

Diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos para integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Guamán Guerrero, Edison Marcelo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en
Mecatrónica

Ing. Gordón Garces, Andrés Marcelo Msc.

21 de marzo del 2024

Latacunga



Plagiarism and AI Content Detection Report

Guaman Guerrero Edlson-Trabajodel...

Scan details

Scan time: February 26th, 2024 at 16:37 UTC
 Total Pages: 117
 Total Words: 29232

Plagiarism Detection

	Types of plagiarism		Words
6.1%	Identical	2.6%	758
	Minor Changes	1.4%	419
	Paraphrased	2.1%	613
	Omitted Words	0%	0

AI Content Detection

	Text coverage		Words
0%	AI text	0%	0
	Human text	100%	29232

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (64)

Firma:

Ing. Gordón Garces, Andrés Marcelo

C.C. 1803698800



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **“Diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos para integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga”** fue realizado por el señor **Guamán Guerrero, Edison Marcelo** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma:



Ing. Gordón Garces, Andrés Marcelo

C.C. 1803698800



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica**

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Guamán Guerrero, Edison Marcelo** con cédula de ciudadanía N° 1725039612, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos para integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma:

Guamán Guerrero, Edison Marcelo

C.C. 1725039612



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo **Guamán Guerrero, Edison Marcelo** con cédula de ciudadanía N° 1725039612, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos para integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.**

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma:

Guamán Guerrero, Edison Marcelo

C.C. 1725039612

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se los dedico a mis padres Mirian y Marcelo quienes, a pesar de las adversidades y problemas, han sabido apoyarme en el transcurso de mi vida académica y personal, han hecho todo lo posible por que nada me falte y siempre han sido mi inspiración para ser mejor persona día a día, son lo mejor de mi vida, los amo.

Tambien se lo dedico a mis hermanos porque son ellos a quienes me gustaría decirles que con esfuerzo y dedicación todo lo que te propongas lo puedes lograr, no importa el tiempo que te tome en conseguirlo fija un objetivo y nunca te rindas el apoyo siempre lo tendrán.

Edison Guamán Guerrero

Agradecimiento

Quiero agradecer principalmente a mis padres por todas las enseñanzas que me han dado, a mi Madre por ser quien ha estado presente en mi vida ante cualquier problema por ser quien me ha apoyado en todo momento y ha sido la persona incondicional ante cualquier situación, de igual forma a mi Padre quien ha sabido forjar en mí una actitud fuerte y prepararme para afrontar cualquier golpe que la vida pueda darme, aprecio mucho la manera en que me criaron y la humildad con la que me enseñaron que debo ser siempre, respetar a los demás ya que todos somos iguales y nadie está por encima de nadie, simplemente gracias por todo, no hay palabras suficientes para expresarles lo mucho que los amo.

De igual forma quiero agradecerle a Andrea por haber estado siempre a mi lado en toda la carrera universitaria, por haber vivido junto a mi toda la montaña rusa de experiencias que es cursar esta carrera, por ser quien me dio ánimos y me ayudo a seguir adelante cuando más oscura era la situación, sé que no fue fácil, pero lo logramos.

Por último, pero no menos importante, agradecerles a mis amigos de toda la vida y los nuevos amigos que encontré en la universidad, gracias por haber estado presentes, valoro mucho su amistad.

Edison Guamán Guerrero

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de Verificación de Contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenido	8
Índice de Figuras	13
Índice de Tablas	18
Resumen	21
Abstract.....	22
Capítulo I: Introducción	23
Antecedentes	23
Planteamiento del problema.....	25
Descripción del Trabajo de Integración Curricular.....	26
Justificación e Importancia	27
Alcance	28
Objetivos.....	28
<i>Objetivo general</i>.....	28
<i>Objetivos específicos</i>.....	28
Metodología.....	29

