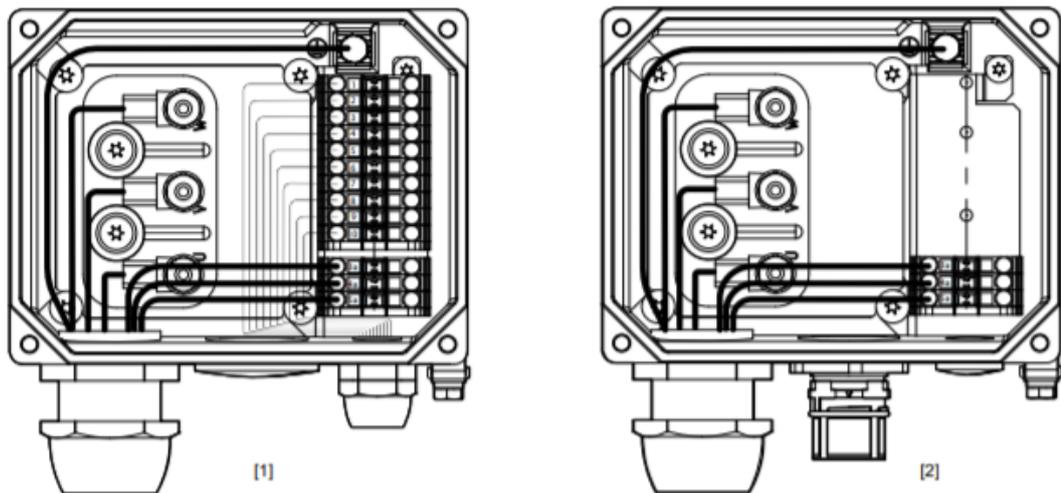
Electrical Installation

Connecting the motor and encoder system via KK / KKS terminal box

Signal

Resolver				Encoder			
1	RD/WH	ref +	Reference	1	RD	cos +	Cosine
2	BK/WH	ref -		2	BU	ref cos	Reference
3	RD	cos +	Cosine	3	YE	sin+	Sine
4	BK	cos-		4	GN	ref sin	Reference
5	YE	sin+	Sine	5	VT	D -	DATA
6	BU	sin-		6	BK	D +	DATA
7		-	-	7	PK	GND	Ground
8		-	-	8	GY	Us	Supply voltage
9	RD(BK)	KTY + / (TF)	Motor protection	9	RD(BK)	KTY + / (TF)	Motor protection
10	BU(BK)	KTY - / (TF)		10	BU(BK)	KTY - / (TF)	

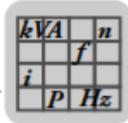
5.7.3 CMP71- CMP100 – connection



- [1] KK terminal box
- [2] KKS terminal box

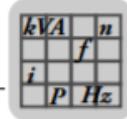
Power rating

Pin	Core identification	Connection
U	(BK/WH) Black with white lettering U, V, W	U
V		V
W		W
PE	(GN/YE) Green/Yellow	Protective earth


8.2 CMP motors – technical data

Synchronous servomotors with 400 V system voltage

n_N rpm	Motor	M_0 Nm	I_0 A	M_{pk} Nm	I_{max} A	M_{0VR} Nm	I_{0VR} A	m kg	J_{mot} 10^{-4} kgm^2
2000	CMP71S	6.4	3.4	19.2	17	8.7	4.6	7	3.04
	CMP71M	9.4	5	30.8	26	13.7	7.3	8.4	4.08
	CMP71L	13.1	6.3	46.9	39	21	10.1	11.4	6.18
	CMP80S	13.4	6.9	42.1	33	18.7	9.5	12.8	8.78
	CMP80M	18.7	9.3	62.6	48	27	13.4	16.5	11.9
	CMP80L	27.5	12.5	107	72	44	20	21.4	18.1
	CMP100S	25.5	13.3	68.3	49	36	18.8	19.8	19.59
	CMP100M	31	14.7	108	69	47	22.3	24.8	26.49
CMP100L	47	21.8	178.8	113	70	32.5	34.6	40.24	
3000	CMP40S	0.5	1.2	1.9	6.1	–	–	1.3	0.1
	CMP40M	0.8	0.95	3.8	6.0	–	–	1.6	0.15
	CMP50S	1.3	0.96	5.2	5.1	1.7	1.25	2.3	0.42
	CMP50M	2.4	1.68	10.3	9.6	3.5	2.45	3.3	0.67
	CMP50L	3.3	2.2	15.4	13.6	4.8	3.2	4.1	0.92
	CMP63S	2.9	2.15	11.1	12.9	4	3	4.0	1.15
	CMP63M	5.3	3.6	21.4	21.6	7.5	5.1	5.7	1.92
	CMP63L	7.1	4.95	30.4	29.7	10.3	7.2	7.5	2.69
	CMP71S	6.4	4.9	19.2	25	8.7	6.7	7	3.04
	CMP71M	9.4	7.5	30.8	39	13.7	10.9	8.4	4.08
	CMP71L	13.1	9.4	46.9	58	21	15.1	11.4	6.18
	CMP80S	13.4	10	42.1	47	18.5	13.8	12.8	8.78
	CMP80M	18.7	13.4	62.6	69	27	19.3	16.5	11.9
	CMP80L	27.5	18.7	107	107	44	30	21.4	18.1
	CMP100S	25.5	19.6	68.3	73	36	27.5	19.8	19.34
	CMP100M	31	21.8	108	102	47	33	24.8	26.25
CMP100L	47	32.3	178.8	167	70	48	34.6	40	
4500	CMP40S	0.5	1.2	1.9	6.1	–	–	1.3	0.1
	CMP40M	0.8	0.95	3.8	6.0	–	–	1.6	0.15
	CMP50S	1.3	1.32	5.2	7.0	1.7	1.7	2.3	0.42
	CMP50M	2.4	2.3	10.3	13.1	3.5	3.35	3.3	0.67
	CMP50L	3.3	3.15	15.4	19.5	4.8	4.6	4.1	0.92
	CMP63S	2.9	3.05	11.1	18.3	4	4.2	4.0	1.15
	CMP63M	5.3	5.4	21.4	32.4	7.5	7.6	5.7	1.92
	CMP63L	7.1	6.9	30.4	41.4	10.3	10	7.5	2.69
	CMP71S	6.4	7.3	19.2	38	8.7	9.9	7	3.04
	CMP71M	9.4	10.9	30.8	57	13.7	15.9	8.4	4.08
	CMP71L	13.1	14.1	46.9	87	21	22.5	11.4	6.18
	CMP80S	13.4	15.3	42.1	73	18.5	21	12.8	8.78
	CMP80M	18.7	20.1	62.6	103	27	29	16.5	11.9
	CMP80L	27.5	27.8	107	159	44	44.5	21.4	18.1
	CMP100S	25.5	30	68.3	111	36	42.5	19.8	19.34
	CMP100M	31	33.1	108	154	47	50	24.8	26.25
CMP100L	47	48.4	178.8	251	70	72	34.6	40	



