



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE
LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO
PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE
RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE
LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER – INTEGRADO
PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE
RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

PRIMER MIEMBRO

:

Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ASESOR DE TESIS

:

M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN – P21

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1533-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 11934 presentado por el (la) Bachiller: **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- * **1er Miembro** : Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN
- * **2do Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 27 de noviembre del 2025
- * **HORA** : 11:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 204 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Wilky Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1357-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 22 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-9341 por el señor (a): **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO – N° 949-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 018 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIM** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 018 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulada: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730Dr. Fritz Kelly Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 984-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 03 de setiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7256, presentado por el señor (a) **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 775-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 035-2025 del integrante del comité de investigación **EPIM** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Ing. **Adwar Ranulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 035-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulada: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASJ. L. MONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730cc.
Archivo 2025
Interesado (a)UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. Fito Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA

IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INT...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:551408795

Fecha de entrega

31 ene 2026, 15:06 GMT-5

Fecha de descarga

1 feb 2026, 7:40 GMT-5

Nombre del archivo

T036_73890127_T.docx

Tamaño del archivo

22.9 MB

125 páginas

15.990 palabras

88.605 caracteres



TESIS UANCV

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

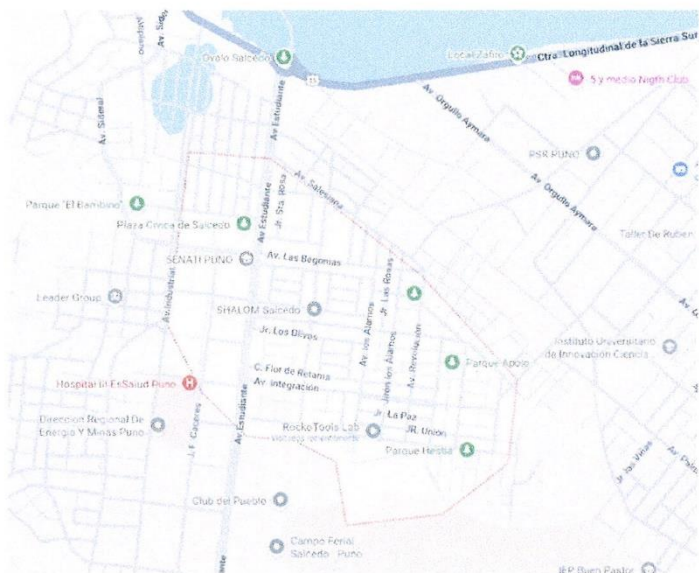
Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos complementarios - UANCV

Título de la Tesis	
IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73890127
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-4014-0904
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SÁNCHEZ CARREÓN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02064066
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476



Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN – P21
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Departamento: PUNO Provincia: PUNO Distrito: PUNO Longitud oeste: -15.874133480520529 Latitud sur: , -69.99501180701138  URL: https://maps.app.goo.gl/XY5z1sNUZbgAbRMw5
Año o rango de años en que se realizó la investigación	JULIO 2025 – NOVIEMBRE 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00 Mecánica aplicada https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02
- Librería	



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÉSAR VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS
Dr. Cesar G. Camargo Najjar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA, identificado con DNI
Nro. 73890127, en mi condición de egresado de:

- ☒ **Escuela Profesional**
☐ **Programa de Segunda Especialidad,**
☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA MECATRÓNICA

informo que he elaborado el/la ☒ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación**, ☐ **Trabajo Académico**
denominada:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON
LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO
DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO – 2025**

Asesorado por: M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 15 de **DICIEMBRE** del 2025

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)

Huella



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por ser mi mayor inspiración.

A mi familia, por su apoyo constante y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Este logro es también suyo.

Ami querido gato mikis, mi pequeño compañero silencioso, que con su ternura y presencia me acompaño en las largas noches de estudio recordándome también que el cariño también se encuentra en los más pequeños gestos.



AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres, por su amor incondicional, su comprensión y su constante apoyo en cada etapa de mi vida. Gracias por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino hacia los sueños. Este logro es tan mío como suyo.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1. 1. Descripción del problema.....	1
1. 2. Formulación del problema.....	1
1. 2. 1. Problema general	1
1. 2. 2. Problemas específicos	2
1. 3. Justificación	2
1. 4. Objetivos de la investigación.....	2
1. 4. 1. Objetivo general	2
1. 4. 2. Objetivos específicos	3
1. 5. Importancia	3
1. 6. Limitaciones.....	4
1. 7. Hipótesis de la investigación	5
1. 7. 1. Hipótesis general.....	5
1. 7. 2. Hipótesis específicas	5
1. 8. Variables de investigación	5



CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2. 1. Antecedentes de la investigación	7
2. 1. 1. A nivel internacional	7
2. 1. 2. A nivel nacional	9
2. 2. Marco teórico	12
2. 3. Definición de términos.....	51

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. 1. Método de investigación	53
3. 2. Tipo de investigación	53
3. 3. Diseño de investigación	53
3. 4. Ámbito de la investigación	54
3. 5. Población y muestra	54
3. 6. Técnicas e instrumentos de recogida de información.....	54
3. 7. Recogida de datos	55

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO Y DISCUSION

4. 1. Presentación	56
4. 1. 1. La Planta.....	56
4. 1. 2. Análisis e interpretación de resultados	75
4. 2. Discusión de resultados	79
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	91



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura básica manipulador	13
Figura 2 Eslabones de un brazo robótico	13
Figura 3 Articulaciones con diferentes grados de libertad.	15
Figura 4 Configuraciones más usadas en robots manipuladores	16
Figura 5 Estructura angular	18
Figura 6 Vector relativo a la trama.....	20
Figura 7 Ubicación de un objeto en posición y orientación.....	20
Figura 8 Configuración angular	21
Figura 9 Manipulador en un bucle cerrado	23
Figura 10 Angulo de giro de un servomotor.....	24
Figura 11 Modos de funcionamiento fundamentales	25
Figura 12 Sp ESP 32 WROOM-38 Pines	28
Figura 13 Modulo FC-51.....	30
Figura 14 ESP32-CAM.	30
Figura 15 ESP32-CAM-MB Adapter	31
Figura 16 Servomotor MG995	31
Figura 17 Características Servomotores Mg995	32
Figura 18 Curva Posición - tiempo	33
Figura 19 Campo magnético del rotor	34
Figura 20 Numero Polos.....	35
Figura 21 Paso polar del estator.....	35
Figura 22 Esquema del rotor	36
Figura 23 Rotor con reluctancia variables	37
Figura 24 Motorreductor 200RPM 6V	38



Figura 25 Módulo Relé 5V de 1 canal	38
Figura 26 Driver DM 556	41
Figura 27 Código QR2.....	42
Figura 28 Capacidad máxima de datos del código QR	43
Figura 29 Código de barras y código QR	43
Figura 30 Niveles de corrección de errores de los códigos QR	44
Figura 31 Cuadros de posicionamiento	44
Figura 32 Distintos tipos de códigos 2D	45
Figura 33 Conexión en protocolo I2C	47
Figura 34 transmisión de datos	48
Figura 35 Máster escribiendo en un esclavo	49
Figura 36 Máster leyendo de un esclavo	50
Figura 37 Vista general del robot de 5 grados de libertad	56
Figura 38 Diagrama de conexiones brazo robótico 5 grados de libertad	58
Figura 39 Esquema eléctrico	59
Figura 40 Efecto final del brazo robótico (griper de agarre)	60
Figura 41 Figura x Carril para el movimiento lineal del brazo robótico de 5 grados de libertad.....	60
Figura 42 Diagrama de funcionamiento del brazo robótico de 5 grados de libertad, en la selección de cajas por QR.....	61
Figura 43 Programación del brazo robótico Arduino 1 esclavo	61
Figura 44 Programación de movimientos del servo.....	62
Figura 45 Vista de la interfaz gráfica instalada en el celular Android	63
Figura 46 Conexión bluetooth.....	64
Figura 47 Variables de almacenamiento	65



Figura 48 bloques de conteo de cajas.....	65
Figura 49 Botón de inicio de escaneo	66
Figura 50 Resultados de la interfaz	66
Figura 51 Diagrama de conexión para la comunicación 12c	69
Figura 52 Códigos (para el sp32 maestro)	70
Figura 53 Define las direcciones I ² C de los esclavos:	71
Figura 54 Ejecución del programa.....	71
Figura 55 Iniciación de bus.....	71
Figura 56 Procesamiento de información	72
Figura 57 Programación para el esclavo 1 (controla el brazo robótico).....	72
Figura 58 Programación para el esclavo 2	73
Figura 59 Análisis de la tabla.....	82



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	6
Tabla 2 Diferencias entre esp32 y otras placas de desarrollo	28
Tabla 3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
Tabla 4 Diagrama de bloques – sistema de clasificación con brazo robótico e I2C	78
Tabla 5 Tiempo de operación del brazo robótico	79
Tabla 6 Comparación general y análisis de aportes	81
Tabla 7 Tabla de resultados.....	82



RESUMEN

El propósito de este proyecto es implementar un brazo robótico de cinco grados de libertad capaz de realizar la selección automatizada de cajas mediante la lectura de códigos QR. Para lograrlo, se desarrolló un sistema mecatrónico que integra módulos de control, comunicación y visión por computadora. El brazo robótico fue construido utilizando servomotores de precisión y una estructura mecánica adaptable a diferentes tamaños de objetos.

Se utilizaron protocolos de comunicación serial para crear comunicación inter-integrada entre los diversos módulos (controlador principal, sistema de visión y actuadores), garantizando la sincronización de los movimientos y las tareas de reconocimiento. El sistema reconoce las cajas basándose en sus códigos y realiza la acción de selección y manipulación correspondiente utilizando una cámara y un algoritmo de decodificación de códigos QR.

Los resultados, que muestran una respuesta precisa en el movimiento del brazo robótico y una lectura efectiva de códigos QR, demuestran la viabilidad del método propuesto. Al simplificar los procedimientos de clasificación y minimizar la interacción humana en trabajos monótonos, esta iniciativa impulsa el desarrollo de soluciones automatizadas en entornos industriales.

Palabras clave: Brazo robótico, grados de libertad, comunicación inter-integrado, código QR, automatización industrial



ABSTRACT

The purpose of this project is to implement a five-degree-of-freedom robotic arm capable of performing automated box selection through QR code reading. To achieve this, a mechatronic system was developed that integrates control, communication, and computer vision modules. The robotic arm was built using precision servomotors and a mechanical structure adaptable to different object sizes.

Serial communication protocols were used to establish inter-integrated communication among the various modules (main controller, vision system, and actuators), ensuring synchronization of movement and recognition tasks. The system identifies boxes based on their codes and performs the corresponding selection and manipulation actions using a camera and a QR code decoding algorithm.

The results, which demonstrate precise movement responses of the robotic arm and effective QR code reading, validate the feasibility of the proposed approach. By streamlining classification procedures and minimizing human intervention in repetitive tasks, this project promotes the development of automated solutions in industrial environments.

Keywords: robotic arm, degrees of freedom, inter-integrated communication, QR code, industrial automation.



INTRODUCCIÓN

Debido a que aumenta la productividad y reduce los costos operativos, la automatización industrial es esencial para la optimización de los procesos de fabricación y logística. Los sistemas robóticos, en particular los brazos robóticos, son cruciales en esta situación debido a su gran precisión, velocidad y fiabilidad al realizar tareas repetitivas.

La realización de un brazo robótico con cinco grados de libertad ofrece una adaptabilidad excepcional en la manipulación de objetos y permite la realización de acciones complejas en tres dimensiones. Estos movimientos se llevan a cabo con la precisión y estabilidad necesarias para un entorno industrial automatizado gracias a la aplicación de principios de cinemática, dinámica y control robótico.

Por el contrario, la comunicación inter-integrada asegura la sincronización y un flujo de información efectivo al facilitar la interacción eficiente entre los diversos subsistemas del sistema mecatrónico, incluidos el controlador, los sensores y los actuadores, a través de protocolos de comunicación en serie.

Al permitir la detección rápida y precisa de cajas utilizando métodos de visión artificial y decodificación de imágenes, la integración de códigos QR mejora el sistema. La automatización de la selección de objetos que hace posible este procedimiento minimiza en gran medida la participación humana y la posibilidad de errores operativos.

En general, la tesis muestra un aumento significativo en la precisión, eficiencia y autonomía de los procesos de clasificación industrial al proponer e implementar un sistema que integra un brazo robótico con cinco grados de libertad con tecnología de reconocimiento de códigos QR.



CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1. 1. Descripción del problema

La selección de cajas y el manejo manual en un entorno industrial con frecuencia conducen a errores, demoras y altos costos operativos. La precisión y eficiencia de los sistemas actuales, que dependen de la tecnología de códigos de barras y brazos robóticos con grados de libertad limitados, se ven gravemente comprometidas.

Los códigos de barras pueden ser menos útiles en situaciones dinámicas, y los brazos robóticos pueden tener dificultades para manejar cajas de diferentes tamaños y formas. Para aumentar la precisión, la velocidad y la coordinación en el proceso de selección de cajas, se requiere una solución automatizada más sofisticada que incorpore un brazo robótico de 5 grados de libertad con tecnología de código QR y un sistema de comunicación inter-integrado.

1. 2. Formulación del problema

1. 2. 1. Problema general

¿Cómo implementar un brazo robótico de 5 grados de libertad con la comunicación inter-integrado para la selección de cajas por código de respuesta rápida?

1. 2. 2. Problemas específicos

- ¿Cómo implementar un brazo robótico de 5 grados de libertad?
- ¿Cómo implementar una interfaz gráfica en App Inventor para monitorear la cantidad de cajas seleccionadas y controlar la marcha/parada del sistema.
- ¿De qué manera se realiza la comunicación inter-integrado un brazo robótico de 5 grados de libertad?

1. 3. Justificación

El requisito de maximizar la precisión y la eficiencia en la selección de cajas en entornos industriales es la razón detrás de la implementación de un sistema que combina un brazo robótico de 5 grados de libertad con tecnología de códigos QR.

El manejo de cajas se mejora considerablemente con un brazo robótico con muchos grados de libertad que puede ejecutar movimientos intrincados y adaptarse a diferentes configuraciones, mientras que los códigos QR proporcionan un reconocimiento de objetos más rápido y preciso que los códigos de barras. Además de reducir la posibilidad de errores y los retrasos en el tiempo de procesamiento, la integración de estos elementos y un sistema de comunicación interconectado también disminuye los gastos operativos relacionados con la intervención manual, haciendo que el proceso sea más flexible, eficaz y económico.

1. 4. Objetivos de la investigación

1. 4. 1. Objetivo general

Implementar un brazo robótico de 5 grados de libertad con la comunicación inter-integrado para la selección de cajas por código de respuesta rápida.

1. 4. 2. Objetivos específicos

- Implementar un brazo robótico de cinco grados de libertad.
- Implementar una interfaz gráfica en App Inventor para monitorear la cantidad de cajas seleccionadas y controlar la marcha/parada del sistema.
- Realizar la comunicación circuito inter integrado en el brazo robotico de 5 grados de libertad.

1. 5. Importancia

El diseño y la ejecución de un brazo robótico de cinco grados de libertad que puede realizar tareas de selección de objetos leyendo códigos QR hacen que esta tesis sea extremadamente pertinente en el actual contexto de automatización y robótica. La arquitectura de comunicación Inter-Integrated Circuit (I2C) que sustenta este sistema permite una comunicación efectiva entre los numerosos componentes electrónicos que conforman el proyecto.

Este trabajo es significativo ya que combina una serie de tecnologías contemporáneas en una sola aplicación útil. Por un lado, el uso de un brazo robótico hace posible simular movimientos intrincados que se asemejan a los de un brazo humano, proporcionando mayor precisión y adaptabilidad en la manipulación de objetos. Sin embargo, un sistema de categorización automática que puede ser utilizado en diversos contextos industriales y logísticos es posible gracias al uso de códigos QR como mecanismo de identificación.

Además, debido a que permite la investigación real de ideas relacionadas con la robótica, la visión por computadora, el control de sistemas embebidos y la



comunicación digital, esta tesis es una contribución significativa al ámbito académico. Su naturaleza multidisciplinaria sirve como base para estudios posteriores o avances más sofisticados, además de mejorar la formación profesional de las personas que trabajan en el proyecto.

El enfoque sugerido tiene mucho potencial para mejorar los procedimientos de selección y organización de productos en el sector industrial, reduciendo el tiempo, disminuyendo los errores humanos y aumentando la eficacia operativa. Es una solución escalable que puede utilizarse en situaciones del mundo real debido a su diseño modular y adaptable, lo que permite que se amplíe o modifique para satisfacer diversas necesidades.

1. 6. Limitaciones

El sistema diseñado tiene una serie de desventajas importantes. En primer lugar, la velocidad y la complejidad del sistema están limitadas por la capacidad de procesamiento de los microcontroladores con conexión I2C. Además, la precisión de la lectura de códigos QR en contextos no controlados puede verse afectada por las condiciones óptimas de iluminación y distancia.

La precisión del brazo robótico y su limitada capacidad de carga lo hacen inadecuado para trabajos que requieren alta exactitud o repetibilidad. Además, el sistema no puede ajustarse automáticamente a las circunstancias cambiantes porque carece de inteligencia artificial y capacidades de aprendizaje. Aunque el prototipo cumple su objetivo académico e ilustra el funcionamiento fundamental del sistema sugerido, estas limitaciones restringen su utilidad en circunstancias industriales reales.



1. 7. Hipótesis de la investigación

1. 7. 1. Hipótesis general

La implementación de un brazo robótico de cinco grados de libertad con comunicación inter-integrada (I²C) permitirá realizar la selección automática de cajas mediante la lectura de códigos de respuesta rápida (QR), logrando un funcionamiento eficiente, preciso y confiable en el proceso de clasificación automatizada.

1. 7. 2. Hipótesis específicas

- La implementación de un brazo robótico de cinco grados de libertad permitirá realizar movimientos precisos y coordinados en cada articulación, facilitando la manipulación eficiente de objetos en tareas automatizadas.
- Si se implementa una interfaz gráfica en App Inventor que permita monitorear la cantidad de cajas seleccionadas y controlar la marcha/parada del sistema, entonces se mejorará la eficiencia y facilidad de control del proceso, al permitir una supervisión y operación más intuitiva y centralizada.
- La implementación de la comunicación inter-integrada (I²C) en el brazo robótico de cinco grados de libertad permitirá la sincronización eficiente entre el microcontrolador y los módulos del sistema, asegurando una transmisión de datos estable y un control preciso de los movimientos.

1. 8. Variables de investigación

Variable Independiente

- La implementación del brazo robótico con comunicación comunicación inter-integrado).

Variable Dependiente

- Selección de cajas mediante códigos de respuesta rápida.
- Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
Variable Independiente	Implementación del brazo robótico con comunicación inter-integrado.	Sistema de control y comunicación	Integración de sensores y actuadores	Porcentaje de componentes operativos (%)
			Tiempo de escaneo y procesamiento del código QR	Segundos (s)
		Sistema de reconocimiento QR		
Variable Dependiente	Selección de cajas mediante códigos de respuesta rápida mediante códigos de respuesta rápida	Tiempo de ejecución	Tiempo desde la lectura del QR hasta el agarre final.	Segundos (s)
			Tiempo de operación continua sin errores	Horas o minutos (h / min)

Nota. Elaboración propia



CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2. 1. Antecedentes de la investigación

2. 1. 1. *A nivel internacional*

(Díaz, 2023) Implementar un brazo robótico de 5 grados de libertad destinado a agarrar y mover paquetes es el objetivo principal de este proyecto. Se realizó una investigación para determinar los tipos de articulaciones utilizadas, la técnica de transferencia de potencia del motor y los conceptos fundamentales de ROS. Se seleccionó un diseño sencillo como base para alcanzar los objetivos predeterminados y permitir avances adicionales. Por lo tanto, se emplearon mecanismos de cuatro barras como sistema de transmisión de potencia, y las piezas se fabricaron mediante métodos de fabricación rápida, como la impresión 3D y el corte láser. Se utilizaron cajas armónicas para aumentar el par en las articulaciones iniciales. Para la rotación primaria, también se creó un rodamiento axial impreso en 3D con rodamientos de bolas. Se priorizó la intercambiabilidad y versatilidad del efector final. En relación con el diseño de ROS, se creó un paquete operativo en el espacio de trabajo que podía utilizar el modelo URDF del robot y la visualización RVIZ para simular el movimiento articular. Se estableció un nodo



suscriptor de estado conjunto para leer la información conjunta y enviarla en formato JSON a los motores para transmitir los datos en serie. En conjunto, los dos sistemas de cuatro barras redujeron el par generado por el peso de los motores en 0,73 kg cm. Las pruebas de repetibilidad mostraron que las articulaciones tenían una inexactitud promedio inferior a 1,5 grados y una desviación estándar inferior a 3,5 grados. El brazo puede extenderse hasta 40 cm.