<i>Metodología Documental Bibliográfico</i>	29
<i>Metodología Experimental</i>	29
<i>Metodología Deductiva</i>	30
Hipótesis	30
<i>Variable Independiente</i>	30
<i>Variable dependiente</i>	30
Capítulo II: Fundamentación teórica e Investigación.....	31
Módulos Educativos	31
<i>Historia</i>	31
<i>Oportunidades</i>	34
Robot Manipulador	34
<i>Definición de Robot Industrial Manipulador</i>	34
<i>Morfología del Robot Manipulador</i>	36
<i>Tipos de Robot Manipulador</i>	37
Celdas Robóticas - Automatizadas.....	38
<i>Definición de Celda o Célula Robótica</i>	38
<i>Relevancia de una Celda Robótica</i>	39
<i>Beneficios de una Celda Robótica</i>	39
<i>Etapas de diseño</i>	40
<i>Criterio de selección de un robot industrial</i>	40
Controladores y Componentes Electrónicos	41
<i>PLC – Controlador Lógico Programable</i>	41
<i>Arduino Uno</i>	43

	10
<i>Arduino CNC Shield</i>	44
<i>Firmware GRBL</i>	45
Manufactura Aditiva	46
<i>Impresión 3d</i>	46
<i>Aplicaciones y Beneficios de la Impresión 3D</i>	47
Sistemas ciberfísicos	49
<i>Aplicaciones</i>	50
<i>Industria 4.0</i>	50
Capítulo III: Diseño del Concepto	52
Planeación y factibilidad del diseño	52
<i>Matriz de Selección QFD</i>	52
Necesidades del Usuario	52
Especificaciones Técnicas o Métricas	53
Grado de Correlación	54
Clasificación y Etapas de Desarrollo	56
Etapas 1 – Robot Manipulador	58
<i>Selección de Robot Manipulador</i>	59
<i>Selección del Controlador para el Robot</i>	65
<i>Selección de Actuadores para el Robot</i>	69
<i>Selección de Material para Manufacturar el Robot</i>	73
<i>Selección Drivers Motores a Pasos</i>	79
Acondicionamiento de Componentes	84
Motor Nema 17, Driver A4908 y CNC Shield	84

Etapa 2 – Celda de Trabajo (Celda Robótica)	89
<i>Posicionamiento del Robot (Base del Robot)</i>	89
<i>Criterio de Von Mises – Base Módulo y Perfiles de Aluminio</i>	91
<i>Garra o Efecto final del Robot</i>	99
<i>Diseño de Banda Transportadora</i>	101
Longitud y Ancho Requerido	101
Soporte de banda transportadora.	104
Eje Motriz de Banda transportadora.....	110
Velocidad de desplazamiento en la banda	115
Velocidad Angular.....	115
Fuerza para mover la banda sin carga	116
Fuerza para mover la banda con carga.....	118
Fuerza total.....	118
Potencia absorbida por transportador.....	119
Potencia motriz necesaria	119
Torque necesario	120
Selección del motor para la banda	120
<i>Lay Out y Medidas de Protección</i>	122
Lay Out.....	123
Límites del robot.....	123
Espacios de trabajo de la celda	125
Entradas de la Celda	126
<i>Medidas de Protección</i>	127