n_N rpm	Motor	M_0 Nm	I_0 A	M_{pk} Nm	I_{max} A	M_{ovr} Nm	I_{ovr} A	m kg	J_{mot} 10^{-4} kgm^2
6000	CMP40S	0.5	1.2	1.9	6.1	–	–	1.3	0.1
	CMP40M	0.8	1.1	3.8	6.9	–	–	1.6	0.15
	CMP50S	1.3	1.7	5.2	9.0	1.7	2.2	2.3	0.42
	CMP50M	2.4	3	10.3	17.1	3.5	4.4	3.3	0.67
	CMP50L	3.3	4.2	15.4	26	4.8	6.1	4.1	0.92
	CMP63S	2.9	3.9	11.1	23.4	4	5.4	4.0	1.15
	CMP63M	5.3	6.9	21.4	41.4	7.5	9.8	5.7	1.92
	CMP63L	7.1	9.3	30.4	55.8	10.3	13.5	7.5	2.69
	CMP71S	6.4	9.6	19.2	50	8.7	13.1	7	3.04
	CMP71M	9.4	14.7	30.8	76	13.7	21.5	8.4	4.08
	CMP71L	13.1	18.8	46.9	115	21	30	11.4	6.18
	CMP80S	13.4	20	42.1	95	18.5	27.5	12.8	8.78
	CMP80M	18.7	26.4	62.6	135	27	38	16.5	11.9
	CMP80L	27.5	37.6	107	215	–	–	21.4	18.1

8



CMP/CMPZ Servomotors – Technical Data
Accessories – technical data

8.4 Accessories – technical data

8.4.1 BP brake

Brake assignment

The BP brake can be used for the following rated speeds and braking torques depending on the motor size:

Motor type	Brake type	M_{B1} Nm	M_{B2} Nm	Speed class
CMP40	BP01	0.95	–	3000, 4500, 6000
CMP50S	BP04	3.1	4.3	
CMP50M/L		4.3	3.1	
CMP63S	BP09	7	9.3	
CMP63M/L		9.3	7	
CMP.71S	BP1	7	14	2000, 3000, 4500, 6000
CMP.71M/L		14	7	
CMP.80S	BP3	15	31	2000, 3000, 4500
CMP.80M/L		31	15	
CMP.100S		BP5	24	
CMP.100M/L	47		24	

M_{B1} Preferred braking torque

M_{B2} Optional braking torque

Response and application times

Brake type	t_1 ms	t_2 ms
BP01	25	15
BP04	60	15
BP09	60	15
BP1	50	15
BP3	70	15
BP5	110	15

t_1 = Response time

t_2 = Application time

Fuente: SEW

ANEXO 3: ETAPA SENSÓRICA

ANEXO 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES ULTRASÓNICOS

Sensores ultrasónicos XX

Tecnologías



Detección de cualquier material sin contacto directo con el objeto.
 No afecta el color, la transparencia y la y las propiedades reflectivas del objeto.
 Muy buena resistencia a los entornos industriales.
 Sensible a cambios importantes de temperatura, flujo de aire y humedad.
 Los materiales amortiguadores del sonido y los objetos con formas extrañas son difíciles de detectar, como la espuma o la esponja.

Criterios de elección

1 Elegir el tamaño del cuerpo y la distancia de detección



Según el entorno:
 Ubicación y distancia de detección requerida.
 Tamaño del producto (cilíndrico o plano) y distancia de detección.