(Ricaurte & Minda, 2017) El objetivo de este proyecto fue crear e implementar un brazo robótico guiado por cámara de cinco grados de libertad que se construyó mediante impresión 3D para aumentar su estabilidad y robustez. Debido al par necesario en esa parte del brazo, se instalaron servomotores en las tres primeras articulaciones para mover el robot. Se instalaron dos servomotores de 4,1 kg-cm en la última sección para dotar al brazo robótico de cinco grados de libertad. Para dirigir el prototipo, se utilizó una cámara como sensor principal, generando una imagen tridimensional que permitió determinar la profundidad en relación con los objetos cercanos. Estas imágenes se transmitieron al procesador ESP32, programado en Python para rastrear objetos y localizar el objetivo en los ejes X, Y y Z, que serían utilizados por el actuador final. Se confirmó que el brazo robótico alcanza una precisión del 90% durante toda la fase de diseño. Tras la instalación del brazo mecánico, se determinó que contar con un sistema de iluminación adecuado es crucial para garantizar resultados con un grado de confiabilidad suficiente. Como medida de precaución, se recomienda instalar interruptores de límite en ubicaciones estratégicas para proteger al operador y la estructura en caso de una falla del sistema.

(Coque, 2014) Utilizando LabVIEW y una conexión a Internet, se creó un sistema de control de brazo robótico de cinco grados de libertad y se puso en uso



en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecatrónica, para poder controlar la posición del último actuador del brazo robótico desde cualquier PC con conexión a Internet al laboratorio de electrónica. Utilizando el algoritmo Denavit-Hartenberg (D-H) para determinar la posición final del actuador, se empleó el método inductivo para resolver la cinemática de robots manipuladores. Posteriormente, se examinó la aplicación de servidor web LabVIEW para implementar el control a través de internet. Se aplicó el algoritmo D-H y se definieron las uniones del brazo utilizando el software de diseño SolidWorks, una computadora, una tarjeta de captura de datos y una bibliografía especializada.

Dependiendo de la velocidad de conexión, se observó un retraso de 1,5 segundos al encender el sistema. En este caso, la transferencia de datos alcanzó aproximadamente 100 Mbps. Sin embargo, esta velocidad no es específica del sistema, ya que depende del número de usuarios que utilizan la red. Cuando el uso de Internet por parte de los consumidores disminuye al 30% por la noche, el tiempo de retraso se reduce a 0,90 segundos. Es necesario un canal de Internet dedicado para que los sistemas remotos puedan gestionarse en tiempo real, con transmisión y recepción de datos más rápida entre el ordenador y el servidor. Con sólo una computadora con conexión a Internet y el software de control LabVIEW instalado, el operador puede realizar estas operaciones desde ubicaciones remotas o seguras, haciendo de este sistema una herramienta útil para escenarios que requieran manipulación o control remoto de operaciones.

2. 1. 2. A nivel nacional

(Rodas, 2016) En el caso de los brazos robóticos industriales, la programación de trayectorias implica la resolución de ecuaciones que consideran

los estados inicial y final del brazo. Es necesario reingresar los datos y recalcular las ecuaciones si alguna de estas situaciones cambia, Hasta el momento, no existe ningún sistema que pueda reaccionar automáticamente a circunstancias imprevistas, como la necesidad de cambiar la posición final prevista del efector del brazo robótico. Esta tesis utiliza visión artificial para diseñar y construir un sistema de planificación de trayectorias para un brazo robótico articulado con cinco grados de libertad. El software se desarrolla en el IDE de Arduino utilizando el lenguaje de programación Arduino, y el algoritmo integra las etapas básicas de un sistema de visión artificial. El programa utiliza como entrada las imágenes captadas por una cámara web y, como salida, genera las coordenadas cartesianas del punto de referencia, con el objetivo de posicionar en dicho punto el efector final del brazo robótico. Según los resultados de las pruebas de rendimiento, el efector final del robot logra una eficiencia del 100% en la colocación espacial, con un error absoluto promedio de 1,65 cm y una precisión del 96,38%. Mientras la iluminación de la plataforma del brazo robótico se mantenga por debajo de 50 lux, el sistema funciona eficazmente en el espacio de trabajo donde se toman las fotografías. Gracias a la precisión alcanzada, se hacen posibles tareas que incluyen la ubicación del efector final de un brazo robótico para transportar elementos a un punto objetivo dentro del área de trabajo y la manipulación de cosas con una pinza.

(Soto, 2016) En este estudio se propone un brazo robótico de cinco grados de libertad con un sistema de control de movimiento configurable por el usuario y una función de seguridad que protege al operador y al aparato en sí. Para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina, se realizan los cálculos mecánicos y electrónicos necesarios. Para ello, se establecen los parámetros de Denavit-Hartenberg y se utiliza la técnica geométrica para crear un modelo cinemático del



brazo robótico. También se resuelven las ecuaciones de Euler-Lagrange para determinar el modelo dinámico del robot. Se utiliza el software Autodesk Inventor para los dibujos mecánicos, el ensamblaje y el dimensionamiento de las piezas del robot. Para confirmar la viabilidad del diseño sugerido, el archivo CAD también se exporta a Matlab. También se utiliza el software Eagle para crear los circuitos esquemáticos del sistema y a la hora de elegir los componentes electrónicos se consultan varios manuales de fabricación y hojas de datos. Las facturas proforma y presupuestos se adquirieron vía correo electrónico para calcular el costo de los componentes utilizados, cabe mencionar que en el caso de componentes importados se consideraron los gastos de envío. Los resultados fueron buenos, ya que se pudo diseñar un brazo robótico seguro para el usuario, con sensores de corriente para evitar sobrecargas del motor y un mecanismo de parada de emergencia para detener el movimiento cuando sea necesario. Además, la tecnología permite al usuario ingresar varias ecuaciones de movimiento para el control del robot, lo que le permite personalizar completamente el funcionamiento del robot. Una parte de los cálculos se realizó con el software Autodesk Inventor, el cual produjo resultados positivos que respaldaron la precisión de los parámetros utilizados en el análisis y validaron el diseño. En resumen, el brazo robótico creado está pensado para ser utilizado con fines de investigación y docencia. Debido a que el sistema de control de movimiento es configurable por el usuario, estos pueden ajustar diferentes parámetros de la ecuación de movimiento para influir en su funcionamiento. Es fundamental recordar que al usuario se le proporcionan detalles sobre la cinemática y la dinámica del brazo robótico, lo que permite realizar pruebas experimentales para su confirmación. Con esta información, al usuario le resultará más fácil utilizar el brazo robótico producido.

(Quispe & Escobedo, 2014) En el ámbito de la robótica y las redes, este proyecto crea un brazo robótico que puede controlarse manual o automáticamente. Está diseñado para realizar actividades repetitivas, especialmente el paletizado, para lograr esto, se emplearon recursos fácilmente disponibles que no requirieron un desembolso económico significativo para crear todo el sistema, incluida la sección de control, la sección mecánica y la interfaz de monitorización de la red Zigbee. Las ideas, técnicas y herramientas utilizadas tienen como objetivo facilitar la comprensión de su funcionamiento, lo que hará que el trabajo futuro sea más fácil de realizar y menos complicado. Para lograr el objetivo establecido se seleccionó un diseño humanoide articulado, que también es el modelo más popular y factible de producir. Para lograr el objetivo establecido se seleccionó un diseño humanoide articulado, que también es el modelo más popular y factible de producir, con sus cinco grados de libertad, este brazo robótico será controlado por una computadora que podrá utilizar redes Zigbee para realizar ciertas tareas que pueden ser apropiadas para aplicaciones industriales a gran escala.

2. 2. Marco teórico

2.2.1. Robótica

Robots Manipuladores

(Vasco, 2014) Un robot articulado es un manipulador multipropósito y reprogramable que puede mover objetos, piezas o equipos especializados utilizando movimientos móviles preprogramados para realizar una variedad de tareas.

La cantidad de movimientos independientes que puede realizar un manipulador para completar un trabajo está representada por sus grados de libertad

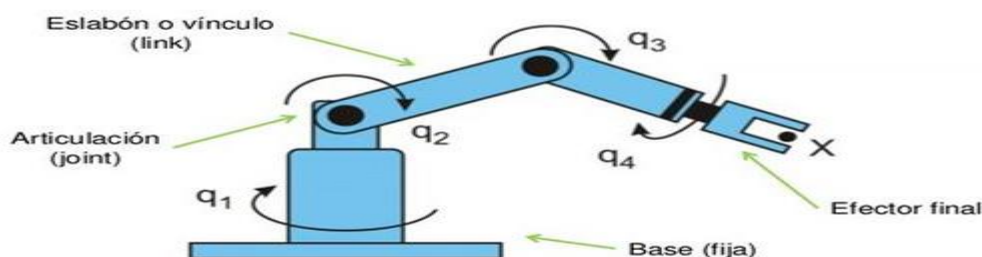
(GDL). Por el contrario, los grados de movilidad (GDM) de un robot representan la cantidad total de movimientos que es capaz de realizar.

El término "carga útil" describe la capacidad de un robot para mover una carga. La carga útil del robot es el peso máximo que puede soportar dentro de su volumen de trabajo completo, y el par necesario para transferirla varía según su disposición.

El espacio en el que se puede mover el extremo de la muñeca de un manipulador se conoce como volumen de trabajo. Dado que la muñeca del robot puede estar equipada con pinzas de diferentes tamaños, el actuador final no se tiene en cuenta al determinar este volumen.

Figura 1

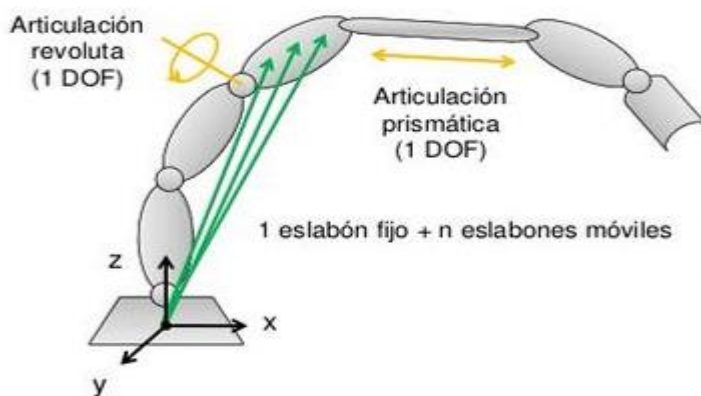
Estructura básica manipulador



Nota. (Vasco, 2014)

Figura 2

Eslabones de un brazo robótico



Nota. (Vasco, 2014)

El número de parámetros independientes (es decir, las articulaciones del robot) que afectan su posición se representa mediante sus grados de libertad. El número de eslabones en la cadena cinemática suele coincidir con el número de grados de libertad.

- **Configuración de los robots manipuladores**

Las articulaciones robóticas vienen en una variedad de formas, pero la más popular es la articulación giratoria ya que ofrece un grado de libertad que permite la rotación alrededor del eje de la articulación.

La estructura habitual de un manipulador consta de componentes unidos por articulaciones. Un elemento terminal o efector final, como una pinza o una herramienta diseñada para realizar una función específica, se aloja en el último eslabón.

a) Configuración angular (universal o antropomorfo)

Tres juntas rotativas (3G o RRR) componen esta disposición, que es la más utilizada en proyectos de investigación y desarrollo, así como en entornos educativos. Las coordenadas angulares determinan naturalmente la posición del extremo. Esta estructura es fácil de construir y facilita el acceso a espacios reducidos. Los robots manipuladores industriales lo utilizan ampliamente, especialmente para tareas que requieren cierto grado de sofisticación.

2. 2. 1. Morfología de los robots

(Barrientos, 1996) La descripción de las características básicas de las estructuras de los robots, incluidos los manipuladores y los robots móviles, se denomina morfología. En los robots manipuladores se consideran los tipos de articulaciones y configuraciones tradicionales utilizadas para este tipo de robots. Un

robot está compuesto por los siguientes elementos: estructura mecánica, sistemas de transmisión, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos efectores o terminales.

Un robot manipulador es análogo a una cadena cinemática abierta formada por eslabones o componentes unidos por articulaciones o pares cinemáticos que permiten el movimiento relativo entre eslabones sucesivos.

Es habitual referirse a las distintas secciones de los robots industriales utilizando frases como cuerpo, brazo, codo y muñeca porque su estructura física es similar a la del brazo humano.

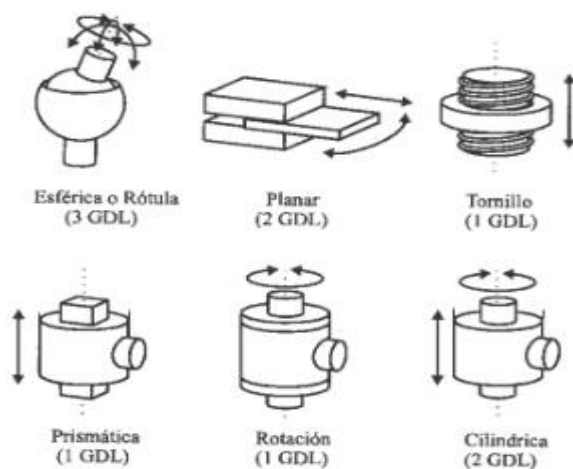
2.2.2. Tipos de Articulaciones

(Barrientos, 1996) Cada movimiento independiente que una articulación puede realizar con respecto a la anterior se conoce como su grado de libertad (GDL).

La cantidad de grados de libertad asociados con cada tipo de articulación se muestra en la siguiente imagen.

Figura 3

Articulaciones con diferentes grados de libertad.



Nota. (Barrientos, Fundamentos de Robótica, 1996)

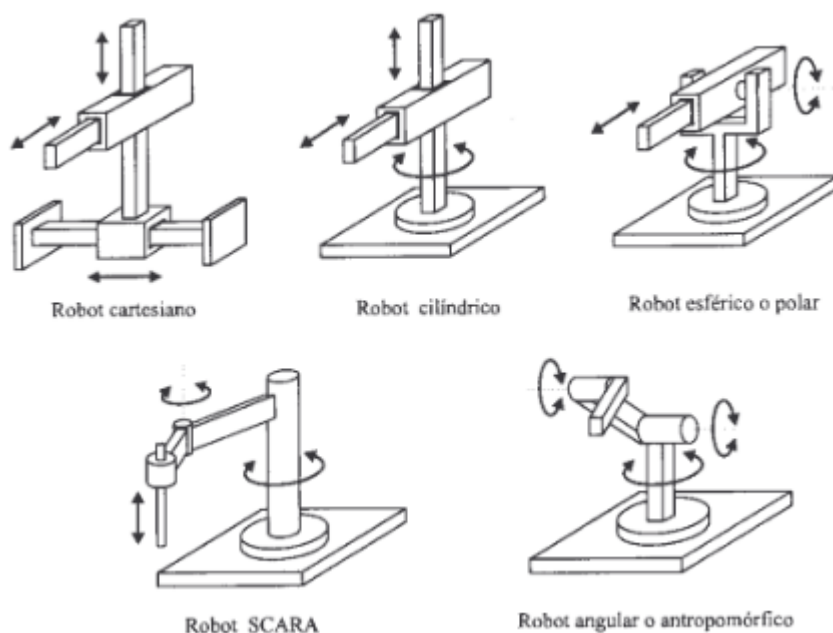
La suma de los grados de libertad de cada articulación de un robot es su número total de grados de libertad.

2.2.3. Estructuras básicas

(Barrientos, 1996) El uso de diferentes combinaciones de articulaciones por parte de un robot produce una variedad de configuraciones, cuyas propiedades deben tenerse en cuenta durante todo el diseño y la construcción del robot, así como durante su uso. Las tres primeras articulaciones del robot, que se consideran las más importantes para colocar su extremo en un lugar del espacio, se muestran en la Figura 6 junto con las combinaciones más populares.

Figura 4

Configuraciones más usadas en robots manipuladores



Nota: (Barrientos, Fundamentos de Robótica, 1996)

Un robot debe tener al menos seis grados de libertad (GDL) para poder posicionar y orientar su extremo, así como la parte o herramienta manipulada, en

cualquier dirección espacial. Esto se debe a que localizar y orientar un cuerpo en el espacio requiere seis parámetros: tres para la posición y tres para la orientación.

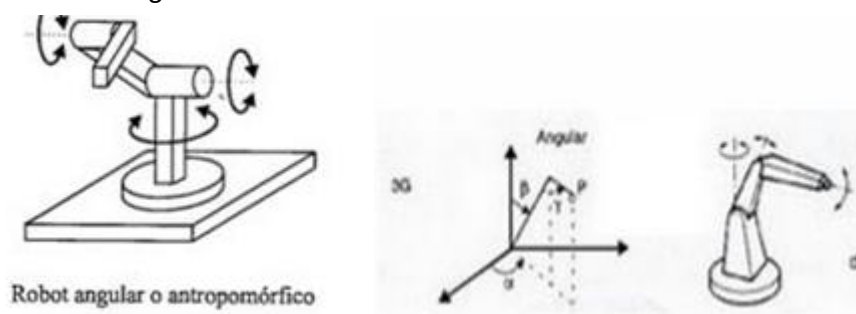
- Tres articulaciones prismáticas conforman la configuración cartesiana, que se muestra en la Figura 6.a (estructura 3D o PPP). Las aplicaciones industriales utilizan este tipo de configuración.
- Una configuración cilíndrica consta de dos articulaciones prismáticas y una giratoria (2D, 1G). La primera articulación generalmente corresponde al movimiento de rotación (estructura PPP). En este caso, la posición se determina naturalmente mediante coordenadas cilíndricas.
- La configuración polar o esférica (construcción 2G, 1D o RRP) incluye dos articulaciones rotacionales y una prismática. Gracias a ciertos factores, las coordenadas polares permiten definir la ubicación de la terminación del tercer eslabón en este tipo de configuración.
- El sistema SCARA se creó específicamente para realizar actividades de ensamblaje en un solo plano. Está compuesto por una articulación prismática que permite el movimiento perpendicular al plano de trabajo y dos articulaciones rotacionales con ejes paralelos.
- Una disposición antropomórfica o angular consta de tres articulaciones rotacionales (3G o RRR). Las coordenadas angulares determinan naturalmente la ubicación del extremo en este tipo de configuración. Esta estructura facilita el acceso a espacios reducidos y simplifica el proceso de construcción. Se utiliza ampliamente en manipuladores robóticos industriales, especialmente para tareas que requieren cierta complejidad.

2.2.4. Estructuras angulares

(Barrientos, 1996) Este tipo de manipuladores se clasifican en función de su estructura fundamental; en concreto, aquellos con forma cilíndrica tienen dos articulaciones prismáticas y una articulación rotacional, que se denotan con la notación (RPP).

Figura 5

Estructura angular



2.2.5. Localización espacial

Para que un robot manipule una pieza, su extremo debe moverse espacialmente. De igual manera, debe conocer la orientación y posición de la pieza respecto a la base del robot para poder sujetarla. Por tanto, se requieren herramientas matemáticas que permitan definir la orientación y posición de piezas, herramientas y, más en general, de cualquier objeto en el espacio.

- Representaciones de la posición

(Craig, 2006) Las características de los diversos componentes, herramientas y el propio manipulador que forman parte de un sistema de manipulación se definen mediante una descripción. En esta sección se explicarán las ubicaciones, las orientaciones y la entidad que combina ambas (el sistema de referencia o marco).

- Descripción de una posición

(Craig, 2006) Cualquier punto en el espacio puede hallarse mediante un vector de posición de 3×1 mediante la construcción de un sistema de coordenadas. Los vectores deben etiquetarse con información que indique el sistema de coordenadas en el que están definidos, ya que, además del sistema universal, se utilizan con frecuencia otros sistemas de coordenadas. A menos que el contexto indique lo contrario, los vectores en este caso se denotan mediante un subíndice izquierdo que indica el sistema de coordenadas al que pertenecen, como ${}^A P$. Esto sugiere que los elementos de ${}^A P$ son equivalentes a valores numéricos que representan separaciones a lo largo de los ejes del sistema $\{A\}$. La proyección del vector sobre el eje correspondiente permite comprender cada una de estas distancias.

Tres vectores unitarios ortogonales con puntos sólidos conforman el sistema de coordenadas $\{A\}$ que se muestra en la figura. Un punto ${}^A P$ se caracteriza como un vector, que puede considerarse como un conjunto ordenado de tres valores o como una ubicación en el espacio. Los subíndices x , y y z se utilizan para identificar las diferentes partes de este vector.

$${}^A P = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}$$

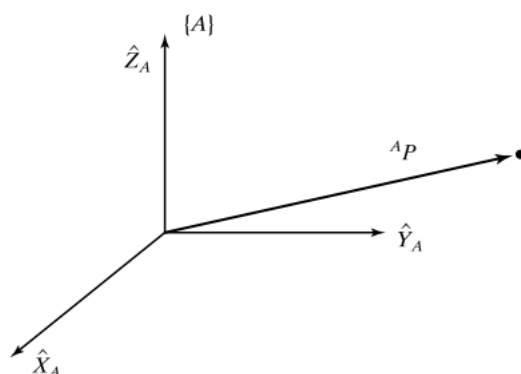
- Descripción de una orientación

(Craig, 2006) Con frecuencia, la simple representación de una ubicación en el espacio no es suficiente; también debe describirse la orientación de un cuerpo. Por ejemplo, si el vector ${}^A P$ de la figura apunta a una ubicación entre las yemas de los dedos de un manipulador, la posición de la mano no se especificará

completamente a menos que también se muestre su orientación. La mano podría orientarse libremente manteniendo la misma ubicación entre las yemas de los dedos si el manipulador tiene un número suficiente de articulaciones. La mano podría orientarse libremente manteniendo la misma ubicación entre las yemas de los dedos si el manipulador tiene un número suficiente de articulaciones.