Material del cuerpo.
 • Plástico
 • Metal

2 Elegir la señal de salida y la función

Según la función que requiere el automatismo.
 Discreto (NA, NC, NA+NC)... o analógico (0-10 V, 4-20 mA), según la función que se requiera.

3 hilos CC 24 V NA

4 hilos CC 24 V



3 Elegir el tipo de salida

Según la compatibilidad de la carga (contactor, autómatas...).
 3 hilos CC PNP, NPN o 2 hilos CA/CC... hilos analógicos 3/4.

4 Elegir la conexión eléctrica

Según los estándares de las instalaciones o los requisitos de la máquina.
 Cable, conector (M8 o M12).

Sensores ultrasónicos XX

Detalles



Detección de objeto duro con superficie plana perpendicular al eje de detección hasta 8 m.

Modo difuso (proximidad)



Detección de objeto puntiagudo: según el ángulo de reflexión, el sonido podría reflejarse fuera del receptor de sensor.
 En este caso, utilice el sensor en un modo réflex (reflectante).
 Un producto NA se convierte en un producto NC.

Modo reflectante (reflex)



Para la detección de un objeto amortiguador del sonido utilizar el sensor en modo réflex (reflectante).
 Un producto NA se convierte en un producto NC.

Modo reflectante (reflex)



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC

ANEXO 3.2 DATASHEET SENSOR ULTRASONIDO UM12-1192961

UM12-1192261 | UM12

ULTRASONIC SENSORS



Ordering information

Type	Part no.
UM12-1192261	6053548

Other models and accessories → www.sick.com/UM12



Detailed technical data

Mechanics/electronics

Supply voltage V_s	DC 10 V ... 30 V ¹⁾
Power consumption	≤ 1.2 W ²⁾
Initialization time	< 300 ms
Design	Cylindrical
Housing material	Metal (nickel-plated brass, PBT) Ultrasonic transducer: polyurethane foam, glass epoxy resin
Thread size	M12 x 1
Connection type	Male connector, M12, 4-pin
Indication	2 x LED
Weight	15 g
Sending axis	Straight
Dimensions (W x H x D)	12 mm x 12 mm x 60.1 mm
Enclosure rating	IP65 / IP67
Protection class	III

¹⁾ Limit values, reverse-polarity protected Operation in short-circuit protected network: max. 8 A, class 2.

²⁾ Without load.

Performance

Operating range, limiting range	40 mm ... 240 mm, 350 mm
Target	Natural objects
Resolution	≥ 0.069 mm
Repeatability	± 0.15 % ¹⁾
Accuracy	± 1 % ¹⁾
Temperature compensation	✓
Response time	30 ms ²⁾
Output time	10 ms

¹⁾ Referring to current measurement value.

²⁾ Subsequent smoothing of the analog output, depending on the application, may increase the response time by up to 200 %.

³⁾ Functions may vary depending on sensor type.

Fuente: SICK

ANEXO 3.3 FICHA TÉCNICA DE LIMIT SWITCH XCKS

Ficha técnica del producto

Características

XCKS141H29

limit switch XCKS - th.plastic roller lever var.
length - 1NC+1NO - snap - M20



Principal

Gama de producto	OsiSense XC
Nombre de serie	Formato estándar
Tipo de producto o componente	Interruptor limitador
Nombre corto del dispositivo	XCKS
Diseño del detector	-
Tipo de cuerpo	Fijo
Tipo de cabezal	Cabeza rotatoria
Material	Plástico
Material del cuerpo	Plástico
Material del cabezal	Plástico
Modo de fijación	Mediante el cuerpo
Movimiento cabezal funcionam.	Giratorio
Tipo de operario	Spring return roller lever thermoplastic variable length
Tipo de aproximación	Lateral approach, 1 or 2 programmable direction
Entrada de cable	1 entry tapped for M20 x 1.5 cable gland, cable outer diameter: 7...13 mm
Número de polos	2
Tipo y composición de contactos	1 NC + 1NA
Funcionamiento de contacto	Acción ráp.

Complementario

Accionamiento de interruptor	Con leva de 30°
Consecutivo, seguido, continuo, adosado	Screw-clamp terminals, clamping capacity: 1 x 0.34...2 x 1.5 mm ²
Forma aislamiento de contactos	Zb
Número de pasos	1
Apertura positiva	Con
Par mínimo para disparo	0.1 N.m

Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC.

ANEXO 4: ETAPA DE CONTROL

ANEXO 4.1 PLC SIMATIC S7-1200 CPU1214C

Data sheet

6ES7214-1BG40-0XB0

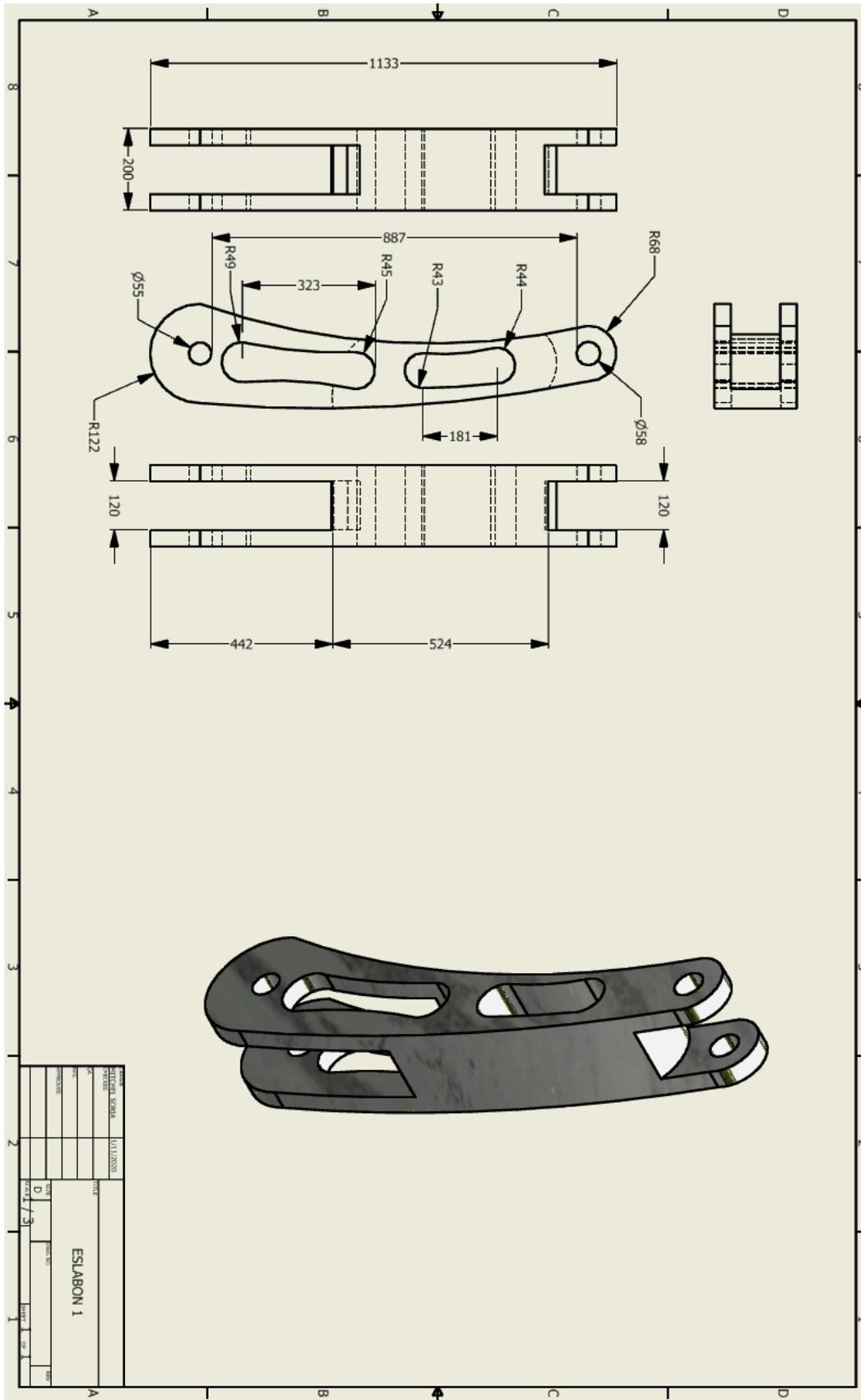
SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, compact CPU, AC/DC/relay,
onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO relay 2 A; 2 AI 0-10 V DC, Power
supply: AC 85-264 V AC at 47-63 Hz, Program/data memory 100 KB