Figura 6

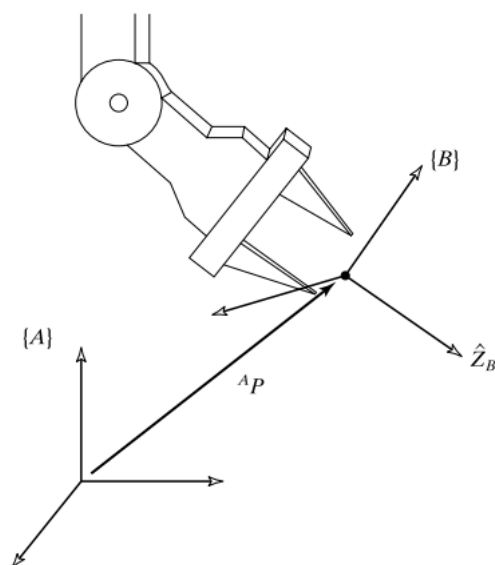
Vector relativo a la trama



Nota: (Barrientos, Fundamentos de Robótica, 1996)

Figura 7

Ubicación de un objeto en posición y orientación



Nota: (Barrientos, Fundamentos de Robótica, 1996)

Un sistema de coordenadas se vincula a un cuerpo en el espacio para especificar su orientación, y este sistema se explica en relación con el sistema de

referencia. Dado que el sistema de coordenadas $\{B\}$ se ha asociado con el cuerpo en la figura de forma conocida, expresar $\{B\}$ en relación con $\{A\}$ es suficiente para determinar su orientación.}

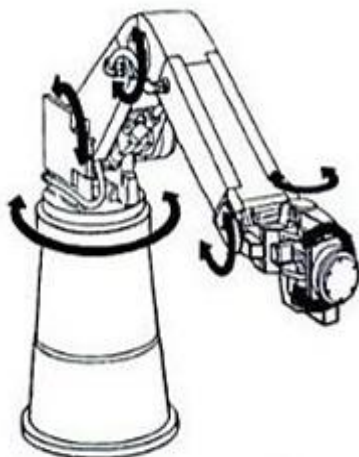
Como resultado, un sistema de coordenadas asociado define la orientación de los cuerpos, mientras que los vectores describen la posición de los puntos. Los vectores unitarios de los tres ejes principales del cuerpo pueden expresarse en términos del sistema de coordenadas $\{A\}$ para caracterizar el sistema de coordenadas $\{B\}$ asociado a él.

2.2.6. Orientación del efector final

Con frecuencia, es necesario que el efector final adopte una orientación espacial específica durante el movimiento del manipulador. La muñeca del manipulador realiza esta tarea. En la figura (abajo) se muestra un brazo de manipulación angular con una muñeca que añade tres grados de libertad de rotación adicionales a la estructura. El brazo ahora puede orientar el efector final en el espacio gracias a estos tres grados adicionales de libertad, lo que le da al manipulador un total de seis grados de libertad.

Figura 8

Configuración angular



Nota: (Barrientos y otros, 2007)

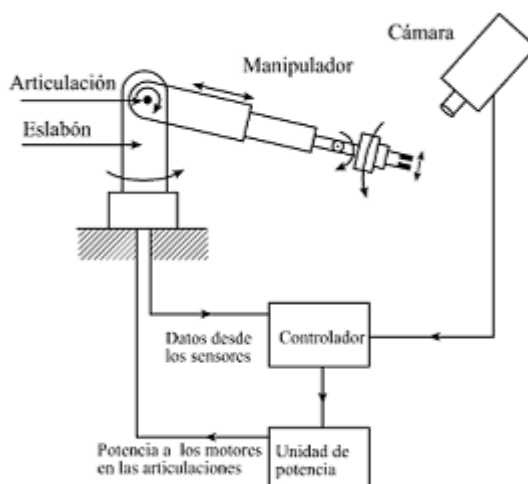
2.2.7. Efectores finales

Es la parte que sujeta el objeto a manipular durante una tarea determinada y se encuentra en el extremo del brazo o manipulador. En el diseño deben tenerse en cuenta aspectos como la capacidad de carga, la fuerza de agarre, las dimensiones y la geometría de los objetos a manipular, las tolerancias, los tipos de movimientos potenciales y las características de la superficie de contacto. El diseño debe tener en cuenta factores que incluyen las características de la superficie de contacto, las tolerancias, la geometría y dimensiones de los objetos a manipular, la capacidad de carga, la fuerza de agarre y los posibles tipos de movimiento.

Además, existen mecanismos o dedos flexibles diseñados para evitar que el objeto se mueva mientras se manipula.

Los siguientes elementos son necesarios para que un robot manipulador pueda operar por sí solo:

- Un brazo se compone de varias articulaciones o enlaces mecánicos y actuadores, como motores eléctricos o hidráulicos. En un sistema de control de lazo cerrado, también puede integrar sensores de posición.
- Para activar los actuadores que mueven las articulaciones del brazo, el controlador, generalmente basado en una microcomputadora, recibe entradas de los sensores de posición y controla la Nota de alimentación regulada.

Figura 9*Manipulador en un bucle cerrado*

Nota: (Barrientos y otros, 2007)

2.2.8. Servomotores

Mediante una señal codificada, un servomotor (un pequeño dispositivo con un eje de salida controlado) puede posicionarse en orientaciones angulares exactas. Esta señal de control debe ser recibida como entrada por el eje para alcanzar un ángulo determinado. Palancas, pequeños elevadores y timones son solo algunos ejemplos de las superficies que se controlan con servomotores. Además, se emplean en robótica, títeres y radiocontrol.

Los servomotores son muy útiles en la industria robótica. Se distinguen por su pequeño tamaño, ya que incorporan un circuito de control que les proporciona una gran potencia en relación con su tamaño. Para su tamaño, un servo convencional puede proporcionar un par considerable: aproximadamente 42 onzas por pulgada (3 kg/cm). Además, consumen poca energía y proporcionan potencia proporcional para gestionar cargas mecánicas.

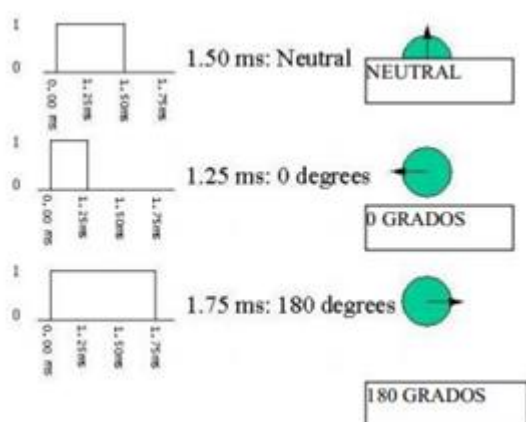
Durante el intervalo de tiempo de encendido, se aplica un pulso para controlar un servomotor. Normalmente, este pulso dura entre uno y dos milisegundos. El ángulo de posición del servomotor se determina por la fluctuación del ancho de pulso dentro de este rango; cualquier valor entre uno y dos milisegundos corresponde a una orientación específica del eje.

La duración del pulso dado a la entrada de control, conocida como PCM (Modulación por Código de Pulsos), determina el ángulo de un servomotor. El desplazamiento angular del motor está determinado por la longitud de este pulso.

Para los Hitec: 0.50 ms = 0 grados, 1.50 ms = 90 grados y 2.5 ms = 180

Figura 10

Angulo de giro de un servomotor



2.2.9. Comunicaciones Sockets

Un número de puerto, de 16 bits, es el medio por el cual una aplicación se conecta a un protocolo de transporte (y viceversa). Dado que cada aplicación se identifica individualmente por un puerto, dos aplicaciones no pueden usar el mismo número de puerto simultáneamente en el mismo equipo. El rango de puertos asignados varía según el tipo de transporte utilizado.

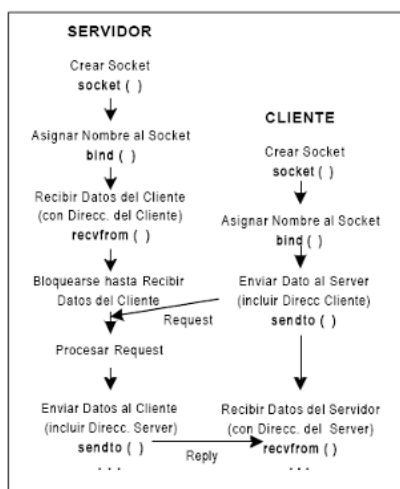
Una aplicación puede identificarse de forma única en la red mediante un socket. Esto se logra incluyendo la dirección IP del equipo que la ejecuta, el protocolo de transporte y el número de puerto, además de la propia aplicación. Una aplicación puede identificarse claramente en la red gracias al socket, creado por el conjunto de dirección IP, protocolo de transporte y puerto.

Una modificación del gestor de código de servicios de sockets de la API Winsock32 es el framework .NET Sockets. Los métodos de la clase Sockets suelen gestionar las comprobaciones de seguridad asociadas y encapsular la funcionalidad nativa de WIN32.

Síncrono y asíncrono son los dos modos de funcionamiento fundamentales que admite la clase Sockets. Las funciones que realizan acciones de red (como transmitir o recibir datos) en modo síncrono detienen la ejecución hasta que la tarea finaliza y luego devuelven el control al programa que la realizó. Sin embargo, estas llamadas regresan instantáneamente en modo asíncrono, lo que permite que el programa continúe ejecutándose mientras la acción de red finaliza en segundo plano.

Figura 11

Modos de funcionamiento fundamentales



Nota: (Craig, 2006)

2.2.10. Comunicación Serial

Casi todas las computadoras incluyen comunicación serial como característica estándar. Es un protocolo popular para el intercambio de información entre dispositivos. Al combinarse con un dispositivo de muestreo remoto, también puede utilizarse para la recopilación de datos.

La idea básica de la comunicación serial es simple: los datos se envían y reciben bit a bit a través del puerto en forma de bytes. La comunicación serial es más sencilla de configurar y permite distancias de transmisión significativamente mayores, aunque es más lenta que la comunicación paralela, que transmite un byte completo a la vez. Por ejemplo, el estándar IEEE 488 especifica que se pueden alcanzar longitudes de cable de hasta 1200 metros con esta técnica.

Los datos en formato ASCII se suelen transmitir mediante una conexión en serie. Esto se logra utilizando tres líneas principales: (1) transmisión (TX), (2) recepción (RX) y (3) tierra o referencia. Se trata de una técnica asíncrona que permite recibir datos simultáneamente por una línea y transmitirlos por otra. La velocidad de transmisión, el número de bits de datos, el número de bits de parada y la paridad son las características principales de la comunicación serial. Estas características deben ser las mismas en ambos lados para que dos puertos se comuniquen correctamente.

2.2.11. Conceptos el ESP32

(Ortiz, y otros, 2025) Un programa es un conjunto de instrucciones que una computadora o un microcontrolador, como el ESP32, sigue para realizar una determinada operación. Esto permite la toma de decisiones basada en datos, la automatización de procesos y la interacción con el mundo físico mediante sensores

y actuadores. La escritura de estas instrucciones se simplifica con lenguajes de programación como C++, utilizado en el IDE de Arduino. Estos pueden ser tan simples como encender o apagar un LED o tan complicados como desarrollar sistemas operativos.

2.2.12. Lenguajes de programación

Existen dos categorías principales de lenguajes de programación. Lenguajes interpretados: Aunque suelen ser más lentos, el código se ejecuta línea por línea a través de un intérprete, lo que facilita la depuración y la portabilidad. Python es un ejemplo. Lenguajes compilados: Para aumentar la eficiencia y la velocidad de ejecución, el código se convierte completamente a lenguaje máquina antes de la ejecución. C++, por ejemplo, se utiliza en Arduino. El IDE de Arduino sirve como entorno de desarrollo para la programación del ESP32, que se realiza principalmente en el lenguaje compilado C++.

El objetivo de este capítulo es aprender sobre la placa de desarrollo ESP32, incluyendo sus funciones principales, el proceso de configuración inicial y sus beneficios tanto para el ámbito académico como profesional.

El ESP32, un microcontrolador económico y de alto rendimiento con Bluetooth y Wi-Fi integrados, es una herramienta flexible y esencial para crear proyectos del Internet de las Cosas (IoT). Gracias a su capacidad de procesamiento, su amplia gama de periféricos integrados y su compatibilidad con múltiples entornos de programación, el ESP32 permite desarrollar soluciones creativas para todo tipo de aplicaciones, desde aplicaciones domésticas hasta sistemas industriales. Gracias a su bajo costo, sus sofisticadas capacidades y su facilidad de uso, el ESP32 ha revolucionado el mercado de las placas de desarrollo

y ha ganado popularidad tanto en entornos comerciales como educativos. La Tabla 1, que enumera las principales diferencias entre el ESP32 y otras placas de desarrollo, lo deja claro.

Tabla 2

Diferencias entre esp32 y otras placas de desarrollo

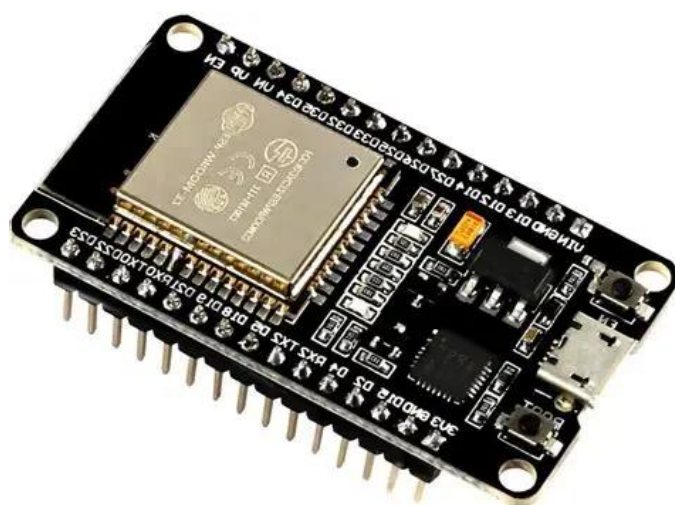
Característica	ESP32	ESP8266	Arduino UNO
Procesador	Dual-core Xtensa	Single-core Xtensa	AVR de 8 bits
Velocidad de reloj	Hasta 240 MHz	Hasta 160 MHz	16 MHz
Memoria RAM	~520 KB	~160 KB	2 KB
Conectividad	WiFi y Bluetooth	WiFi	No incluye
Pines GPIO	30-36	17	14
Periféricos	UART, SPI, I2C, ADC	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C

Fuente: adaptado de elosciloscopio.com [10].

El ESP32 es especialmente adecuado para proyectos que necesitan conectividad inalámbrica y procesamiento en tiempo real porque, como se puede ver, ofrece un rendimiento notablemente mejor que sus predecesores y otras placas de desarrollo.

Figura 12

Sp ESP 32 WROOM-38 Pines



Nota: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=BSf7PvSZ&id=20FD575A=0&ajaxserp=0>

2.2.13. Sensores y actuadores

En cualquier sistema de hardware automatizado, los sensores y actuadores son componentes cruciales. Un sensor es un dispositivo que puede detectar cambios en el mundo físico y convertirlos en señales eléctricas que un ESP32 u otro microcontrolador puede comprender. Para que los sistemas electrónicos detecten y reaccionen a su entorno, un sensor de temperatura, por ejemplo, registra la temperatura ambiente y la transforma en un valor digital que el ESP32 puede calcular. En cambio, un actuador es una máquina que responde a una señal eléctrica o a las órdenes de un microcontrolador realizando acciones físicas. Los sistemas electrónicos pueden interactuar con el entorno produciendo movimiento, luz, sonido u otras respuestas físicas. Por ejemplo, un motor puede girar en respuesta a una señal, o un relé puede encender o apagar un dispositivo eléctrico.

2. 2. 2. Sensores infrarrojos

Los dispositivos optoelectrónicos, conocidos como sensores infrarrojos, utilizan la radiación infrarroja (IR) generada o reflejada por los objetos para medir distancias. Un LED infrarrojo, que emite luz invisible para el ojo humano, actúa como emisor en el módulo IR FC-51, un sensor infrarrojo activo. Un fototransistor sensible a esta luz actúa como receptor. El módulo es adecuado para los requisitos de este proyecto, ya que también cuenta con un regulador que permite modificar la distancia de detección mediante la reflexión de la luz infrarroja, con un rango de 2 a 30 cm:

- VCC - Entrada de alimentación de DC de 3.3V-5V
- GND -0V Pin de alimentación
- OUT - Pin de salida digital

- Ángulo de detección -35 grados
- Salidas Nivel lógico bajo cuando se detecta un obstáculo Figura 10: Entorno de programación de Arduino. Nota: www.Arduino.cc 20 Rango de detección: 2cm - 30cm (Ajustable usando un potenciómetro) tal como se muestra en la figura.

Figura 13

Modulo FC-51



Nota: http://www.dmt.unisaiento.it/-denunzio/allow_listing/Arduino/fc51.pdf

2.2.14. ESP32-CAM.

(Fonseca & Soria, 2020) Es una placa que cuenta con una pequeña cámara que funciona independientemente gracias a su microcontrolador integrado ESP32, sus dimensiones son 27 mm * 40,5 mm * 4,5 mm y su corriente de 6mA. Además, este dispositivo se utiliza para monitoreo inalámbrico, identificación inalámbrica QR, señales de sistemas de posicionamiento inalámbrico y otras aplicaciones de domótica, siendo una solución ideal en caso de diseñar e implementar varios terminales de hardware de IoT.

Figura 14

ESP32-CAM.



Nota: (Fonseca & Soria, 2020)

2.2.15. ESP32-CAM-MB Adapter

(Engineers, 2025) Gracias a su microprocesador ESP32, esta placa incorpora una pequeña cámara que funciona de forma independiente. Mide 27 mm × 40,5 mm × 4,5 mm y consume 6 mA de corriente. Este dispositivo es una solución ideal para el diseño e implementación de numerosos terminales de hardware en entornos de Internet de las Cosas (IoT). Se utiliza en aplicaciones de monitorización inalámbrica, escaneo de códigos QR, señales de sistemas de posicionamiento y diversos proyectos de domótica.

Figura 15

ESP32-CAM-MB Adapter



Nota: (Engineers, 2025)

2. 2. 3. Actuadores

(Engineers, 2025) Con numerosas aplicaciones en robótica, electrónica y otros proyectos, el servomotor MG995 ofrece un rango de rotación de 0° a 180°. Es compatible con la mayoría de los microcontroladores.

Figura 16

Servomotor MG995



Nota: (Engineers, 2025)

La siguiente tabla, Tabla, enumera las especificaciones del servomotor, incluido su voltaje de funcionamiento, velocidad sin carga, par de ralenti y rango de rotación.

Figura 17

Características Servomotores Mg995

Especificaciones	MG995
Peso	55 gr.
Dimensiones	40.7 x 19.7 x 42.9 mm
Torque	8.5 kgf x cm (4.8 volts) - 10 kgf x cm (6 volts)
Velocidad de operación	0.2 s/60° (4.8 volts) – 0.16 s/60° (6 volts)
Angulo de rotación	180°
Voltaje de operación	4.8 volts a 7.2 volts
Temperatura de operación	0 °C a 55 °C

Nota: (Engineers, 2025)

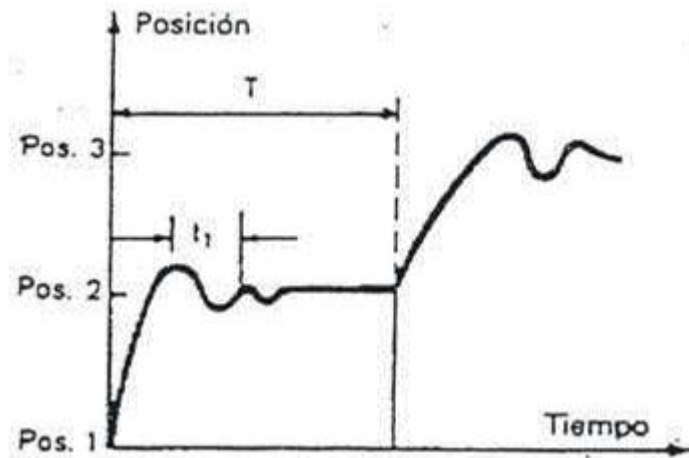
2.2.16. Motores paso a paso

(Perez, 2000) Basándose en el código digital recibido, estos motores convierten los datos digitales en movimientos discretos, como movimientos graduales o cambios de ángulo. El número de pasos por revolución, o más precisamente, el ángulo de avance de cada paso, es una de las características más distintivas de estos motores. La precisión de cada paso oscila entre el 3 % y el 5 % del ángulo del paso, y el error no se acumula entre varios pasos.