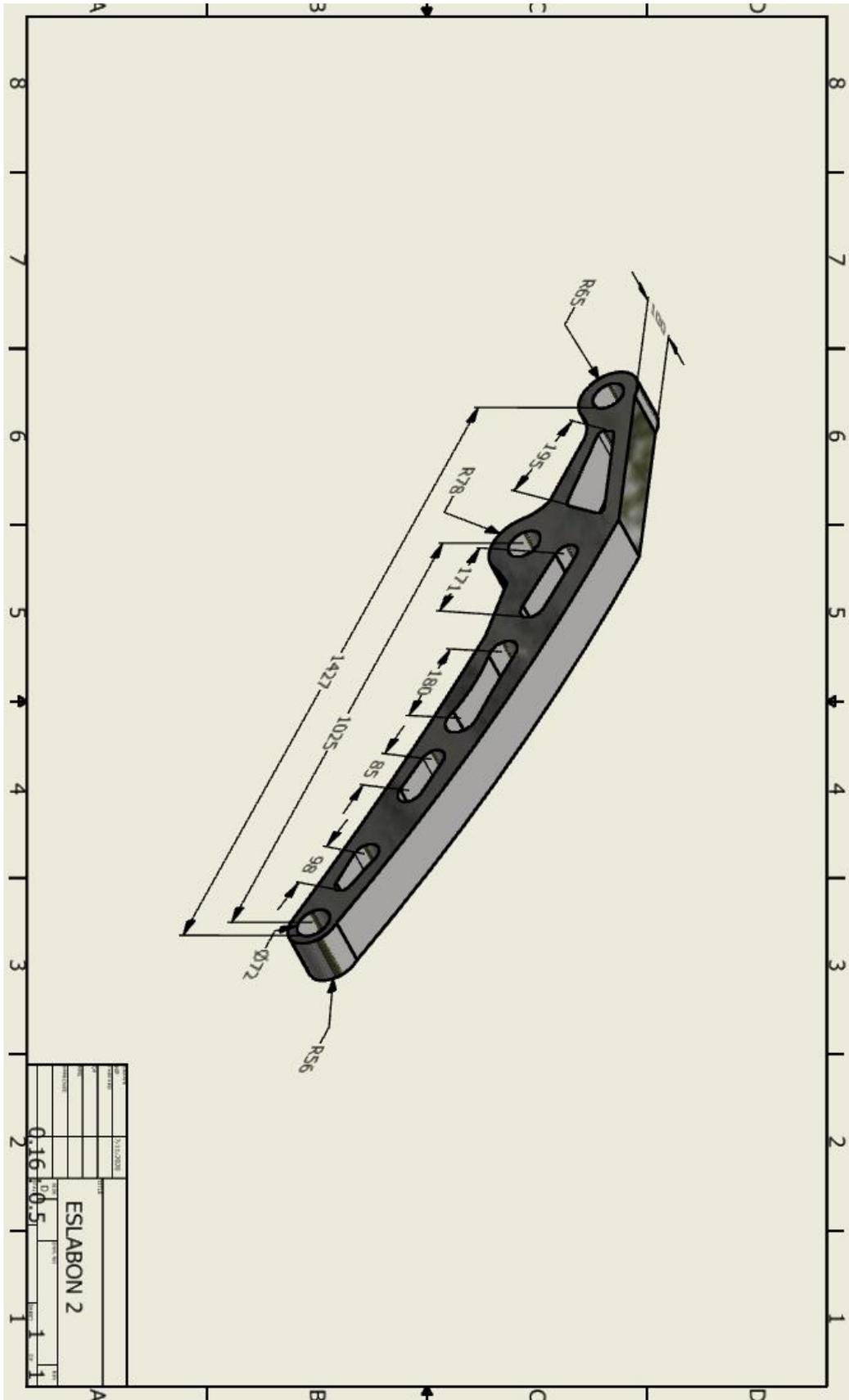
General information	
Product type designation	CPU 1214C AC/DC/relay
Firmware version	V4.4
Engineering with	
<ul style="list-style-type: none"> Programming package 	STEP 7 V16 or higher
Supply voltage	
Rated value (AC)	
<ul style="list-style-type: none"> 120 V AC 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> 230 V AC 	Yes
permissible range, lower limit (AC)	85 V
permissible range, upper limit (AC)	264 V
Line frequency	
<ul style="list-style-type: none"> permissible range, lower limit 	47 Hz
<ul style="list-style-type: none"> permissible range, upper limit 	63 Hz
Input current	
Current consumption (rated value)	100 mA at 120 V AC; 50 mA at 240 V AC
Current consumption, max.	300 mA at 120 V AC; 150 mA at 240 V AC
Inrush current, max.	20 A; at 264 V

Fuente: SIEMENS.