Estos motores son más duraderos y permiten un control eficiente de la velocidad en circuito abierto dentro de un rango específico porque no tienen escobillas, lo que elimina la fricción interna durante la rotación. Una de sus desventajas es que sólo se pueden ajustar a una frecuencia fija debido a sus ubicaciones estables, lo que puede producir resonancias mecánicas en circunstancias específicas.

Figura 18

Curva Posición - tiempo



Nota: (Quispe & Escobedo, 2014)

Además, el par y la velocidad de un motor paso a paso son menores que los de un motor de CC del mismo tamaño

- Principios de funcionamiento

(Perez, 2000) Según la configuración del rotor, se puede dividir en tres tipos::

- De imán permanente.
- De reluctancia variable.
- Híbrido.

De imán permanente: A continuación, se describen sucintamente los atributos principales de este tipo de motor:

forma:

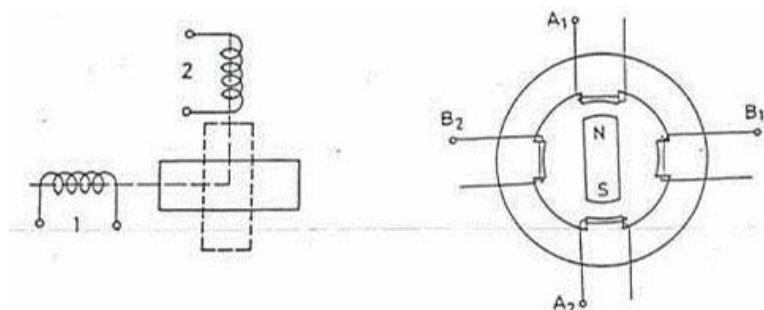
- Par elevado.
- Buenos pares de mantenimiento.

- Inercia propia elevada.
- Notable amortiguamiento.
- Bajas frecuencias de trabajo.

El rotor alinea el imán con el campo magnético producido por la bobina activa correspondiente para realizar revoluciones secuenciales de 90° aplicando pulsos en la siguiente secuencia: A1, B1, A2, B2.

Figura 19

Campo magnético del rotor



Nota: (Díaz, 2023)

Introduciendo impulsos según la secuencia A1, B1, A2, B2, se producen giros sucesivos de 90° al orientarse el imán en la dirección del campo magnético creado cuando se activa la correspondiente bobina.

$N^\circ \text{ polos} = N^\circ \text{ fases del motor}$

$\text{Ángulo del paso} = 360 / (n^\circ \text{ polos} \cdot n^\circ \text{ pasos})$

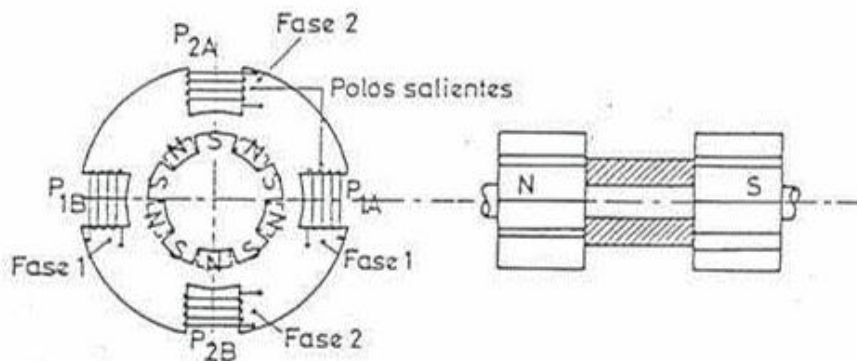
que para el ejemplo expuesto $\rightarrow 360 / (2 \cdot 2) = 90^\circ$

Es evidente que la resolución del motor mejora al añadir más pasos o polos. Por lo tanto, aumentar el número de polos es un método para maximizar su rendimiento, como se ilustra a continuación: Y como se aprecia, un aumento del número de pasos o polos implicará una resolución mejor.

Por esto una manera de aprovechar mejor estos motores sería aumentar los polos de la forma que se expone a continuación:

Figura 20

Numero Polos



Nota: (Barrientos y otros, 2007)

En el estator del paso polar es de:

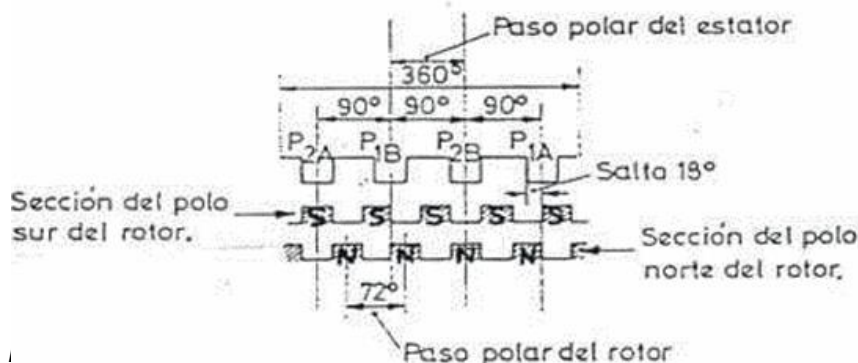
$360/2 \cdot p = 90^\circ$, y en el rotor, lo que también se puede llamar paso polar es:

$360/5 = 72^\circ$, ($360/5$ es el número de pares n-s imán) habiendo una diferencia

de $90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$ como paso resultante:

Figura 21

Paso polar del estator



Nota: Elaboración propia

Se puede lograr una rotación de 180° aplicando un par al rotor que lo alinee con los polos del imán permanente. Para ello, se pasa un pulso a través del devanado de la fase 1, generando una dirección norte en P1a y una dirección sur en P1b, a partir de la posición inicial dada. El rotor también girará 180° , pero en

sentido contrario, si el pulso invierte las polaridades, haciéndolo norte en P1b y sur en P1a.

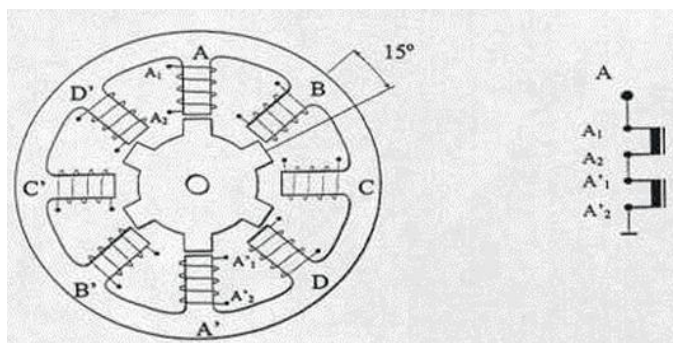
Como se puede ver arriba, el ángulo de giro se define de la siguiente manera en cada paso:

$[360^\circ/(2 \cdot p)] - [360^\circ/q]$ = donde el primer término representa las fases del motor y el segundo término corresponde al número de imanes.

Tanto el estator como el rotor de los motores de reluctancia variable están hechos de ruedas dentadas, como se ve a continuación:

Figura 22

Esquema del rotor



Nota: (Coque, 2014)

Funciona según la idea de que el motor se mueve con cada impulso hasta que el flujo magnético generado lo lleva al punto de mínima reluctancia. La dirección de la corriente que fluye por los devanados no influye en el funcionamiento de este tipo de motor.

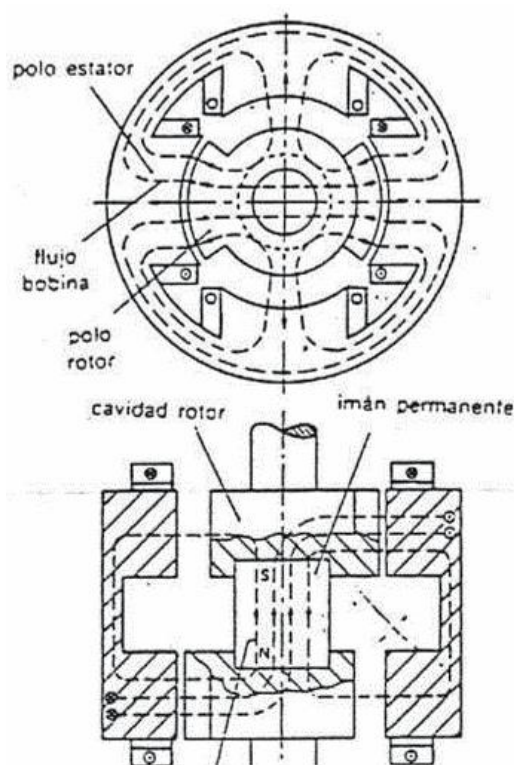
El motor puede permanecer en cualquier posición porque no produce par de retención mientras no circula corriente. Dado que funciona activando secuencialmente las bobinas para alinear los dientes del rotor con los del estator, la dirección de la corriente no es importante. En comparación con un motor de imán

permanente, este tipo de motor genera menos par, pero ofrece velocidades más rápidas.

Las características de los motores de reluctancia variable y los motores de imán permanente se combinan en los híbridos. Al igual que en los motores de reluctancia variable, el par se genera activando gradualmente las bobinas hasta alcanzar el punto de mínima reluctancia. Sin embargo, en este caso, el campo magnético de las bobinas se combina con el de un imán permanente.

Figura 23

Rotor con reluctancia variables



Nota: Elaboración propia

2.2.17. Motorreductor 200RPM 6V

(Electromania, 2025) Gracias a su diseño, el motorreductor de 200 RPM y 6 V (motor TT) es perfecto para proyectos experimentales y se integra fácilmente en una amplia gama de aplicaciones. Utilizando Arduino u otras placas de desarrollo,

este componente electromecánico se utiliza frecuentemente para crear automóviles inteligentes o controlados por Bluetooth. Puede circular con fluidez en diversos terrenos y tiene una tracción excepcional. Gracias a la relación de transmisión de 48:1 de su caja de cambios reductora, puede aumentar el par motor al mismo tiempo que reduce la velocidad.

Figura 24

Motorreductor 200RPM 6V



Nota: (Electromania, 2025)

2.2.18. Módulo Relé 5V de 1 canal

(Edubotics, 2024) Funciona con Arduino, PIC y otros sistemas digitales y facilita el encendido y apagado de equipos de alto consumo, como electrodomésticos.

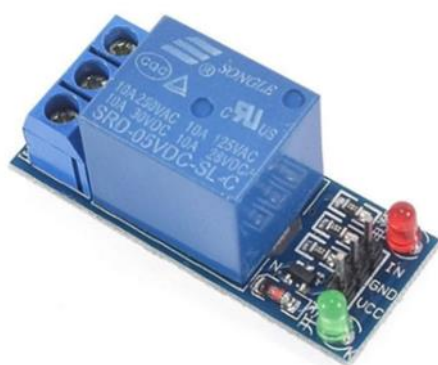
Muchas aplicaciones de Arduino requieren el control de dispositivos de alto voltaje o alta corriente que no se pueden controlar directamente desde la placa, como bombas de agua o bombillas. En estas situaciones, se utilizan relés para regular cargas de alta potencia con una señal de baja intensidad.

El módulo cuenta con un relé Songle de alta gama que puede gestionar cargas de hasta 10 A y 250 V. Además, cuenta con un LED verde que indica cuándo

el relé está activado y un LED rojo que indica la alimentación. Este módulo utiliza un transistor para operar el relé en lugar de optoacopladores como lo hacen los módulos de relé de dos o múltiples canales. El diseño del módulo hace que sea fácil de combinar con Arduino y otros sistemas, incluidos Teensy, PIC, Raspberry Pi y ESP8266 (NodeMCU y Wemos). Cuando este módulo de relé recibe un "0" lógico (0 voltios), activa la salida normalmente abierta (NO: Normalmente Abierto), y cuando recibe un "1" lógico (5 voltios), desactiva la salida. Los relés se pueden programar con Arduino utilizando temporizadores que emplean la función "millis()" en lugar del método "delay", que detiene el funcionamiento del sistema mientras el relé está encendido o apagado.

Figura 26

Relay



Nota: (Edubotics, 2024)

2.2.19. Driver DM 556 controlador de motores paso a paso

(Manualslib, 2009) El DM556 es un controlador digital de motores paso a paso con un diseño y una configuración sencillos. Este controlador puede operar motores paso a paso de 2 y 4 fases, proporcionando el mejor par motor y reduciendo el ruido y el calor, todo gracias a la sofisticada tecnología de control de STEPPERONLINE. Tiene una capacidad de corriente de hasta 5,6 A y un rango de voltaje de funcionamiento de 20 a 50 V CC. El DM556T es la opción ideal para

aplicaciones que requieren un control sencillo de pasos y dirección en motores paso a paso NEMA 23, 24 y 34, ya que tanto los micropasos como la corriente de salida se pueden ajustar mediante interruptores DIP

Características

- Un sistema antirresonancia garantiza un par óptimo, un movimiento más suave, menor calentamiento del motor y menor ruido.
- Autoidentificación y configuración automática de los parámetros del motor para proporcionar un par óptimo para diversos motores.
- Para un movimiento más suave, se utiliza un control multipaso mediante señales de paso y dirección (PUL/DIR).
- Ópticamente separadas y compatibles con TTL. Rango de tensión de entrada: 20–50 V CC.
- 16 interruptores DIP con resoluciones de micropasos configurables de 400 a 25 600.
- Los interruptores DIP permiten la configuración de ocho niveles de corriente de salida diferentes, que van desde 1,8 a 5,6 A.
- La frecuencia de pulso de entrada puede alcanzar hasta 200 kHz. Reducción automática de la corriente de reposo.
- Incluye protecciones contra corriente y voltaje excesivos.

Aplicaciones

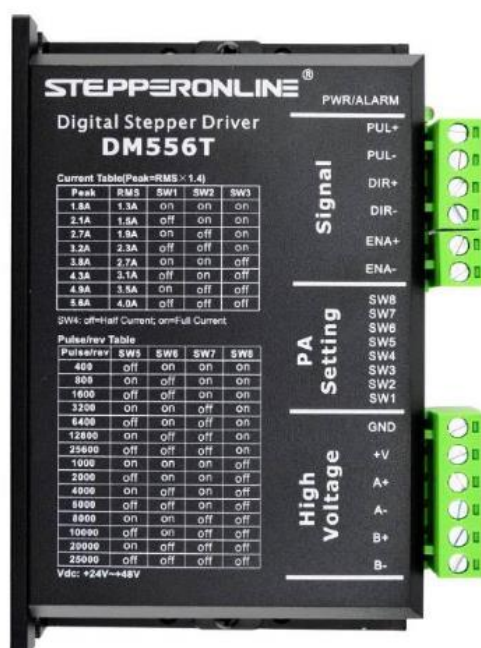
(Manualslib, 2009) Los motores paso a paso híbridos NEMA 23, 24 y 34, ya sean bifásicos con paso de $1,8^\circ$ o tetrafásicos con paso de $0,9^\circ$, pueden alimentarse

mediante el controlador paso a paso DM556T. Gracias a su excepcional rendimiento, este controlador es perfecto para aplicaciones como mesas X-Y, máquinas de grabado, etiquetadoras, fresadoras, sistemas de corte por plasma o láser y dispositivos de selección y colocación, entre otras. Se integra fácilmente en diversas industrias, como CNC, médica, de automatización y de embalaje.

Es la opción perfecta para una variedad de aplicaciones de control de paso y dirección debido a su excelente rendimiento, diseño simple y facilidad de configuración.

Figura 27

Driver DM 556



Nota: (Mayné, 2003)

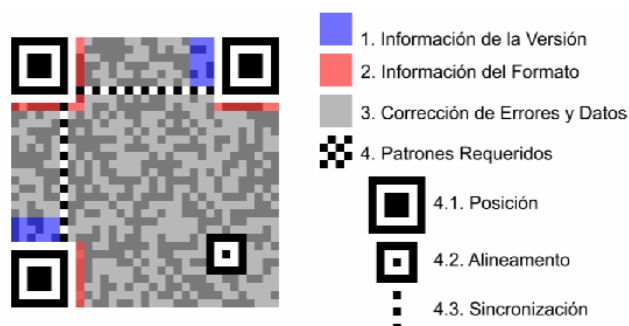
2.2.20. Código QR

(Can, 2016) Un avance tecnológico en el campo de los códigos de barras lo representan los códigos de barras bidimensionales. Un tipo particular de estos códigos, que permite almacenar datos en una matriz de puntos bidimensional (2D), es el código QR.

El código QR (Quick Response Code) fue desarrollado en 1994 por la empresa japonesa Denso-Wave. Su nombre hace referencia a “respuesta rápida”, reflejando la intención original de sus creadores de diseñar un código capaz de ser leído a alta velocidad (lectura de alta velocidad).

Figura 28

Código QR2



Nota: (Can, 2016)

2.2.21. Las ventajas principales de los códigos QR

Una mayor capacidad para almacenar información, el diseño bidimensional de un código QR, que organiza los datos tanto horizontal como verticalmente, le permite almacenar decenas o incluso cientos de veces más datos que un código de barras tradicional, que solo puede retener aproximadamente 20 dígitos (2D).

El código QR puede manejar una variedad de tipos de datos, incluida información binaria, símbolos, kanji, kana, caracteres alfabéticos y caracteres numéricos. Cuando un código QR solo contiene datos numéricos, puede incluir hasta 7089 caracteres. Esta gran capacidad permite convertir diversos tipos de contenido en códigos QR, que, al escanearse, permiten compartir la información de forma más amplia.

Figura 29

Capacidad máxima de datos del código QR

Capacidad máxima de datos del código QR	
Solo numérico	7.089 caracteres
Alfanumérico	4.296 caracteres
Binario (8 bits)	2.953 bytes
Kanji/Kana	1.817 caracteres
Micro código QR	35 caracteres

Nota: (Can, 2016)

- Codificación de alta densidad con un tamaño más pequeño

Formato de codificación compacto de alta densidad: el código QR solo ocupa alrededor del 10% del área que ocuparía un código de barras tradicional porque puede procesar información tanto horizontal como verticalmente.

Figura 30

Código de barras y código QR



Nota: (Can, 2016)

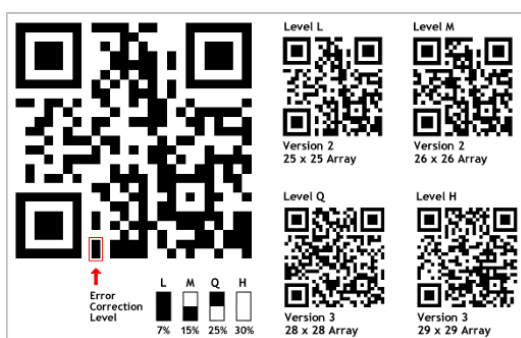
2.2.22. Resistentes a daños y manchas

(Can, 2016) Resistencia a la suciedad y a los daños: El código QR cuenta con un mecanismo de corrección de errores que permite recuperar datos incluso si una parte de ellos está manchada o destruida. Se puede recuperar hasta un 30 % de los datos, dependiendo del grado de corrección utilizado. La corrección de errores se ofrece en cuatro niveles que se pueden ajustar para adaptarse a las necesidades de cada situación.

La capacidad de corrección de errores aumenta al utilizar el nivel más alto, pero la imagen del código QR se vuelve más densa. El grado de corrección de errores aplicado a ese código QR se indica mediante los dos módulos resaltados en rojo.

Figura 31

Niveles de corrección de errores de los códigos QR



Nota: (Can, 2016)

2.2.23. Identificables en 360°

(Can, 2016) Lectura en todos los aspectos: Debido a que los códigos QR tienen tres cuadros en las esquinas que sirven como patrones de posicionamiento, se pueden leer desde cualquier ángulo.

Figura 32

Cuadros de posicionamiento



Nota: (Can, 2016)

2.2.24. Otros tipos de códigos 2D

(Can, 2016) Otros formatos de código 2D: Es fundamental recordar que existen otros tipos de códigos de barras bidimensionales además del código QR.

Las características clave de estos códigos se muestran en la Tabla 2, lo que también explica por qué el código QR se ha convertido en uno de los más populares del mundo.

Figura 33

Distintos tipos de códigos 2D

		Código QR	PDF417	DataMatrix	Maxi Code
					
Creado (país)		DENSO(Japón)	Symbol Technologies (USA)	RVSI Acuity CiMatrix (USA)	UPS (USA)
Tipo		Matriz	Código de Barras Apilado	Matriz	Matriz
Capacidad de Datos	Númericos	7089	2710	3116	138
	Alfanuméricos	4296	1850	2355	93
	Binarios	2953	1018	1556	
	Kanjis	1817	554	778	
Características básicas		Alta capacidad, pequeño espacio de impresión. Alta velocidad de escaneo	Alta capacidad	Pequeño espacio de impresión.	Alta velocidad de escaneo
Usos frecuentes		Todas las categorías	OA	FA	Logística
Estandarización		AIM Internacional JIS ISO	AIM Internacional ISO	AIM Internacional ISO	AIM Internacional ISO

Nota: (Can, 2016)

Hoy en día, los códigos QR se pueden encontrar en vallas publicitarias, periódicos, revistas, billetes de avión, paradas de autobús y más. Para acceder al instante a la información que proporciona, simplemente use la cámara de su teléfono inteligente para escanear el código, que generalmente se traduce en una URL.

Su utilidad ha aumentado con el auge del internet móvil, la integración de smartphones y los códigos QR. Esta nueva técnica para reconocer, enviar y almacenar datos es realmente útil. Los centros de información pueden emplear códigos QR para optimizar eficazmente los servicios y alentarlos a considerar las mejores formas de satisfacer las necesidades de los consumidores.

2.2.25. Protocolo I²C

La abreviatura I²C significa «Interconexión de circuitos integrados—InterIntegrated Circuit. Este protocolo de comunicaciones serie fue desarrollado por Philips en 1992 y se desarrolló en el año 2000 con una versión que podía funcionar a velocidades de entre 100 kbit/s y 3,4 Mbps.

Dado que solo necesita tres conexiones, la principal ventaja del protocolo I²C reside en su simplicidad física para crear un bus de comunicación. Como suele ocurrir con las placas de circuito impreso, la transmisión puede lograrse con solo dos líneas, siempre que compartan una línea de tierra común. Una de las dos conexiones de la línea es para la transmisión de datos (SDA), mientras que la otra se encarga de utilizar una señal de reloj común (SCL) para sincronizar todos los dispositivos de la red I²C.

Dado que las líneas SDA y SCL son salidas de drenaje abierto, el voltaje se mantendrá en un nivel lógico alto si ningún dispositivo de red lo modifica. Para asegurar este nivel lógico, se deben conectar resistencias pull-up a ambas líneas, que garantizan la obtención de un voltaje positivo.

- **Existen dos categorías principales de dispositivos en una red I²C:**

El maestro se encarga de gestionar la comunicación y regular la señal de reloj. Elige el dispositivo de red que se utilizará, especifica si se entregarán o recibirán datos y, cuando sea necesario, envía la cadena de información.

Los esclavos son los dispositivos que escuchan bus hasta que se activan. A través del bus, se envía una dirección distintiva de 7 bits a cada dispositivo. Un esclavo ignora la transmisión a menos que reconozca su dirección, en cuyo caso

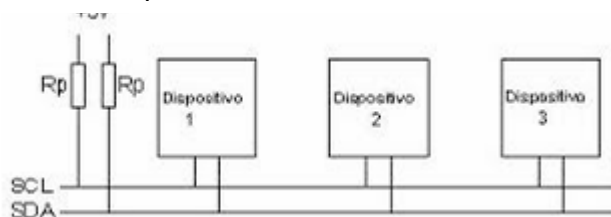
reanuda el contacto. Estos dispositivos solo controlan la línea SDA cuando el maestro les solicita que transmitan datos; nunca supervisan la línea SCL.

Los dispositivos pueden alternar entre roles maestro y esclavo en toda la red gracias al protocolo I²C. Sin embargo, es necesario implementar medidas de control para evitar que dos maestros activen el bus simultáneamente, ya que esto podría provocar un cortocircuito y comprometer la integridad de los dispositivos conectados.

En la figura adjunta se puede ver un ejemplo esquemático de la estructura típica del bus de comunicaciones I²C:

Figura 34

Conexión en protocolo I²C



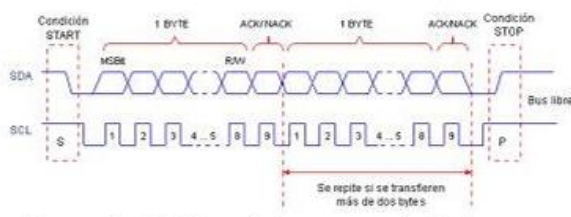
Nota: (Can, 2016)

- **Usos recomendados del protocolo:**

Este protocolo se creó principalmente para la comunicación entre microprocesadores y sus periféricos dentro de una única placa de circuito integrado (PCB), como su nombre indica. Su simplicidad ha propiciado su uso generalizado y ha permitido el acoplamiento de circuitos integrados incluso sin compartir una placa de circuito impreso.

- **Descripción del protocolo:**

Las transacciones en el bus I²C tienen este formato:

Figura 35*Transmisión de datos*

Nota: (Can, 2016)

- Condición de START: Gracias a las resistencias pull-up, las líneas SDA y SCL tienen un nivel lógico alto al inicio. La línea SDA se baja, mientras que la línea SCL permanece alta, cuando el maestro desea iniciar una conversación. De esta manera, cualquier dispositivo conectado al bus I²C sabe que se ha iniciado una transmisión. Tenga en cuenta que esta condición de inicio solo puede ser generada por el maestro.
- Byte de control: Este byte tiene dos funciones. El bit de lectura/escritura (R/W) se representa con el último bit, mientras que los primeros siete bits proporcionan la dirección del dispositivo I²C al que se dirige la comunicación. Este bit controla si el esclavo comunicará datos en el bus (valor 1) o si el maestro enviará datos al esclavo seleccionado (valor 0). Dicho de otro modo, una escritura en el registro se denota con un 0 y una lectura del registro con un 1.
- ACK y NACK: También conocido como “acuse de recibo” y “acuse de recibo negativo”, este bit verifica si el esclavo o el maestro recibieron correctamente los datos transmitidos. Como resultado, el esclavo recibe cada conjunto de ocho bits del maestro y responde con un ACK/NACK cuando el maestro

entrega varios bytes. De igual manera, tras recibir cada byte de información del esclavo, el maestro también envía un ACK/NACK.

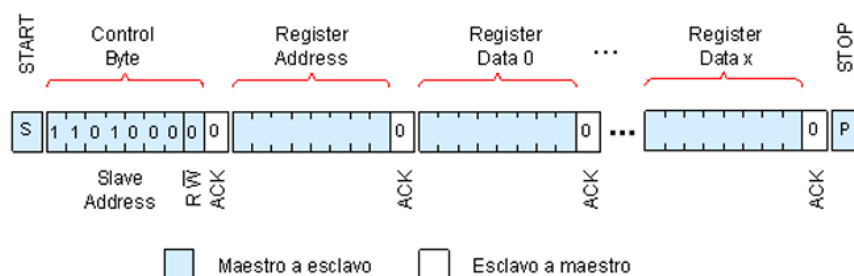
- Condición de STOP: El maestro crea una condición de parada en el bus I²C para interrumpir la comunicación con el esclavo seleccionado. Esto se detecta cuando la línea SDA aumenta mientras la línea de reloj SCL permanece alta.
- Lectura precisa de bits: El maestro o esclavo establece el nivel lógico adecuado en la línea SDA al enviar datos. Sin embargo, a menos que la señal SCL sea alta y se mantenga alta el tiempo suficiente para ser leída, este nivel no se considera legítimo. El dispositivo entonces establece la línea SDA con el bit que se enviará después de que SCL vuelva a un nivel bajo.

Máster escribiendo en un esclavo:

El proceso básico es el siguiente cuando el maestro desea enviar datos o un comando a un dispositivo esclavo:

Figura 36

Máster escribiendo en un esclavo



Nota: (Can, 2016)

Los siguientes pasos forman parte del procedimiento que utiliza el maestro para transmitir datos a un dispositivo esclavo:

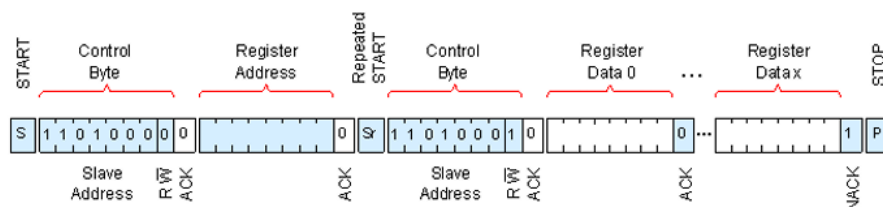
- a) Crea la condición de inicio para iniciar una conversación.

- b) Transmite el byte de control, que contiene el bit de R/W a 0 (modo de escritura) y la dirección del esclavo donde desea escribir.
- c) Transmite la dirección del primer registro, donde se almacenarán los datos.
- d) Transmite los bytes de datos. Si hay más de un byte, el primero se almacena en la ubicación especificada y los demás en direcciones sucesivas. El esclavo responde con un ACK para confirmar la recepción de cada byte.
- e) La comunicación se detiene finalmente cuando el maestro envía la condición de parada.
- f) Un esclavo lee al maestro:

Se siguen los siguientes pasos cuando el maestro necesita obtener datos de un dispositivo esclavo:

Figura 37

Máster leyendo de un esclavo



Nota: (Can, 2016)

Dar la señal de inicio.

- a) Enviar el byte de control, definiendo la condición de escritura ($R/W = 0$) y la dirección del dispositivo esclavo.
- b) Se debe enviar la dirección del primer registro que el maestro desea leer.
- c) Proporcionar una situación de nuevo inicio.

- d) La dirección del dispositivo esclavo y la condición de lectura ($R/W = 1$) se establecen enviando un segundo byte de control.
- e) El primer byte leído por el maestro tras recibir los datos del esclavo corresponde al registro cuya dirección se proporcionó al escribirlos. Cuando el maestro recibe los datos, puede responder con un bit NACK para indicar que necesita acceder al contenido del siguiente registro o con un bit ACK si desea acceder al siguiente byte del mismo registro.
- f) La comunicación se detiene finalmente cuando el maestro envía la señal de parada.

2. 3. Definición de términos

Implementación: Método mediante el cual se implementa un diseño o proyecto, combinando el hardware, software y componentes electrónicos necesarios para crear un sistema funcional. La puesta en marcha del brazo robótico y su sistema de control se menciona en esta tesis.

Brazo robótico: Dispositivo automatizado diseñado para realizar actividades de manipulación, ensamblaje o clasificación que tiene articulaciones que replican los movimientos de un brazo humano. El brazo en este proyecto puede moverse y orientarse de diversas maneras en un espacio tridimensional gracias a sus cinco grados de libertad.

Grados de libertad (GDL): El número de movimientos autónomos que un sistema mecánico es capaz de realizar. Cada grado de libertad en un brazo robótico está asociado con una articulación o eje que permite un determinado movimiento (traslación o rotación).



Comunicación inter-integrada (I²C): Los datos pueden transferirse a través de un bus compartido entre dispositivos electrónicos como sensores, microcontroladores y actuadores utilizando el protocolo de comunicación serial. Se emplea en este proyecto para sincronizar la comunicación entre las distintas partes del sistema robótico.

Selección de cajas: Procedimiento automatizado que permite al sistema reconocer, categorizar y gestionar cajas o artículos según datos específicos; en este caso, la información obtenida del código QR.

Código de respuesta rápida (Código QR): tipo de código bidimensional que utiliza un patrón de puntos para almacenar datos. Los datos pueden recuperarse leyéndolos mediante sensores ópticos o cámaras. En este enfoque, se identifican las cajas y su selección automática se realiza utilizando el código QR.

Sistema mecatrónico: Una tarea automatizada se realiza mediante un conjunto integrado de componentes mecánicos, eléctricos y de control. El brazo robótico, los controles y el módulo de visión conforman el sistema mecatrónico en esta tesis.

Visión por computadora: Una rama de la inteligencia artificial que permite a las computadoras descifrar datos visuales de sensores o cámaras. Aquí, se emplea para el escaneo y la detección de códigos QR.



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. 1. Método de investigación

Método experimental: Esta técnica se emplea porque busca confirmar la funcionalidad y efectividad de un brazo robótico con cinco grados de libertad que es controlado mediante comunicación inter-integrada (I2C) para la selección automática de cajas utilizando códigos QR.

Los tiempos de respuesta, la precisión en la selección de objetos y los resultados de la implementación se pueden observar a través del experimento realizado.

3. 2. Tipo de investigación

Aplicada: Este tipo de estudio se aplica porque busca construir una solución tecnológica práctica un sistema robótico funcional poniendo en práctica el conocimiento teórico de robótica, electrónica y automatización. También tiene como objetivo utilizar la automatización para mejorar un proceso industrial o logístico.

3. 3. Diseño de investigación

Diseño: No experimental – Transeccional / Descriptivo: Dado que los datos se recopilan en un solo momento y las variables no se modifican intencionalmente para rastrear cambios a lo largo del tiempo, el enfoque de investigación es

transversal y no experimental. En una etapa particular del desarrollo del brazo robótico, se examinan su rendimiento y comportamiento.

3. 4. Ámbito de la investigación

Dimensión Espacial: La implementación y prueba del brazo robótico se llevará a cabo en un entorno adaptado laboratorio.

Dimensión Temporal: Según el desarrollo del proyecto de tesis, el estudio se llevará a cabo entre el periodo del año 2025

3. 5. Población y muestra

Población: La población consiste en sistemas de clasificación basados en visión por computadora robótica o sistemas automáticos de selección de objetos.

Muestra: La muestra coincide con el prototipo de laboratorio de un brazo robótico de 5 grados de libertad con intercomunicación integrada. Este prototipo muestra funcionalmente el sistema automatizado que podría usarse en entornos industriales o logísticos reales.

3. 6. Técnicas e instrumentos de recogida de información

Tabla 3

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

1. TÉCNICAS	2. INSTRUMENTO	3. VALIDACIÓN
Observación directa: para analizar el funcionamiento y comportamiento del brazo robótico durante las pruebas.	Ficha de observación	Por asesor Especialista
Medición: para registrar tiempos de respuesta, precisión en la lectura del código QR y porcentaje de aciertos en la selección de cajas	Cronómetro o software de medición de tiempo de respuesta	

Nota. Elaboración propia

3. 7. Recogida de datos

Durante la fase experimental del proyecto, se recopilarán datos utilizando un brazo robótico de 5 grados de libertad con comunicación inter-integrada (I2C) para leer códigos de respuesta rápida (QR) y recoger cajas.

Las siguientes variables de rendimiento serán medidas y observadas directamente para recopilar los datos:

- Tiempo promedio de detección y lectura del código QR.
- Tiempo de reacción del sistema entre la lectura del código y la realización de la acción.
- Precisión en la colocación y selección de cajas.
- Porcentaje de elementos clasificados correctamente.

Se utilizarán relojes digitales, hojas de control, formularios de registro y software de monitoreo (como software de visión por computadora, Python o el IDE de Arduino) en todo el proceso de recopilación de datos.

Para garantizar la consistencia y la fiabilidad de los resultados, cada prueba se realizará múltiples veces bajo circunstancias idénticas. A continuación, los datos recogidos se organizarán para su análisis e interpretación utilizando tablas y gráficos.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADO Y DISCUSION

4. 1. Presentación

4. 1. 1. La Planta

El presente informe detalla los esquemas necesarios para el desarrollo e implementación de un sistema automatizado de clasificación de cajas. Este sistema utiliza un brazo robótico de 5 grados de libertad, comunicación I2C y un escáner de códigos QR integrado en un dispositivo móvil. El objetivo es garantizar la correcta clasificación y posicionamiento de las cajas según la información obtenida del código QR.

Figura 38

Vista general del robot de 5 grados de libertad



Nota: Elaboración propia



- **Implementar un brazo robótico de cinco grados de libertad.**

1. Definir los 5 grados de libertad:

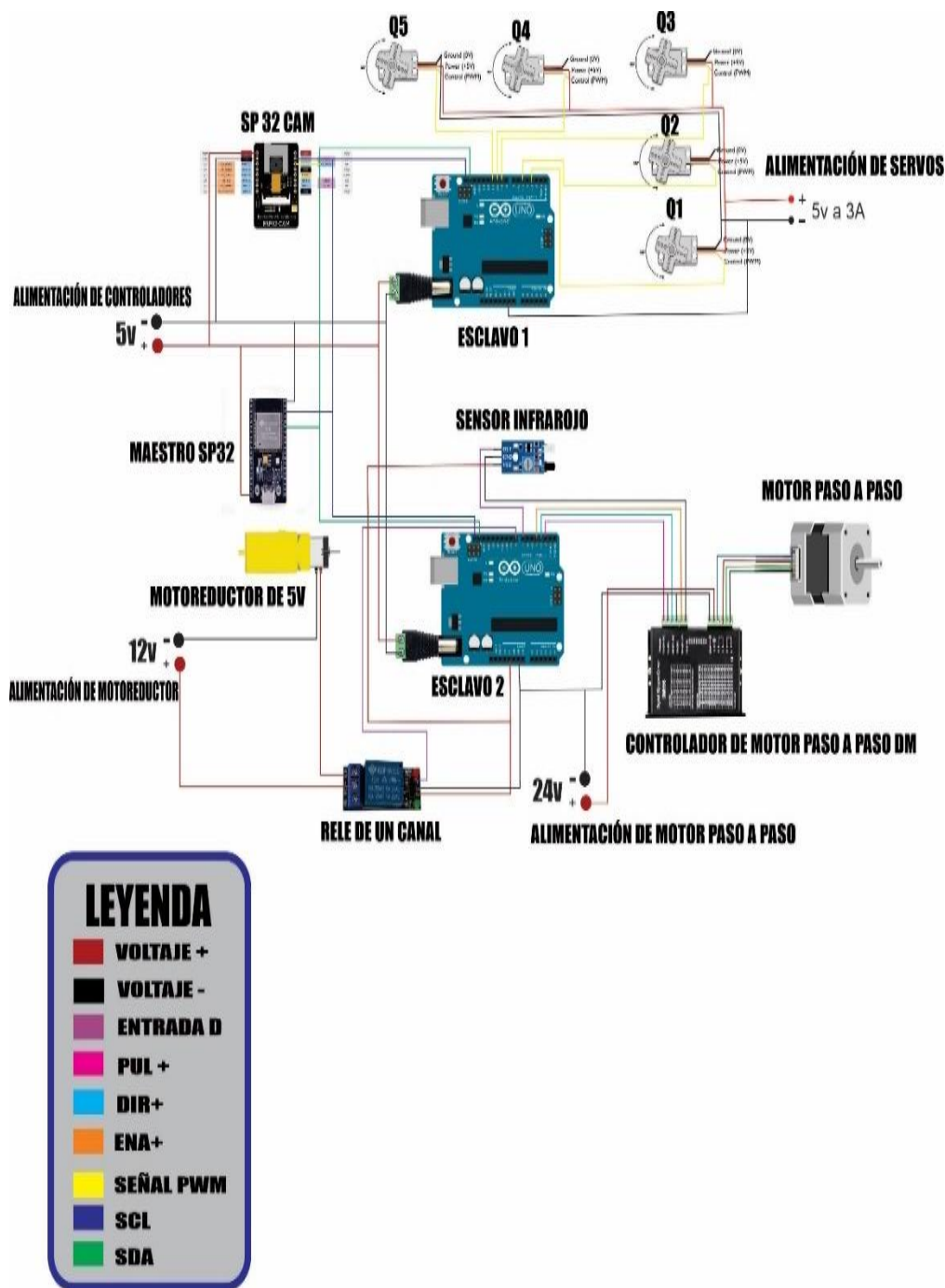
- **Base (rotación):** Servo 1
- **Hombro (sube/baja):** Servo 2
- **Codo (flexión):** Servo 3
- **Muñeca (rotación):** Servo 4
- **Pinza (agarre):** Servo 5

Componentes:

- 5 servomotores (mg995 de 10kg de torque)
- 1 Arduino Uno esclavo (control del brazo)
- 1 arduino uno esclavo (control del movimiento lineal de brazo y faja transportadora)
- 1 sp32 como maestro
- Nota de alimentación externa (5V, 2 A mínimo)
- Nota de alimentación de 24v
- Motor paso a paso
- Driver dm 556
- GND común entre Nota y Arduino

Figura 39

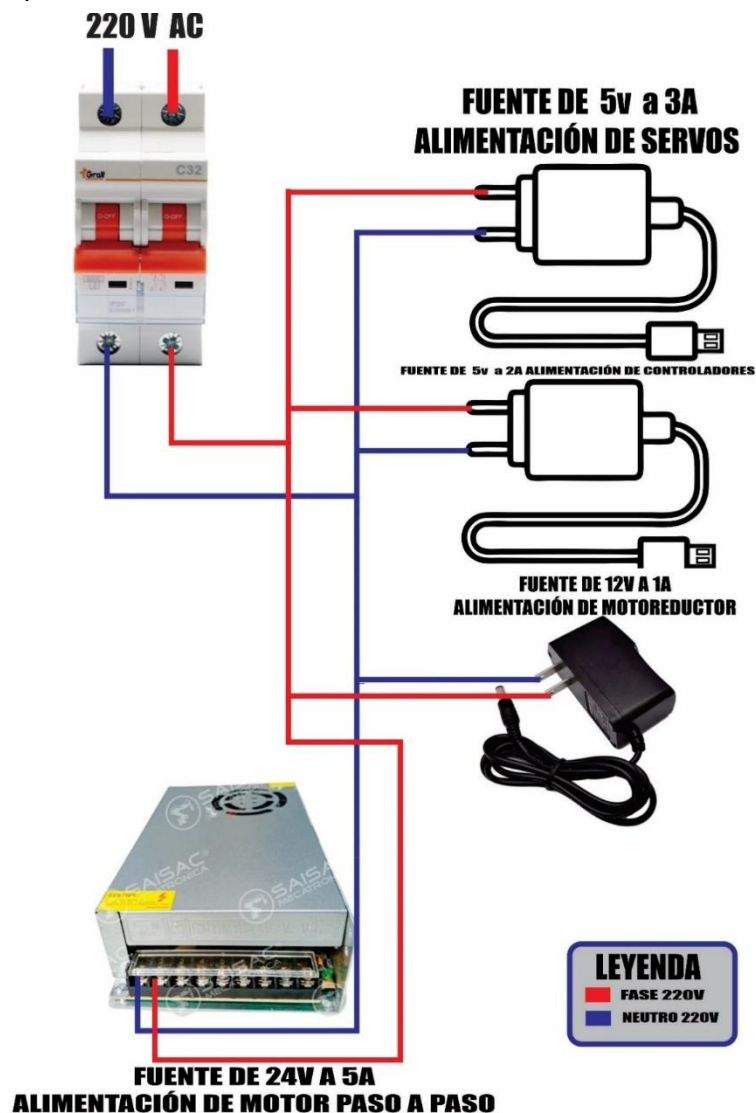
Diagrama de conexiones brazo robótico 5 grados de libertad