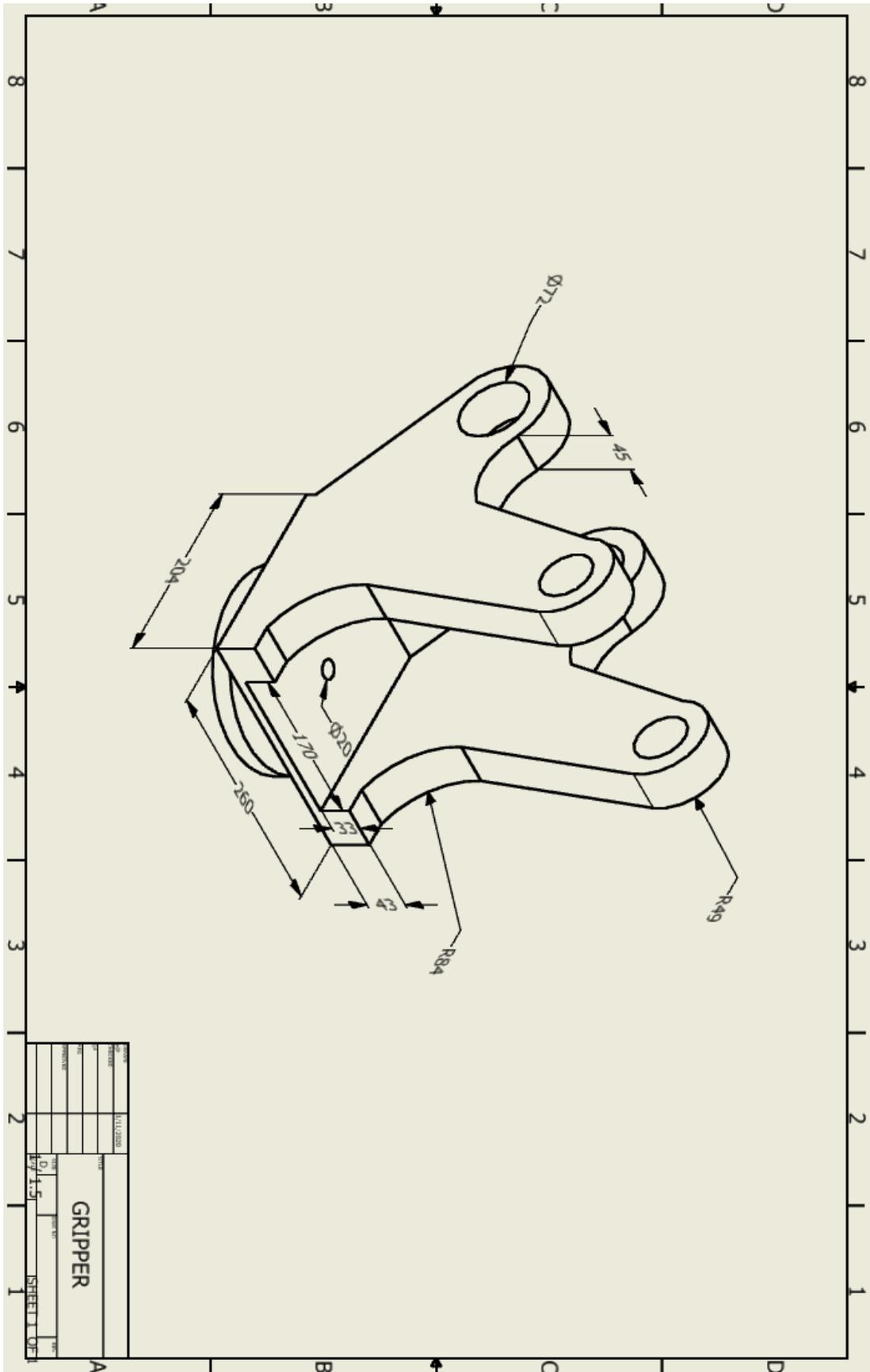
-APENDICE C: ESLABÓN 1



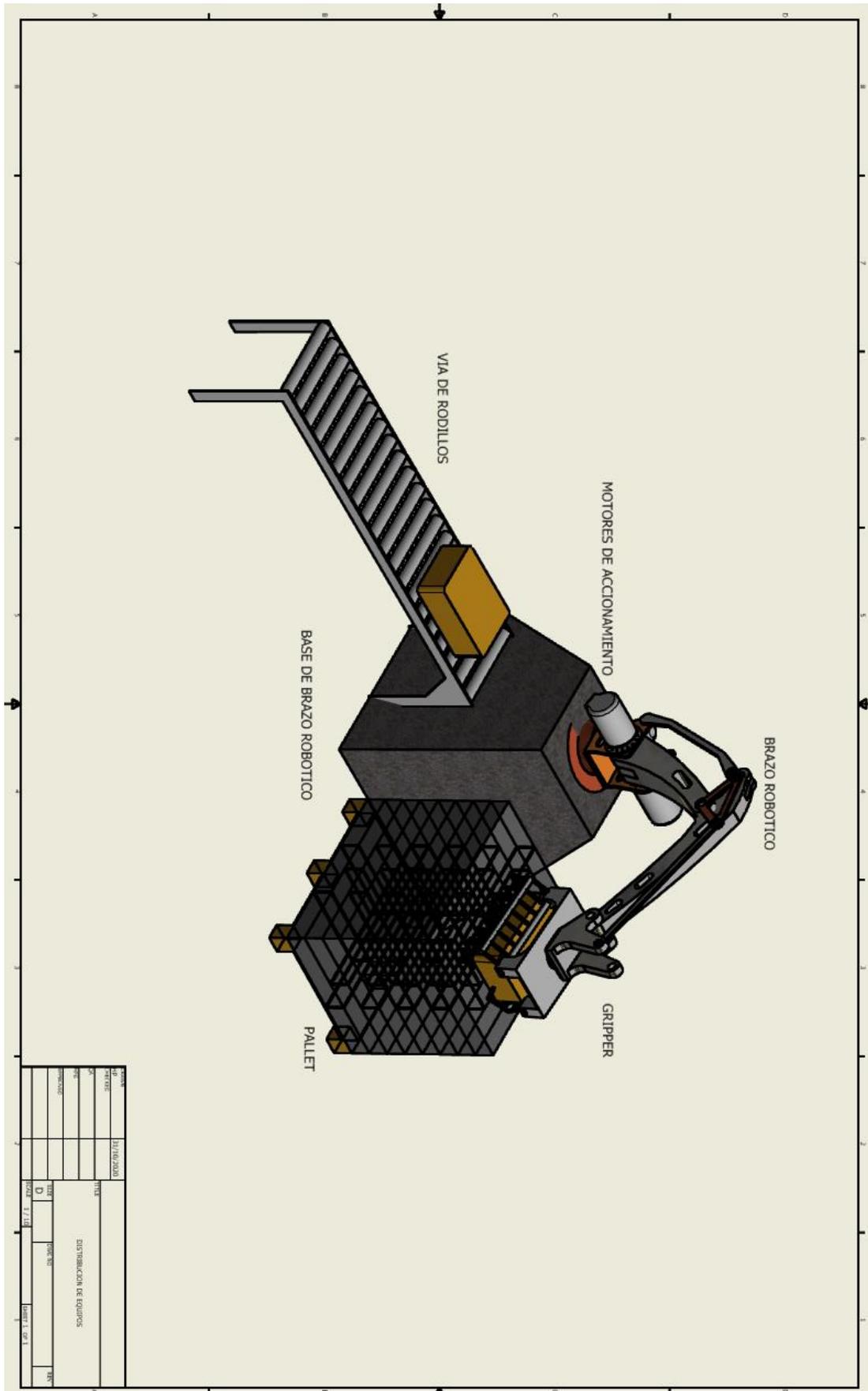
-APENDICE D: ESLABÓN 2