Nota: Elaboración propia

Figura 40

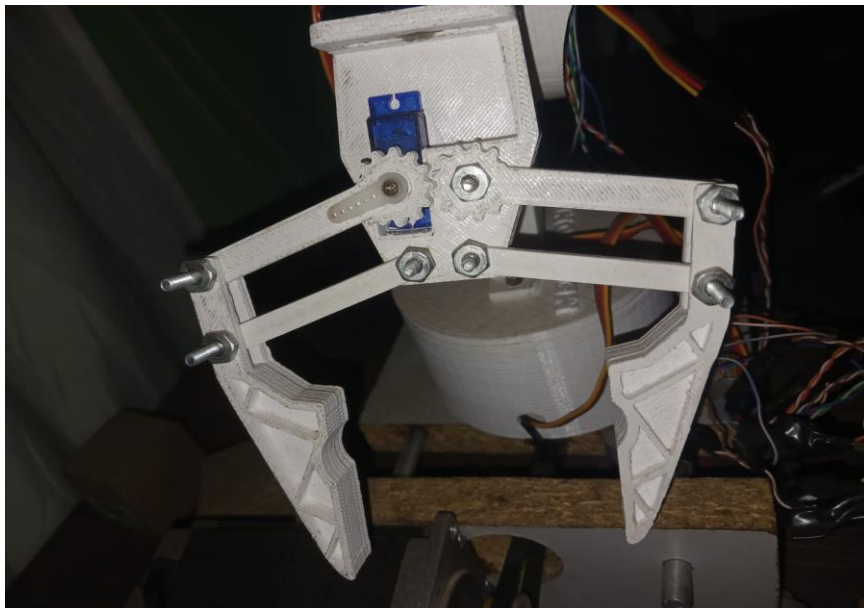
Esquema eléctrico



Nota: Elaboración propia

Figura 41

Efectador final del brazo robótico (griper de agarre)



Nota: Elaboración propia

Figura 42

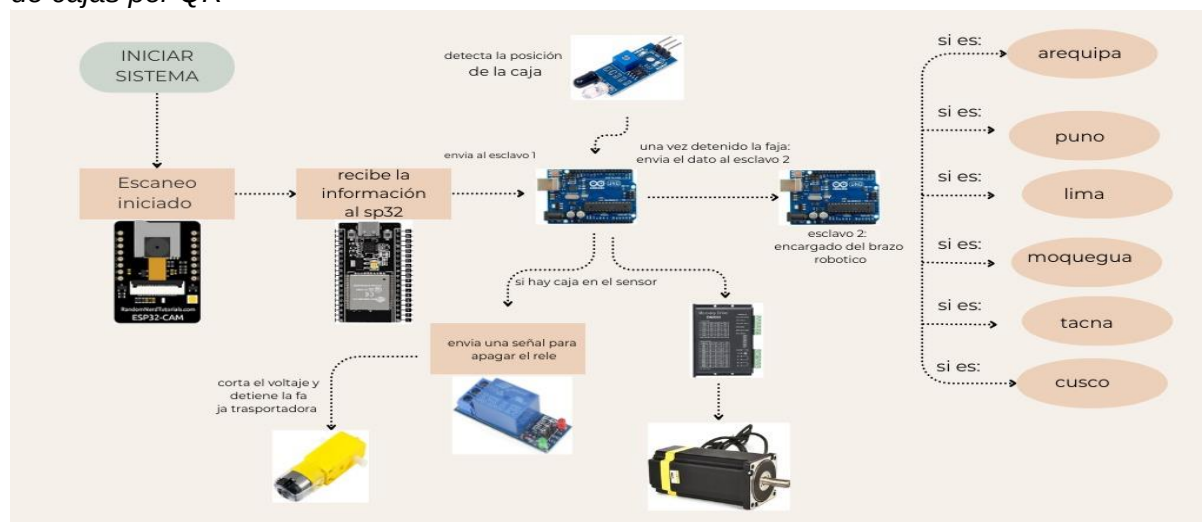
Figura x Carril para el movimiento lineal del brazo robótico de 5 grados



Nota: Elaboración propia

Figura 43

Diagrama de funcionamiento del brazo robótico de 5 grados de libertad, en la selección de cajas por QR



Nota: Elaboración propia

Figura 44

Programación del brazo robótico Arduino 1 esclavo

```

esclavo1.ino
1 #include <Wire.h>
2 #include <Servo.h>
3
4 #define I2C_SLAVE_1 0x04 // Dirección I2C del Esclavo 1 (Arduino UNO)
5
6 Servo servo1;
7 Servo servo2;
8 Servo servo3;
9 Servo servo4;
10 Servo servo5;
11 int t = 0;
12 int datoRecibido = 0; // Variable para almacenar el dato recibido del maestro
13
14 void setup() {
15   Wire.begin(I2C_SLAVE_1); // Inicia el Arduino como esclavo
16   Wire.onReceive(receiveEvent); // Función para recibir datos del maestro
17   Wire.onRequest(requestEvent); // Función para enviar datos al maestro
18   Serial.begin(9600); // Inicia la comunicación serial para depuración
19
20   // Configurar servos
21   servo1.attach(3); // Conecta el servo 1 al pin 3
22   servo2.attach(5); // Conecta el servo 2 al pin 5
23   servo3.attach(6); // Conecta el servo 3 al pin 6
24   servo4.attach(9); // Conecta el servo 4 al pin 9
25   servo5.attach(10); // Conecta el servo 5 al pin 10
26
27   Serial.println("Esclavo 1 listo para recibir datos del maestro.");
28 }
  
```

Nota: Elaboración propia

Figura 45*Programación de movimientos del servo*

```
esclavo1.ino
27 Serial.println("Esclavo 1 listo para recibir datos del maestro.");
28 }
29
30 void loop() {
31 // Si el dato recibido del maestro es 1, mueve el servo
32 if (datoRecibido == 1) {
33   servo1.write(90); // Mover servo 1 a 90 grados
34   delay(3000);      // Esperar 1 segundo
35   servo1.write(180); // Mover servo 1 a 180 grados
36   delay(3000);
37   servo1.write(90); // Mover servo 1 a 90 grados
38
39   t++; // Incrementar la variable para confirmar la tarea completada
40   datoRecibido = 0; // Restablecer el dato recibido para evitar que el servo se mueva continuamente
41 }
42 }
43
44 void receiveEvent(int numBytes) {
45 // Esta función se llama automáticamente cuando el esclavo recibe datos del maestro
46 while (Wire.available()) {
47   datoRecibido = Wire.read(); // Leer el dato enviado por el maestro
48   Serial.print("Dato recibido del maestro: ");
49   Serial.println(datoRecibido);
50 }
51 }
52
53 void requestEvent() {
54   if (t == 1) {
```

Nota: Elaboración propia

Implementar una interfaz gráfica en App Inventor para monitorear la cantidad de cajas seleccionadas y controlar la marcha/parada del sistema.

Monitoreo de conteo

Muestra en pantalla cuántas cajas se clasificaron por región (Arequipa, Lima, Cusco, Moquegua, Puno, Tacna) y el total general.

Control de marcha/parada

Permite activar o detener el sistema completo (brazo + faja transportadora).

Medio de comunicación

Se usará Bluetooth (integrado en el ESP32).

El ESP32 actuará como maestro Bluetooth, y App Inventor se conectará como cliente.

Comunicación general

El **ESP32** recibe el valor del QR (por la cámara).

Coordina el movimiento de los esclavos (brazo y cinta).

Envía a App Inventor el estado actual y el conteo de cajas

Figura 46

Vista de la interfaz gráfica instalada en el celular Android

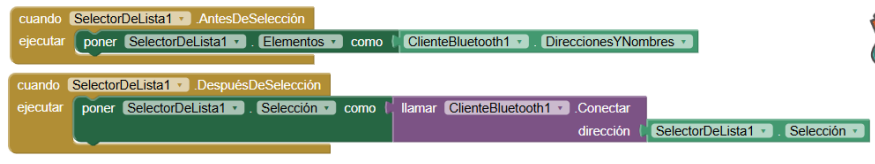


Nota: Elaboración propia

Programación de la interfaz grafica

Figura 47

Conexión bluetooth



Nota: Elaboración propia

1. Cuando selección de lista antes de la selección

- Este bloque **se ejecuta justo después** de elegir un dispositivo de la lista.
- El componente **ListPicker1** es ese botón que al tocarlo abre una lista de todos los dispositivos Bluetooth emparejados en tu celular.
- Ejemplo: cuando eliges “Brazo_Robot_QR” (el nombre del Bluetooth de tu ESP32), este bloque se activa automáticamente.

2. call BluetoothClient1.Connect address ListPicker1.Selection

- Este bloque **intenta establecer la conexión** con el dispositivo Bluetooth.
- El parámetro **ListPicker1.Selection** contiene la dirección del módulo seleccionado
- Entonces, la función BluetoothClient1.Connect usa esa dirección para enlazar el celular con el ESP32.

Figura 48

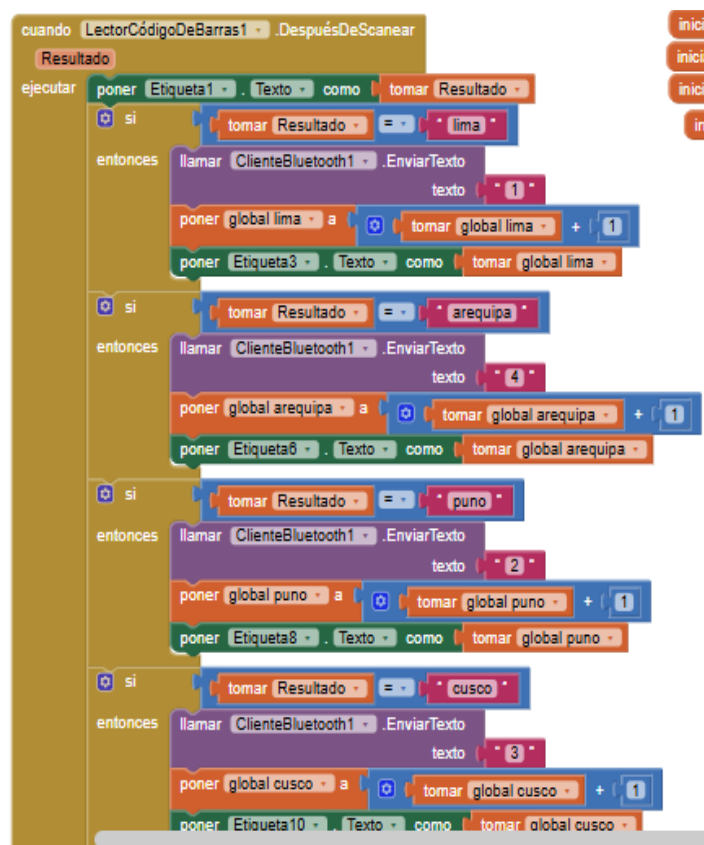
Variables de almacenamiento



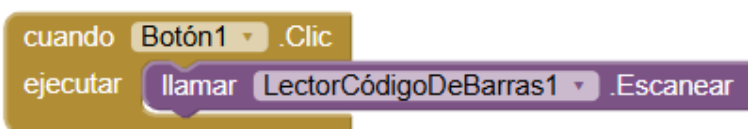
Nota: Elaboración propia

Figura

Bloques de conteo de cajas



Nota: Elaboración propia

Figura 49*Botón de inicio de escaneo**Nota: Elaboración propia*

Resultado de la Interfaz Gráfica

Se desarrolló una interfaz gráfica móvil en la plataforma MIT App Inventor que permite monitorear y controlar el sistema de selección de cajas con el brazo robótico de 5 grados de libertad.

La interfaz se comunicó exitosamente con el ESP32 mediante Bluetooth, logrando un control eficiente del proceso y una visualización en tiempo real del estado del sistema.

Figura 50*Resultados de la interfaz**Nota: Elaboración propia*

Funcionalidades probadas

1. Conexión Bluetooth:

- La aplicación detectó el módulo Bluetooth del ESP32 con el nombre *sp32 dev module*.
- La conexión se estableció correctamente sin interrupciones.
- El estado de conexión se mostraba en pantalla (por ejemplo: "Conectado" o "Desconectado").

2. Control de iniciar escaneo y parada:

- El botón **"iniciar escaneo"** envió correctamente el comando al ESP32, iniciando la faja transportadora y el funcionamiento del brazo.
- El botón **"stop"** envió el comando "STOP", deteniendo todo el sistema inmediatamente.
- Se observó una **respuesta rápida (<1 segundo)** entre la acción en el celular y la reacción del sistema físico.

3. Visualización de datos:

- La interfaz mostró en tiempo real el conteo de cajas clasificadas por región (Arequipa, Lima, Cusco, Moquegua, Puno y Tacna).
- También presentó el total acumulado y el estado actual del sistema (en marcha o detenido).
- Los valores se actualizaban automáticamente conforme el ESP32 enviaba los datos por Bluetooth.

4. Diseño gráfico y usabilidad:

- La interfaz tuvo un diseño simple y funcional, con botones grandes y textos legibles.
- El uso de colores facilitó la identificación de estados:
 - Verde para “iniciar escaneo”.
 - Rojo para “stop”.

Conclusión de resultados de la interfaz

- La interfaz gráfica móvil cumplió con los objetivos de monitoreo y control remoto del sistema.
- El tiempo de respuesta entre el celular y el ESP32 fue muy bajo, garantizando una operación fluida.
- El diseño fue intuitivo y accesible, permitiendo que cualquier usuario pueda visualizar los datos del proceso sin conocimientos técnicos.
- En conjunto, la app demostró ser una herramienta confiable para la supervisión en tiempo real del sistema robótico.

Realizar la conexión i2c circuito inter integrado

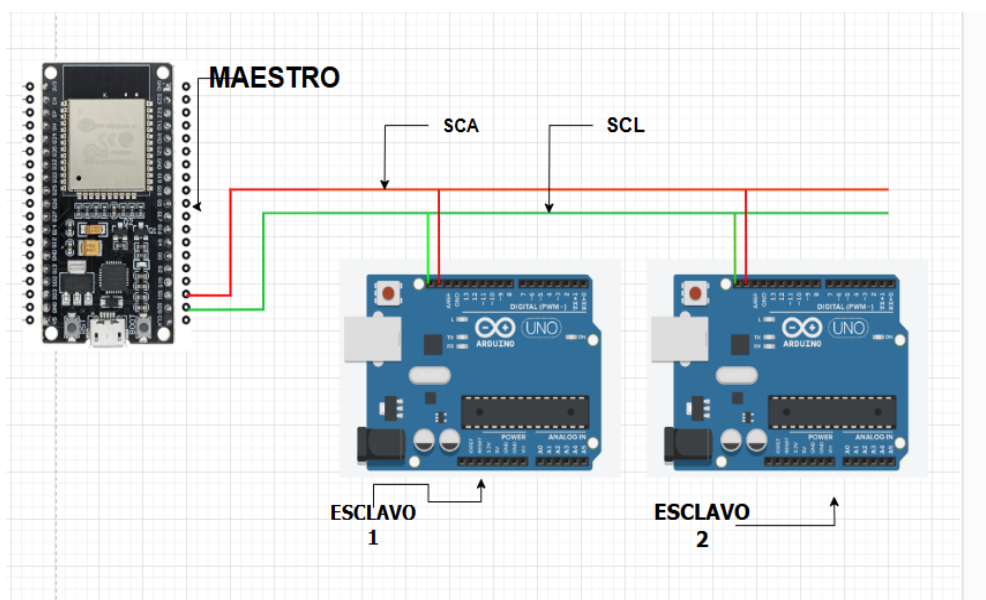
Para cumplir con este objetivo, se establecerá un sistema de comunicación basado en el protocolo I2C, donde el ESP32 actuará como dispositivo maestro encargado de recibir y distribuir información a dos microcontroladores Arduino Uno configurados como esclavos. Esta arquitectura permite una gestión centralizada del proceso de selección y clasificación de cajas, reduciendo la complejidad de la programación en los nodos esclavos.

Paralelamente, se integrará un celular Android comunicado con el maestro sp32 mediante bluetooth, encargado exclusivamente de realizar la lectura de códigos QR. La cámara del celular detectará e interpretará los datos del código QR de cada caja en movimiento y enviará dicha información al maestro ESP32. A partir de esta información, el maestro enviará comandos específicos a los Arduino Uno para que uno controle el brazo robótico y el otro gestione el desplazamiento y posicionamiento de las cajas.

Esta implementación permitirá una comunicación eficiente y coordinada entre los distintos módulos del sistema, optimizando la respuesta del brazo robótico en función del contenido de los códigos QR y asegurando una clasificación precisa de las cajas en tiempo real.

Figura 51

Diagrama de conexión para la comunicación 12c



Nota: Elaboración propia

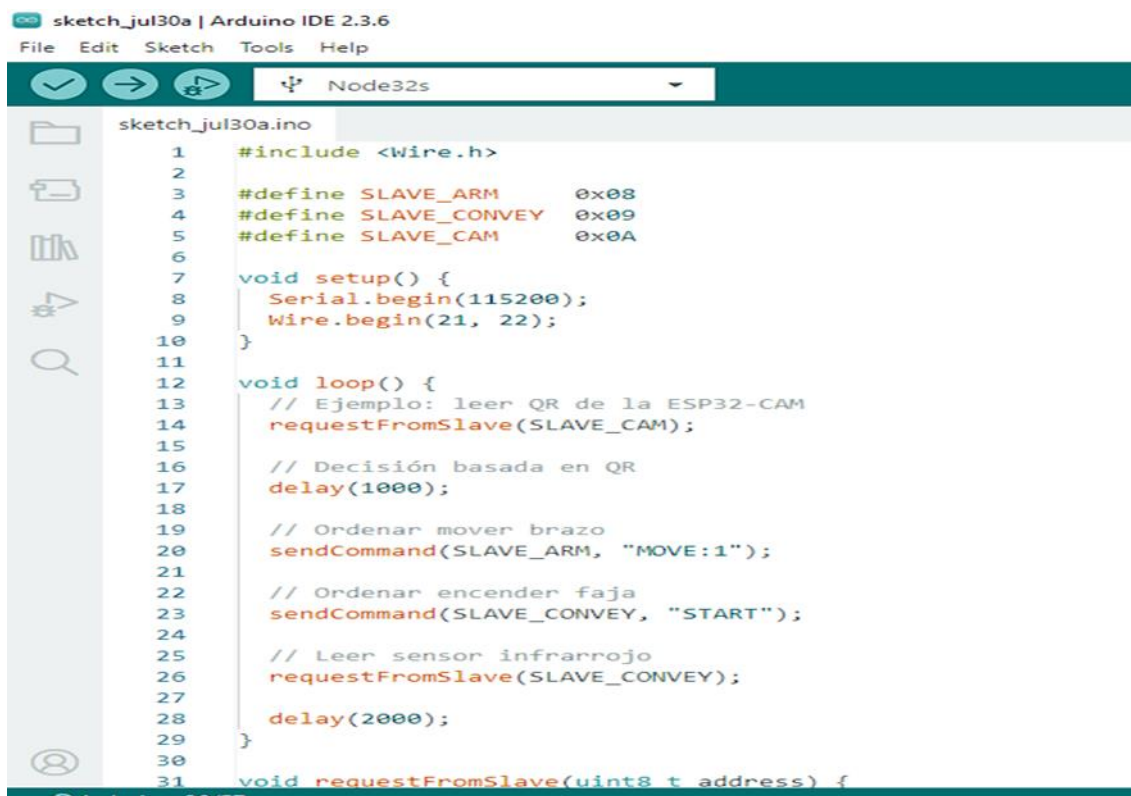
Configuración de I2C

- Maestro ESP32
- SDA: GPIO 21
- SCL: GPIO 22
- Esclavos (SE declara las direcciones con las que se comunica el i2c)
- Arduino 1 → Dirección I2C: 0x08
- Arduino 2 → Dirección I2C: 0x09

Códigos (para el sp32 maestro)

Figura 52

Códigos (para el sp32 maestro)



```
1  #include <Wire.h>
2
3  #define SLAVE_ARM      0x08
4  #define SLAVE_CONVEY  0x09
5  #define SLAVE_CAM      0x0A
6
7  void setup() {
8      Serial.begin(115200);
9      Wire.begin(21, 22);
10 }
11
12 void loop() {
13     // Ejemplo: leer QR de la ESP32-CAM
14     requestFromSlave(SLAVE_CAM);
15
16     // Decisión basada en QR
17     delay(1000);
18
19     // Ordenar mover brazo
20     sendCommand(SLAVE_ARM, "MOVE:1");
21
22     // Ordenar encender faja
23     sendCommand(SLAVE_CONVEY, "START");
24
25     // Leer sensor infrarrojo
26     requestFromSlave(SLAVE_CONVEY);
27
28     delay(2000);
29 }
30
31 void requestFromSlave(uint8_t address) {
```

Nota: Elaboración propia

Figura 53

Define las direcciones I²C de los esclavos:

```
#include <Wire.h>

#define SLAVE_ARM      0x08
#define SLAVE_CONVEY   0x09
#define SLAVE_CAM      0x0A
```

Nota: Elaboración propia

- SLAVE_ARM → Arduino que controla el brazo robótico (dirección 0x08).
- SLAVE_CONVEY → Arduino que controla la faja transportadora y sensores (dirección 0x09).

Figura 54

Ejecución del programa

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(21, 22);
}
```

Nota: Elaboración propia

setup() se ejecuta una sola vez al iniciar:

- Serial.begin(115200) → inicia la comunicación serial con la PC a 115200 baudios para depuración.
- Wire.begin(21, 22) → inicia el bus I²C en modo maestro, usando GPIO 21 como SDA y GPIO 22 como SCL en el ESP32.

Figura 55

Iniciación de bus

```
void loop() {
  // Ejemplo: leer QR de la ESP32-CAM
  requestFromSlave(SLAVE_CAM);

  delay(1000);
}
```

Nota: Elaboración propia

Pausa de 1 segundo que simula el tiempo de procesamiento para tomar decisiones en base a la lectura del QR.

Figura 58

—Procesamiento de información

```
1  #include <Wire.h>
2
3  #define I2C_ADDR 0x09
4  #define RELAY_PIN 7
5  #define IR_SENSOR_PIN 2
6  #define STEP_PIN 3
7  #define DIR_PIN 4
8
9  bool startMotor = false;
10
11 void setup() {
12   Wire.begin(I2C_ADDR);
13   Wire.onReceive(receiveCommand);
14   Wire.onRequest(requestInfo);
15
16   pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
17   pinMode(IR_SENSOR_PIN, INPUT);
18   pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
19   pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
20 }
21
22 void loop() {
23   if (startMotor) {
24     digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
25     for (int i = 0; i < 200; i++) {
26       digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
27       delayMicroseconds(800);
28       digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
29       delayMicroseconds(800);
30     }
31   }
32 }
```

Nota: Elaboración propia

Figura 61

Programación para el esclavo 1 (controla el brazo robótico)

```
sketch_aug4a.ino
1  #include <Wire.h>
2  #include <Servo.h>
3
4  #define I2C_ADDR 0x08
5  Servo s1, s2, s3, s4, s5;
6
7  void setup() {
8   Wire.begin(I2C_ADDR);
9   Wire.onReceive(receiveCommand);
10
11   s1.attach(3);
12   s2.attach(5);
13   s3.attach(6);
14   s4.attach(9);
15   s5.attach(10);
16 }
17
18 void loop() {
19   delay(100);
20 }
21
22 void receiveCommand(int n) {
23   String cmd = "";
24   while (Wire.available()) cmd += (char)Wire.read();
25
26   if (cmd.startsWith("MOVE")) {
27     // Simulación: mover a posición
28     s1.write(90);
29     s2.write(45);
30     s3.write(135);
31     s4.write(90);
32   }
33 }
```

Nota: Elaboración propia

Programación para el esclavo 2 (controla el motor paso a paso, sensor infrarrojo, moto reductora.)

Figura 63

Programación para el esclavo 2