-APENDICE E: ESLABÓN 3



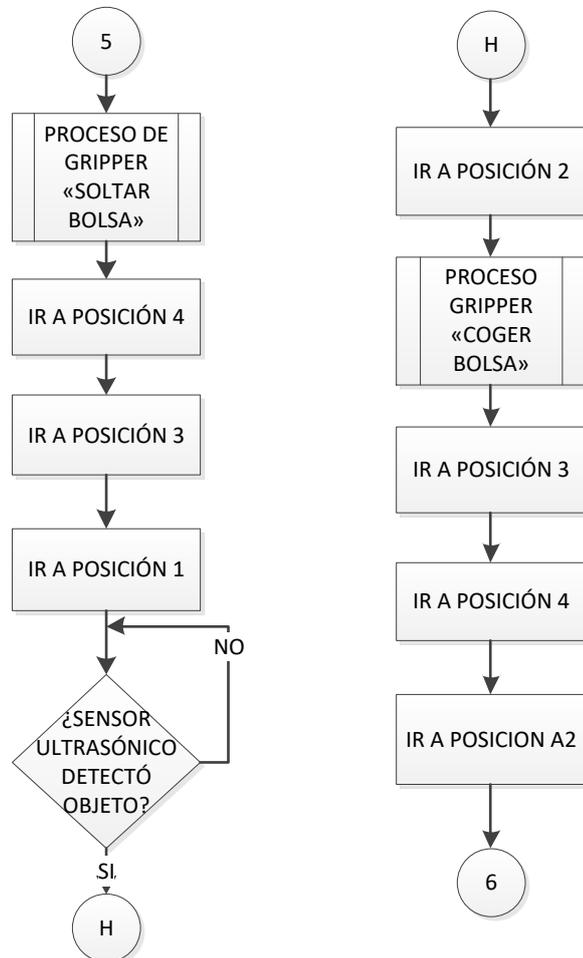
-APENDICE F: DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS



-APENDICE G:

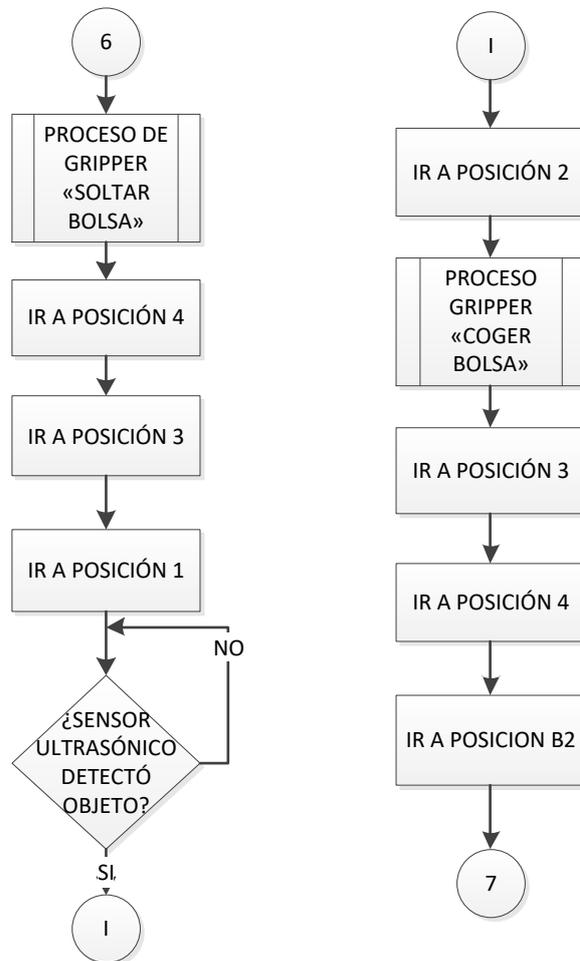
SECUENCIA DE LÓGICA DE PROGRAMACIÓN

SECUENCIA POSICIÓN A2



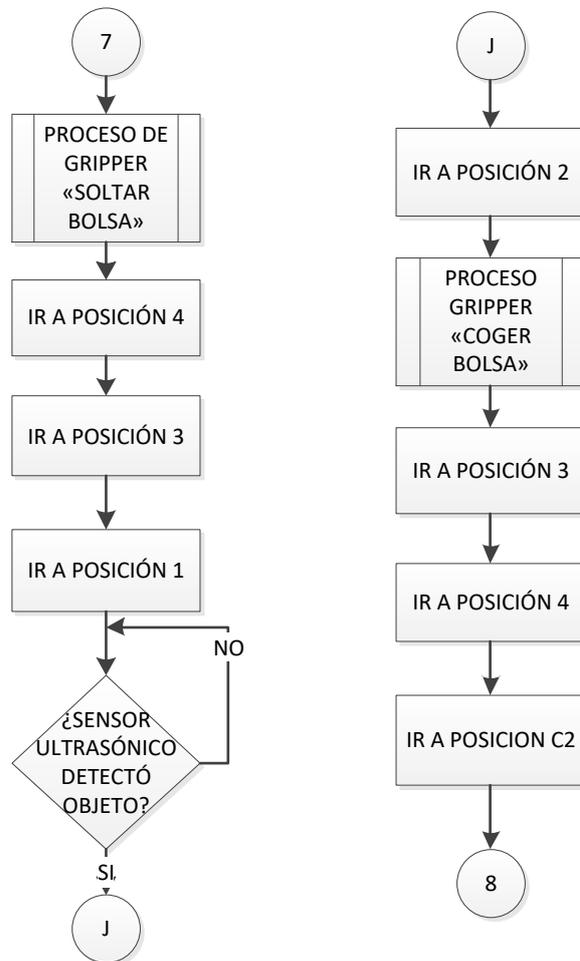
- APENDICE H:

SECUENCIA PARA POSICIÓN B2



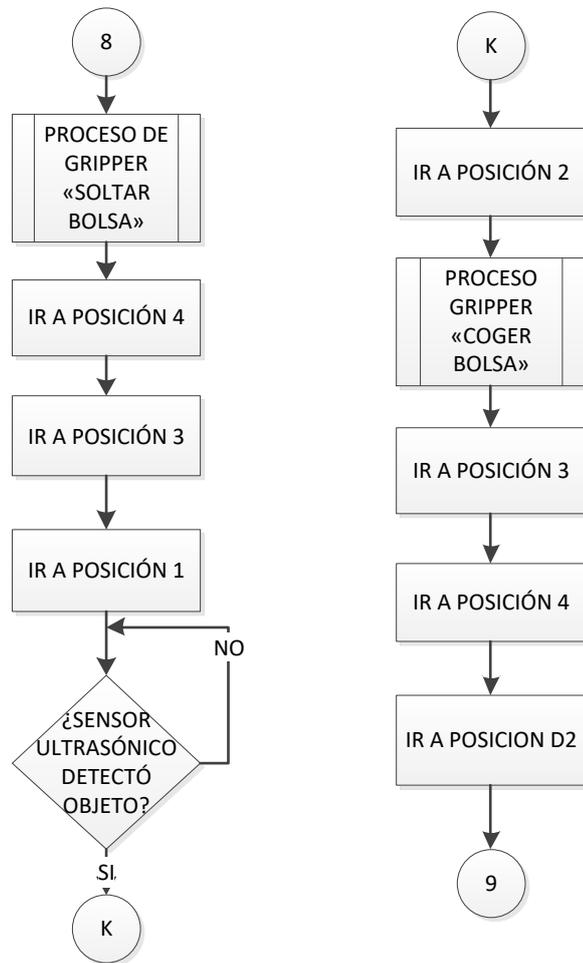
-APENDICE I:

SECUENCIA PARA POSICIÓN C2



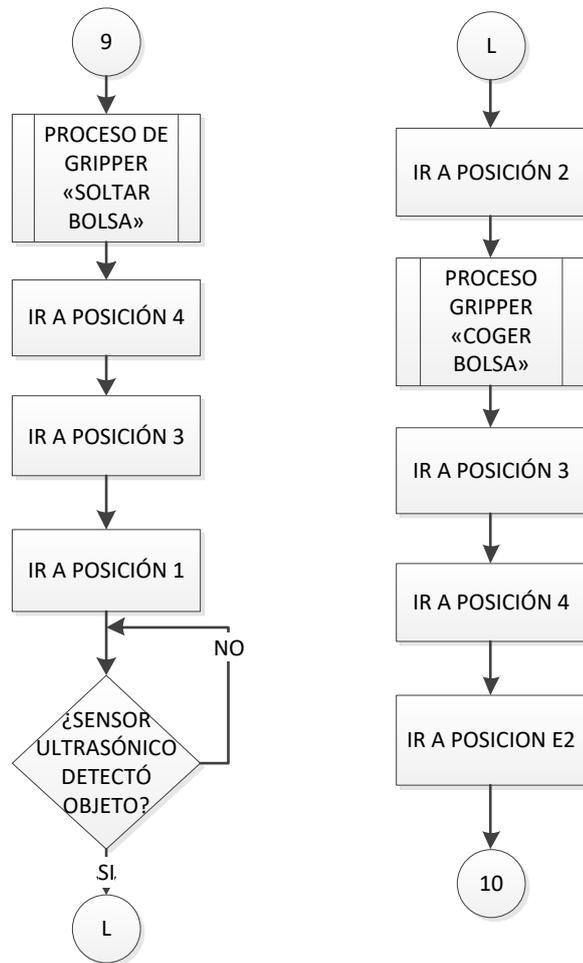
-APENDICE J:

SECUENCIA PARA POSICIÓN D2



-APENDICE K:

SECUENCIA PARA POSICIÓN E2



-APENDICE L:

PROGRAMACIÓN DE BUCLE