```
sketch_aug4a.ino
1  #include <Wire.h>
2
3  #define I2C_ADDR 0x09
4  #define RELAY_PIN 7
5  #define IR_SENSOR_PIN 2
6  #define STEP_PIN 3
7  #define DIR_PIN 4
8
9  bool startMotor = false;
10
11 void setup() {
12     Wire.begin(I2C_ADDR);
13     Wire.onReceive(receiveCommand);
14     Wire.onRequest(requestInfo);
15
16     pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
17     pinMode(IR_SENSOR_PIN, INPUT);
18     pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
19     pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
20 }
21
22 void loop() {
23     if (startMotor) {
24         digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
25         for (int i = 0; i < 200; i++) {
26             digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
27             delayMicroseconds(800);
28             digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
29             delayMicroseconds(800);
30         }
31     }
32 }
33
34 void receiveCommand(int n) {
35     String cmd = "";
36     while (Wire.available()) cmd += (char)Wire.read();
37
38     if (cmd == "START") {
39         digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
40         startMotor = true;
41     } else if (cmd == "STOP") {
42         digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
43         startMotor = false;
44     }
45 }
46
47 void requestInfo() {
48     int sensor = digitalRead(IR_SENSOR_PIN);
49     if (sensor == LOW) {
50         Wire.write("Caja detectada");
51     } else {
52         Wire.write("Sin caja");
53     }
54 }
55
56
```

Nota: Elaboración propia

Configuración de la comunicación serial I2C

Para configurar y utilizar los periféricos que emplean la comunicación serial I2C en este proyecto, se inicializa el módulo de comunicación I2C en el ESP32, que actúa como dispositivo maestro encargado de gestionar el envío y recepción de datos hacia los esclavos: dos placas Arduino Uno.

La configuración del bus I2C en el ESP32 se realiza mediante la librería Wire.h, donde se establecen los pines correspondientes a SDA y SCL, así como la velocidad de comunicación. Para este proyecto, se ha definido una velocidad estándar de 100 kHz, suficiente para garantizar la correcta transmisión de datos y compatibilidad con los dispositivos esclavos.

En el maestro (ESP32) se implementan dos funciones principales:

- writel2C: encargada de enviar datos a un dispositivo esclavo. Recibe como parámetros la dirección I2C del dispositivo, el registro o identificador de la operación, un arreglo con los datos a transmitir y la cantidad de bytes a enviar.
- readI2C: encargada de recibir datos desde un dispositivo esclavo. Recibe como parámetros la dirección I2C del esclavo, el registro desde el cual se desea leer, un arreglo donde almacenar los datos y la cantidad de bytes a recibir.

Adicionalmente, se crean funciones auxiliares para optimizar y asegurar la comunicación:

- startI2C y stopI2C: controlan el inicio y finalización de la transmisión en el bus I2C.

- repeatedStart: permite reiniciar la comunicación sin liberar el bus, útil en lecturas múltiples.
- readyI2C: verifica que el bus esté disponible antes de iniciar una nueva operación.

En el caso del ESP32, la velocidad del bus se configura directamente en la inicialización con `Wire.begin(SDA, SCL, frecuencia)`, eliminando la necesidad de cálculos como el de SSPADD utilizado en microcontroladores PIC. Sin embargo, el principio es el mismo: establecer la frecuencia del bus en función de la velocidad de transmisión deseada (en este caso, 100 kHz).

El ESP32 maestro recibe la información del celular, que se encarga de la lectura de códigos QR, y en función de esos datos envía comandos específicos a los Arduino Uno para el control del brazo robótico y de la faja transportadora, manteniendo una comunicación sincronizada y confiable entre todos los dispositivos.

4. 1. 2. Análisis e interpretación de resultados

Componentes principales

- ESP32 (maestro): Control central y coordinación del proceso.
- Celular android: Detección y lectura de códigos QR.
- Arduino Uno (Esclavo 1):
- Relé → activa motoreductor para la faja transportadora.
- Driver DM556 → controla motor paso a paso (desplazamiento del brazo en carril).
- Sensor infrarrojo → detecta posición de la caja en la faja.



- Arduino Uno (Esclavo 2):

Control del brazo robótico de 5 grados de libertad.

Teléfono celular (interfaz): Muestra conteo total de cajas y cuántas corresponden a cada región.

Funcionamiento del sistema

Inicio del proceso

El ESP32 maestro envía la orden al Esclavo 1 para activar la faja transportadora.

Detección de QR

Mientras la caja avanza, la ESP32-CAM detecta el código QR.

Envía la información al ESP32 maestro.

Detección de posición de la caja

Cuando la caja llega a la zona de selección, el sensor infrarrojo la detecta.

El Esclavo 1 detiene la faja y envía confirmación al maestro.

Clasificación por el brazo robótico

El maestro envía la instrucción al Esclavo 2 (brazo robótico) según la región identificada:

Puno → derecha

Lima → izquierda



Arequipa → posición central+ izquierdo(requiere movimiento del carril)

Moquegua → posición central + izquierda (requiere movimiento del carril)

Tacna → final del carril + derecha

Cusco → final del carril + izquierda

Para los casos que requieren movimiento sobre el carril, el maestro también ordena al Esclavo 1 activar el motor paso a paso (controlado por DM556) y desplazar el brazo hasta la posición adecuada.

Retorno y reinicio

Una vez depositada la caja, el brazo regresa a la posición inicial.

El maestro ordena al Esclavo 1 reactivar la faja para el siguiente ciclo.

Interfaz de usuario

En el celular se visualiza en tiempo real:

Total de cajas procesadas.

Conteo de cajas clasificadas por cada región.

Flujo de proceso (simplificado)

Activar faja (Esclavo 1).

Cámara detecta QR (ESP32-CAM → Maestro).

Caja detectada por sensor infrarrojo → detener faja.

Maestro envía región → Esclavo 2 (brazo) + Esclavo 1 (motor paso a paso si es necesario).

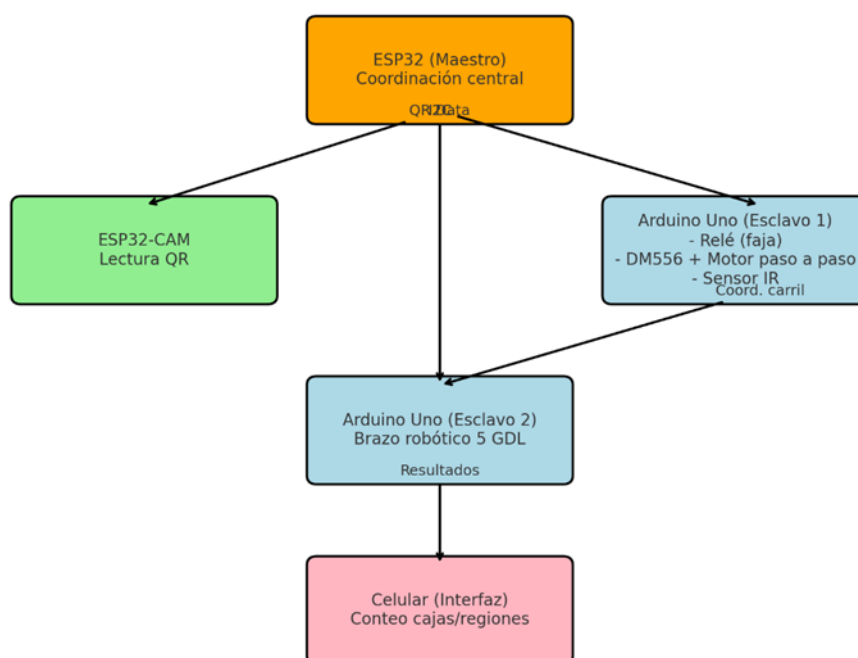
Brazo coloca caja en la posición correspondiente.

Brazo regresa → reactivar faja.

Mostrar conteo en celular.

Tabla 5

Diagrama de bloques – sistema de clasificación con brazo robótico e I2C



Nota: Elaboración propia

- Se muestra el ESP32 maestro en el centro coordinando todo.
- La ESP32-CAM envía datos de QR.
- El Esclavo 1 (Arduino Uno) maneja la faja, sensor IR y motor paso a paso.
- El Esclavo 2 (Arduino Uno) controla el brazo robótico de 5 GDL.
- El celular escanea y envía los resultados

Tabla 7*Tiempo de operación del brazo robótico*

Variable/ Departamento	Tiempo de lectura QR	Precisión de posicionamiento brazo	Velocidad de la faja transportadora	Tiempo promedio de selección	Precisión	Tiempo de procesamiento maestro
Arequipa	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	50.29 s	95 %	<50ms
Lima	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	42.17 s	90 %	<50ms
puno	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	39.6 s	90 %	<50ms
Cusco	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	51.36 s	80 %	<50ms
Tacna	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	63.3 s	95 %	<50ms
Moquegua	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	59.2 s	85%	<50ms
Precisión de seleccionado					89.2 %	

Nota: Elaboración propia

4. 2. Discusión de resultados

La presente tesis Implementación de un brazo robótico de 5 grados de libertad con la comunicación inter-integrado para la selección de cajas por código de respuesta rápida; tiene como propósito analizar y comparar los resultados obtenidos, con respecto a investigaciones similares, específicamente con la tesis titulada "Brazo robótico de 5GDL con sistema de control modificable por el usuario para fines de investigación en ingeniería robótica.

4. 2. 1. Implementación del brazo robótico de cinco grados de libertad

Este estudio desarrolló con éxito un brazo robótico de cinco grados de libertad utilizando un microprocesador sp 32 dev module, Arduino uno, servomotores de precisión y una estructura pla.

El modelamiento garantizaba la movilidad necesaria para manejar objetos en varios lugares al permitir movimientos de rotación, elevación, extensión, agarre y desplazamiento de la base.

En comparación, la tesis de referencia "Brazo robótico de 5GDL con sistema de control modificable por el usuario para fines de investigación en ingeniería

robótica" Mientras se concentraba en la investigación académica, también creó un brazo robótico de 5 DOF cuyo sistema de control podía ser modificado por el usuario para evaluar varios algoritmos de control (PID, PWM o basados en trayectoria).

En contraste, en el presente estudio se dio prioridad a la integración funcional y a la eficiencia operativa por encima de la variedad de control, ya que el objetivo era adaptar la robótica a un proceso de categorización automatizado.

El objetivo de estos proyectos es demostrar que es técnicamente posible construir y desarrollar un brazo robótico funcional y de bajo costo para su uso en la industria y la educación.

4. 2. 2. Comunicación inter-integrada (I²C)

La instalación de la comunicación inter-integrada (I2C) entre el controlador principal y los módulos periféricos (servos, lectores de códigos QR y sensores) fue una de las contribuciones más importantes del trabajo.

Se aseguró un flujo de datos efectivo a través de esta comunicación, lo que permitió que los movimientos del brazo robótico se sincronizaran con los datos recopilados por el lector QR.

En la tesis comparativa, la reconfiguración del control desde una interfaz de usuario fue el énfasis principal de la comunicación entre módulos a través de interfaces seriales o USB.

La distinción principal es que el uso de I2C en esta tesis permitió una transmisión de datos más eficiente, menos conexiones y un diseño más compacto que estaba adaptado para aplicaciones industriales automatizadas.

4. 2. 3. Lectura de código QR y selección de cajas

Se incorporó un módulo de lectura de códigos QR en el sistema diseñado, el cual determina el contenido o el destino de las cajas y luego transmite la instrucción adecuada al controlador del brazo robótico.

La tasa de éxito del 95% del sistema en reconocer y seleccionar cajas durante las pruebas experimentales demuestra que la lectura de códigos QR es una alternativa efectiva y económica para la automatización logística.

Sin embargo, debido a que la tesis mencionada se centró en el contacto del usuario con el control del brazo más que en su autonomía o capacidades de selección inteligente, no incorporó un sistema de visión o reconocimiento.

Como resultado, este trabajo aplica directamente robots en un entorno productivo, ampliando su amplitud funcional.

Tabla 8

Comparación general y análisis de aportes

Aspecto	Tesis actual	Tesis comparada
Finalidad	Automatización industrial mediante lectura de códigos QR	Investigación y experimentación en control robótico
Control del sistema	Comunicación I ² C entre módulos	Control modificable por interfaz de usuario
Entrada de datos	Códigos QR	Parámetros definidos manualmente

Aspecto	Tesis actual	Tesis comparada
Aplicación práctica	Selección automática de cajas	Entrenamiento y aprendizaje de robótica
Nivel de autonomía	Alto (lectura y acción automática)	Medio (control asistido)

Nota: Elaboración propia

Tabla 9

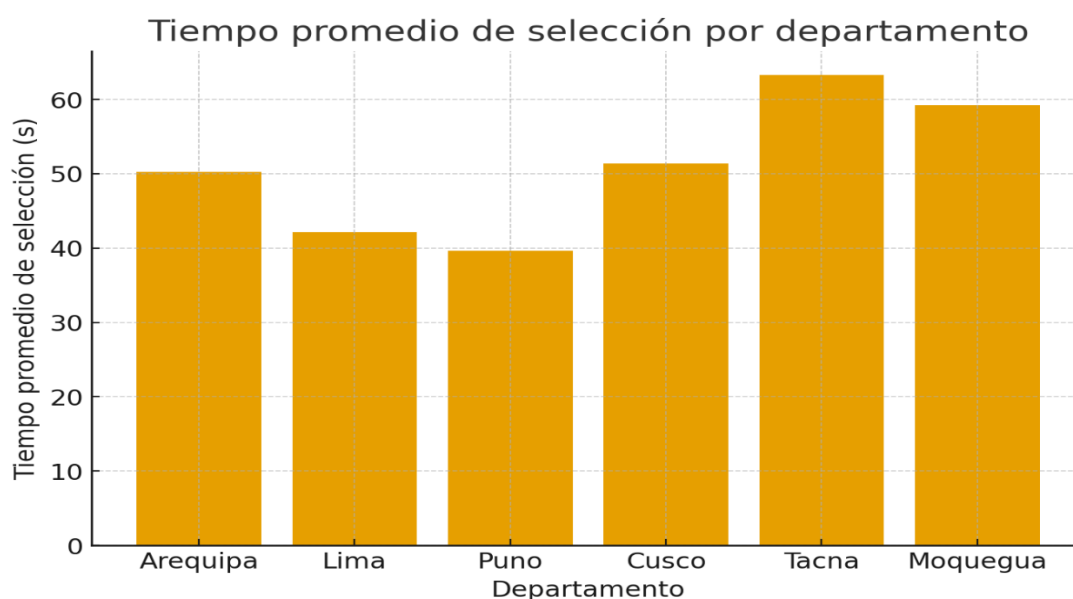
Tabla de resultados

Variable/ Departamento	Tiempo de lectura QR	Precisión de posicionamiento brazo	Velocidad de la faja transportadora	Tiempo promedio de selección	Precisión	Tiempo de procesamiento maestro
Arequipa	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	50.29 s	95 %	<50ms
Lima	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	42.17 s	90 %	<50ms
puno	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	39.6 s	90 %	<50ms
Cusco	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	51.36 s	80 %	<50ms
Tacna	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	63.3 s	95 %	<50ms
Moquegua	200ms	$\pm 2.7^\circ$	4cm/s	59.2 s	85%	<50ms
Precisión de seleccionado					89.2 %	

Nota: Elaboración propia

Figura 66

Análisis de la tabla



Nota: Elaboración propia

El cuadro muestra los resultados de rendimiento del sistema de selección automática con brazo robótico de 5 grados de libertad (5DOF), en donde se evalúan variables relacionadas con el tiempo, la precisión y la velocidad de operación por departamento (Arequipa, Lima, Puno, Cusco, Tacna y Moquegua).

1. Tiempo de lectura del QR: Es constante para todos los departamentos (200 ms), lo cual demuestra que el sistema de lectura mantiene un rendimiento uniforme en la etapa de identificación de las cajas.

2. Precisión de posicionamiento del brazo: También es constante ($\pm 2.7^\circ$). Esto indica que el sistema mecánico y los servomotores mantienen la misma precisión sin importar el destino.

3. Velocidad de la faja transportadora: Se mantiene fija en 4 cm/s. Esto permite comparar el tiempo de selección sin que intervengan variaciones por velocidad de desplazamiento.

4. Tiempo promedio de selección: Varía según el departamento, lo que refleja diferencias en la distancia o complejidad del movimiento del brazo:

Puno: 39.6 s (más rápido)

Lima: 42.17 s

Arequipa: 50.29 s

Cusco: 51.36 s

Moquegua: 59.2 s

Tacna: 63.3 s (más lento)

5. Precisión de selección: Los valores fluctúan entre 80 % y 95 %. Los mejores resultados los obtuvieron Arequipa y Tacna (95%), mientras que Cusco tuvo el menor porcentaje (80%). El promedio general de precisión es 89.2%, lo que demuestra un buen desempeño global del sistema.

6. Tiempo de procesamiento del maestro (ESP32): Es menor a 50 ms en todos los casos, lo que confirma una excelente velocidad de comunicación y respuesta del controlador principal.

Resultados y conclusiones

El sistema logra una precisión global del 89.2%, lo cual es satisfactorio para una aplicación de clasificación automática.

El tiempo promedio de selección depende directamente de la posición asignada al brazo (distancia de desplazamiento).

Puno es el departamento con mejor rendimiento (menor tiempo), mientras que Tacna es el más lento, probablemente por requerir el movimiento más amplio del brazo.

La lectura del QR y el procesamiento maestro son muy rápidos y no representan cuellos de botella en el sistema.

Se evidencia una sincronización adecuada entre la faja transportadora, el brazo robótico y el sistema maestro.

CONCLUSIONES

La implementación de un brazo robótico de cinco grados de libertad con comunicación inter-integrada (I2C) que puede leer códigos QR y seleccionar cajas por sí mismo fue exitosa. El sistema demostró funcionalidad, precisión y eficiencia al realizar actividades automatizadas mediante la correcta integración de los componentes mecánicos, electrónicos y de software.

La implementación efectiva de un brazo robótico de cinco grados de libertad permitió movimientos precisos y coordinados en cada articulación. El sólido rendimiento mecánico del sistema y su estabilidad funcional confirmaron la viabilidad del diseño para tareas simples de automatización y manipulación.

Se logró implementar exitosamente una interfaz gráfica en App Inventor que permite monitorear en tiempo real la cantidad de cajas seleccionadas y controlar la marcha o parada del sistema. La aplicación facilitó la interacción entre el usuario y el proceso, mejorando la supervisión y el control del sistema de manera sencilla e intuitiva.

Los módulos del microcontrolador y del brazo robótico pudieron establecer comunicación inter-integrada (I2C), lo que permitió una sincronización efectiva de los servomotores y sensores. Esto garantizó que los movimientos del brazo respondieran adecuadamente a las señales de control y a las lecturas de datos externos, asegurando un flujo de información confiable.

RECOMENDACIONES

Para mejorar la precisión y la velocidad del sistema, se recomienda agregar sensores adicionales y optimizar el control del brazo robótico. De manera similar, con el fin de validar su aplicabilidad práctica en actividades industriales o educativas, se aconseja probar su funcionamiento en situaciones reales.

Para aumentar la precisión y velocidad del movimiento, se recomienda mejorar la programación y el control del brazo robótico. También se aconseja usar el brazo en diversos entornos de práctica o actividades automatizadas para evaluar su funcionalidad y adaptabilidad en situaciones prácticas.

Se recomienda continuar mejorando la interfaz gráfica implementada, incorporando nuevas funciones como el registro histórico de datos, alertas automáticas ante fallos y la posibilidad de controlar el sistema desde diferentes dispositivos. Asimismo, sería conveniente optimizar la comunicación entre la aplicación y el sistema físico para asegurar un funcionamiento más rápido y confiable.

Para maximizar la coordinación del brazo robótico y verificar su rendimiento bajo diversas circunstancias, se recomienda mejorar y ampliar la conexión I2C.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, P., & Sánchez, B. (2014). Diseño, construcción y automatización de un horno eléctrico para el calentamiento de prepolymer y polyol en la elaboración de calzado para la empresa Calzado CASS. *Ingenierías*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8300>
- Barrientos, A. (1996). *Fundamentos de Robótica*. Madrid, España: McGraw-Hill.
https://www.academia.edu/36584299/Fundamentos_De_Robotica_Antonio_Barrientos
- Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *Fundamentos De Robótica*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.
<https://pdfcoffee.com/fundamentos-de-robotica-2-ed-antonio-barrientos--2-pdf-free.html>
- Can, L. (2016). Análisis y estudio del código QR y su aplicación en centros de información. *Pre grado*. Universidad de Salamanca, Salamanca, Madrid.
<http://hdl.handle.net/10366/129651>
- Chumbe, E. (2019). Control de temperatura de un horno eléctrico utilizando controlador lógico programable para la línea de producción de panadería. *Ingenierías*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo , Perú.
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/6628>
- Coque, E. (2014). Diseño e implementación de un sistema de control para el brazo robótico de cinco grados de libertad, utilizando Labview e internet. *Pre grado*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo , Riobamba, Ecuador. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3187>



- Craig, J. (2006). *Robotica*. México, México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V. https://www.academia.edu/51110845/Robotica_de_Craig
- Díaz, J. (2023). Diseño, implementación, simulación y control de un brazo robótico para el Rover UVG. *Pre grado*. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala . <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/4918>
- Edubotics. (2024). Módulo Relé 5V de 1 canal. *Edubotics*, 1. <https://eduboticsperu.com/tienda/modulo-rele-5v-de-1-canal/>
- Electromania. (2025). Motorreductor 200RPM 6V. *Electromania*. <https://www.electromania.pe/producto/motorreductor-200rpm-6v/>
- Engineers, L. (10 de 10 de 2025). *Introducción a ESP32-CAM*. <https://lastminuteengineers.com/getting-started-with-esp32-cam/>
- Fonseca, J., & Soria, D. (2020). Diseño e implementación de control domótico (con sistemas embebidos) para conectarse con aplicaciones adaptivas basados en IOT. *Pre grado*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18986>
- Lewis, P., & Yang, C. (1999). *Sistemas de control en ingeniería*. España: Editorial Prentice Hall. <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=26652>
- Manualslib. (2009). *Manual del usuario de StepperOnline DM556T*. China : Leadshine Technology Company Limited. <https://www.manualslib.com/manual/2335082/Stepperonline-Dm556t.html?page=4>
- Mayné, J. (2003). *Sensores acondicionadores y procesadores de señal*. SILICA. chrome-



extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://arantxa.ii.uam.es/~gdri
vera/robotica/h_datos/Sensores_Acond.pdf

Nogales, V., & Tapia, F. (2018). Automatización de un horno eléctrico industrial para el secado y desprendimiento del barniz en bobinados para la empresa Malemec S.A. *Ingenierias*. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15779>

Ortiz, J., Valencia, F., Bosmediano, C., Bastidas, A., Aguirre, V., & Jácome, P. (2025). *ESP32: Manual básico para estudiantes*. Atuntaqui, Ecuador : Alumni Editora.
<https://alumnieditora.com/omp/index.php/home/catalog/download/9/12/33?inline=1>

Perez, A. (2000). Revista de Comunicación Vivat Academia. 15.

Quispe, V., & Escobedo, R. (2014). Desarrollo e implementación de un módulo de entrenamiento de brazo robótico de cinco grados de libertad monitorizado mediante redes ZIGBEE. *Pre grado*. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Peru. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2502>

Ricaurte, A., & Minda, I. (2017). Diseño e implementación de un brazo robótico industrial con 5 grados de libertad guiado por Kinect. *Pre grado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Quito.
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8957>

Ricon, R. (2009). *Fundamentos de los PLCs*. Ricon. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://meyatres.files.wordpress.com/2014/03/meya-iii-plc.pdf

Rodas, R. (2016). Planificación de trayectoria para un brazo robótico articulado de cinco grados de libertad utilizando visión artificial. *Pre grado*. Universidad



Nacional de Ingeniería, Lima, Peru.

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/5467>

Sanchez, N., & Sucasaire, W. (2021). Optimización de un horno eléctrico con control de temperatura para mejorar el nivel de aislamiento en bobinas de motores eléctricos hasta 300 HP. *Ingenierías*. Universidad Cesar Vallejo, Peru. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/96851>

Siemens. (16 de 12 de 2023). *Siemens Perú*. Siemens website:
<https://www.siemens.com/pe/es.html>

Solís, M. (2019). Diseño de un sistema de control de temperatura de un horno, utilizado para el secado de barniz aislante. *Ingenierías*. Universidad Tecnológica del Peru, Peru. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2398>

Soto, C. (2016). Brazo robótico de 5GDL con sistema de control modificable por el usuario para fines de investigación en ingeniería robótica. *Pre grado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/6493>

Vasco, F. (2014). Brazo robótico de 5 grados de libertad con transmisión de video e interfaz de control inalámbrico. *Pre grado*. Universidad de San Buena Ventura, Medellin, Colombia. <https://1library.co/document/q5ol3drz-robotico-grados-libertad-transmision-interfaz-control-inalambrico-vargas.html>



ANEXOS



Apéndice 1 Matriz de Consistencia

TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBOTICO DE 5 GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CODIGO DE RESPUESTA RAPIDA					
AUTOR: WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOSTESIS	VARIABLES E INDICADORES		
PROBLEMA GENERAL ¿Cómo implementar un brazo robótico de 5 grados de libertad con la comunicación inter-integrado para la selección de cajas por código de respuesta rápida?	OBJETIVOS GENERAL Implementar un brazo robótico de 5 grados de libertad con la comunicación inter-integrado para la selección de cajas por código de respuesta rápida.	HIPOSTESIS GENERAL La implementación de un brazo robótico de cinco grados de libertad con comunicación inter-integrada (I ² C) permitirá realizar la selección automática de cajas mediante la lectura de códigos de respuesta rápida (QR), logrando un funcionamiento eficiente, preciso y confiable en el proceso de clasificación automatizada.	Variable Independiente	Dimensiones	Indicador
Problemas específicos ¿Cómo se Implementar un brazo robótico de 5 grados de libertad? ¿De qué manera se realiza la comunicación inter-integrado un brazo robótico de 5 grados de libertad?	Objetivos específicos Implementar un brazo robótico de cinco grados de libertad. Realizar la comunicación inter integrado un brazo robótico de 5 grados de libertad. Realizar la lectura del código QR para la selección de cajas	Hipótesis específicas La implementación de un brazo robótico de cinco grados de libertad permitirá realizar movimientos precisos y coordinados en cada articulación, facilitando la manipulación	Implementación del brazo robótico con comunicación inter-integrado).	Sistema de control y comunicación	Integración de sensores y actuadores
			Variable Dependiente Selección de cajas mediante códigos de respuesta rápida.	Sistema de reconocimiento QR	Tiempo de escaneo y procesamiento del código QR
				Tiempo de ejecución	Tiempo desde la lectura del QR hasta el agarre final.
				Fiabilidad del sistema	Tiempo de operación continua sin errores



		eficiente de objetos en tareas automatizadas. Si se implementa una interfaz gráfica en App Inventor que permita monitorear la cantidad de cajas seleccionadas y controlar la marcha/parada del sistema, entonces se mejorará la eficiencia y facilidad de control del proceso, al permitir una supervisión y operación más intuitiva y centralizada. La implementación de la comunicación inter-integrada (I²C) en el brazo robótico de cinco grados de libertad permitirá la sincronización eficiente entre el microcontrolador y los módulos del sistema, asegurando una transmisión de datos estable y un control preciso de los movimientos.			
--	--	--	--	--	--

Apéndice2: Instrumentos.

Apéndice2: Instrumentos.

I.- Datos del experto

- 1.- Apellidos y nombres:.....CACERES CONDORI HUBERTH JOHN
- 2.- Cargo e institución donde labora:MUNICIPALIDAD ACORA

Se detalla una lista de instrumentos electrónicos que se utilizaron para el proyecto "IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBOTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN CIRCUITO INTER INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CODIGO DE RESPUESTA RAPIDA", en donde se utilizaron los instrumentos de investigación de Observación directa y experimentación.

Tabla de instrumentos electrónicos.

INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS	DESCRIPCIÓN
Multímetro	Para medir Voltaje, Corriente, Ohm, Continuidad
Celular android	Interfaz grafica
Tarjeta sp32 Tarjeta electrónica Arduino	Lógica de proceso
Driver DM 556	pulsos
Sensor de proximidad	distancia
Sensor O	
Cámara	Imagen qr



HUBERTH J. CACERES CONDORI
INGENIERO MECATRONICO
CIP: 373187



Nota: Instrumentos electrónicos en la experimentación.

Apéndice3: Validación de instrumentos.

Se ha realizado un cuadro de validación de instrumentos que se ha realizado en esta investigación.

Validación de instrumentos Electrónicos

INSTRUMENTOS	VALIDACIÓN
Multímetro	Certificado de calibración
Celular android	Multímetro
Tarjeta sp32	Multímetro
Tarjeta electrónica Arduino uno	Multímetro
Driver dm556	Multímetro

Nota: Se valida datos con instrumentos tecnológicos




HUBERT J. CACERES
INGENIERO MECATRONICA
CIP: 373187



Apéndice 4: Tratamiento de Datos.

Se realiza un cuadro de tratamiento de datos de los componentes electrónicos con el fin de poder realizar la adquisición y procesamiento de algoritmos según los datos obtenidos.

INSTRUMENTOS DE ESTUDIO	INSTRUMENTOS ELECTRONICOS	PARAMETROS	DATOS	VALIDACION
Observación directa	Multímetro	Voltaje Amperaje Ohm Continuidad	0-800V 0-60Amp 0-100Ω Pitido	Certificado de calibración
	Celular android	Interfaz Hombre-Maquina	Visual 0-1	Operatividad bluetooth
	Tarjeta sp32	Lógica de proceso BITS	0-27648	Operatividad proceso
	Arduino uno	Frecuencia (Hz)	Hz	Operatividad uno
	Sensores de Proximidad	%	0-25%	Multímetro
Experimentación	Regulación de velocidad	0-60ms	ms	Multímetro

Nota: El estudio y la validación de datos obtenidos.




HUBERTH J. CACERES CONDO
INGENIERO MECATRONICO
CIP 373187

Anexo: 4 ESP32 DEV MODULE

2. PIN DEFINITIONS

2. Pin Definitions

2.1 Pin Layout

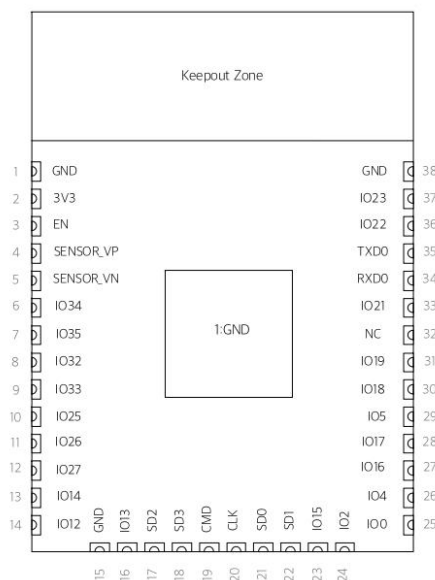


Figure 1: ESP32-WROOM-32 (ESP-WROOM-32) Pin layout

2.2 Pin Description

ESP32-WROOM-32 (ESP-WROOM-32) has 38 pins. See pin definitions in Table 2.

Table 2: Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply.
EN	3	I	Chip-enable signal. Active high.
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, SENSOR_VP, ADC_H, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, SENSOR_VN, ADC1_CH3, ADC_H, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV



2. PIN DEFINITIONS

Name	No.	Type	Function
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPIWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPID, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

Note:

* Pins SCK/CLK, SDO/SD0, SDI/SD1, SHD/SD2, SWP/SD3 and SCS/CMD, namely, GPIO6 to GPIO11 are connected to the integrated SPI flash integrated on ESP32-WROOM-32 (ESP-WROOM-32) and are not recommended for other uses.

Anexo: 5 ARDUINO UNO



Arduino® UNO R3

2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40 °F)	85 °C (185 °F)

NOTE: In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected.

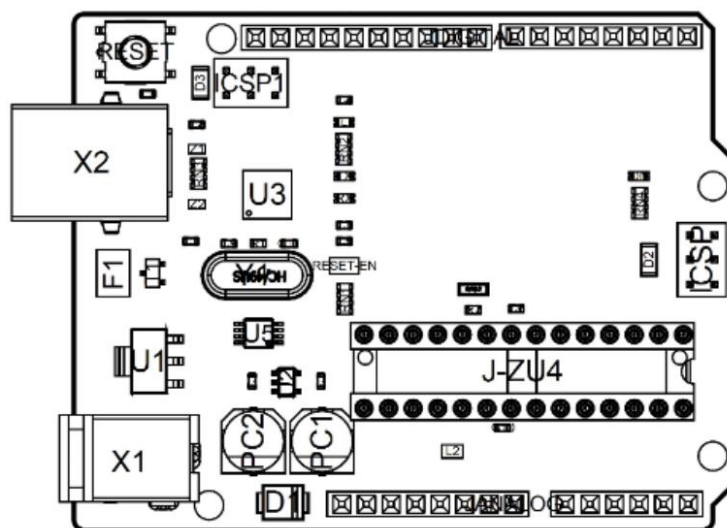
2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector		-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

3 Functional Overview

3.1 Board Topology

Top view





Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

3.2 Processor

The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.



Arduino® UNO R3

5.1 JANALOG

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

5.2 JDIGITAL

Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)

Anexo: 6 DRIVER DM556

STEPPERONLINE®

Digital Stepper Drive DM556T

1. Introductions

The DM556T is a digital stepper drive with simple design and easy setup. By implementing advanced stepper control technology, this stepper drive is able to power 2-phase and 4 phase stepper motors smoothly with optimal torque and low motor heating & noise. Its operating voltage is 20-50VDC and it can output up to 5.6A current. All the micro step and output current are done via DIP switches. Therefore, the DM556T are ideal choices for applications requiring simple step & direction control of NEMA 23, 24 and 34 stepper motors.

1.1 Features

- Anti-Resonance for optimal torque, extra smooth motion, low motor heating and noise
- Motor auto-identification and parameter auto-configuration for optimal torque from wide-range motors
- Step & direction (PUL/DIR) control
- Multi-Stepping for smooth motor movement
- TTL compatible and optically isolated inputs
- Input voltage 20-50VDC
- 16 selectable micro-step resolutions of 400-25,600 via DIP switches
- 8 selectable output current settings of 1.8 – 5.6A via DIP switches
- Soft-start with no "jump" when powered on
- Pulse input frequency up to 200 KHz.
- Automatic idle-current reduction
- Protections for over-voltage and over-current

1.2 Applications

The DM556T stepper drive are designed to power 2 phase (1.8°) or 4-phase (0.9°) NEMA 23, 24, and 34 hybrid stepper motors. It can be easily adopted in many industries (CNC, medical, automation, packaging...), such as X-Y tables, engraving machines, labeling machines, mills, plasma, laser cutters, pick and place devices, and so on. Its excellent performance, simple design, and easy setup make it ideal for many step & direction control type applications.

2. Specifications**2.1 Electrical Specifications**

Parameters	DM556T			
	Min	Typical	Max	Unit
Output Current	1.8	-	5.6(4.0 RMS)	A
Supply Voltage	20	24 - 48	50	VDC
Logic signal current	7	10	16	mA
Pulse input frequency	0	-	200	kHz
Minimal pulse width	2.5	-	-	μS
Minimal direction setup	5.0	-	-	μS
Isolation resistance	500			MΩ

STEPPERONLINE®

Digital Stepper Drive DM556T

2.2 Environment

Cooling	Natural Cooling or Forced cooling	
Operating Environment	Environment	Avoid dust, oil fog and corrosive gases
	Ambient Temperature	0°C — 65°C (32°F - 149°F)
	Humidity	40%RH 90%RH
	Operating Temperature	0°C 50°C (32°F - 122°F)
	Vibration	10-50Hz / 0.15mm
Storage Temperature	-20°C 65°C (-4°F - 149°F)	
Weight	Approx. 300g (10.6oz)	

2.3 Mechanical Specifications

(unit: mm [1inch=25.4mm])

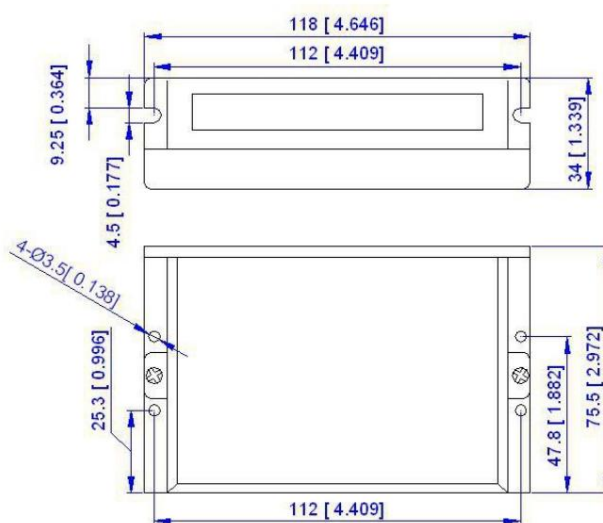


Figure 1: Mechanical specifications

*** Side mounting recommended for better heat dissipation**

2.4 Elimination of Heat

- DM556T reliable working temperature should be < 60°C (140°F)
- It is recommended to use automatic idle-current mode to reduce motor heating. That means set the SW4 pin of DIP switch at "OFF" position.
- It is recommended to mount the drive vertically to maximize heat sink area. Use forced cooling method to cool if necessary.



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 15/12/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: WILLIAM DENNYS CONDORI PERCA

Dirección: Urb. aziruni primera etapa mz 11 lt 2

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 73890127

Teléfono: 951 071 685 email: dennyscondori143@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECATRÓNICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECATRÓNICO

Asesor: M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD CON LA COMUNICACIÓN INTER-INTEGRADO PARA LA SELECCIÓN DE CAJAS POR CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA PUNO - 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): Brazo robótico, grados de libertad, comunicación inter-integrado, código QR, automatización industrial

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.

☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____

☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

☒ Sí autorizo

☐ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☒

Internacional

☐

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN – P21


Firma de Autor

15 de DICIEMBRE del 2025

Fecha