Paro de emergencia.....	127
Señalización de Seguridad	128
Etapa 3 – Control y Programación.....	129
Capítulo IV: Implementación, Construcción y Resultados	133
Robot – Ensamble.....	133
Calibración de Motores	140
<i>Sprinter</i>	140
<i>PronterFace</i>	144
Interfaz de Funcionamiento.....	146
<i>GRBL</i>	147
<i>Universal G-Code Sender</i>	148
Controlador del Robot.....	151
Banda Transportadora - Ensamble	152
Módulo Base - Ensamble	157
Tablero de Control - Ensamble.....	160
Celda Robótica – Ensamble	163
Validación de la Hipótesis.....	163
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	169
Conclusiones	169
Recomendaciones	171
Bibliografía	173
Anexos	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Introducción a sistemas Sybatronic – Oficina de Ingeniería de Lucas-Nülle</i>	33
Figura 2	<i>Sistema Industrial Mecatrónica IMS® - Lucas-Nülle</i>	33
Figura 3	<i>Articulación Robot Manipulador Industrial</i>	36
Figura 4	<i>Tipos de Articulaciones en Robots Manipuladores</i>	37
Figura 5	<i>Configuraciones más frecuentes en robots industriales</i>	38
Figura 6	<i>Familias de PLCs más comerciales actualmente</i>	42
Figura 7	<i>Placa controladora Arduino Uno</i>	43
Figura 8	<i>Arduino CNC Shield</i>	44
Figura 9	<i>Familias de la Manufactura Aditiva</i>	46
Figura 10	<i>Manufactura aditiva - Impresión 3D</i>	47
Figura 11	<i>Integración de Sistemas Ciberfísicos</i>	49
Figura 12	<i>Revoluciones Industriales</i>	51
Figura 13	<i>Matriz QFD del Módulo de Celda Robótica para Clasificación</i>	55
Figura 14	<i>Etapas del Proyecto</i>	57
Figura 15	<i>Diseño y desarrollo del concepto</i>	58
Figura 16	<i>Robot SCARA (X-SCARA)</i>	59
Figura 17	<i>Robot Antropomórfico (AR4)</i>	60
Figura 18	<i>Robot Antropomórfico (Hiwonder MaxArm)</i>	60
Figura 19	<i>Robot Antropomórfico (20sffactory)</i>	61
Figura 20	<i>Tarjeta Arduino Uno ATmega328</i>	66
Figura 21	<i>Tarjeta ESP32</i>	66
Figura 22	<i>Raspberry Pi 4</i>	67
Figura 23	<i>Servomotor MG995</i>	69
Figura 24	<i>Motor a pasos Nema 17HS4401</i>	70
Figura 25	<i>Motor a pasos Nema 23HE30</i>	70
Figura 26	<i>Filamento PLA+ - Ácido Poliláctico</i>	74

Figura 27	<i>Filamento ABS – Acrilonitrilo Butadieno Estireno</i>	75
Figura 28	<i>Filamento ePA – Nylon (Poliamida 6)</i>	76
Figura 29	<i>Driver – DRV8825</i>	79
Figura 30	<i>Driver – A4988</i>	80
Figura 31	<i>Driver – TB6600</i>	80
Figura 32	<i>Datasheet – Motores Nema 17</i>	84
Figura 33	<i>Conexiones Driver A4988</i>	85
Figura 34	<i>Driver A4988 - Componentes</i>	87
Figura 35	<i>Medición de Vref</i>	88
Figura 36	<i>Diagrama de conexiones CNC Shield Arduino</i>	89
Figura 37	<i>Celda de manufactura – Tipo Robot Centralizado - Ejemplo</i>	90
Figura 38	<i>Área de trabajo – Base Perfiles de Aluminio 6061</i>	90
Figura 39	<i>Curva de Tensión vs Deformación en Ensayos de Tracción</i>	91
Figura 40	<i>Principio de Teoría de Fallo - Von Mises</i>	92
Figura 41	<i>Módulo 4 – Estructura Base</i>	93
Figura 42	<i>Medidas del Módulo 4</i>	93
Figura 43	<i>Fijación, Carga y Mallado en el módulo</i>	94
Figura 44	<i>Criterio de Von Mises Software</i>	95
Figura 45	<i>Desplazamiento Estático del Módulo</i>	96
Figura 46	<i>Deformación unitaria estática del módulo</i>	96
Figura 47	<i>Módulo y perfiles de aluminio</i>	97
Figura 48	<i>Fijaciones y Cargas en el módulo con perfiles de aluminio</i>	97
Figura 49	<i>Análisis Elementos Finitos en Módulo con perfiles</i>	98
Figura 50	<i>Garra o Efecto final del robot</i>	99
Figura 51	<i>Elementos y Banda Transportadora</i>	101
Figura 52	<i>Área Transversal - Elementos de entrada en la banda</i>	101
Figura 53	<i>Perfil CNC Aluminio V 2060</i>	103
Figura 54	<i>Sección Transversal del Perfil CNC</i>	104

Figura 55	<i>Análisis Viga - Banda transportadora</i>	105
Figura 56	<i>Diagrama de Cargas, Fuerzas Cortantes y Momentos Flexionantes</i>	106
Figura 57	<i>Fórmulas para determinar la deflexión de vigas simplemente apoyadas</i>	108
Figura 58	<i>Eje Motriz de la Banda Transportadora</i>	112
Figura 59	<i>Barra redonda escalonada a flexión</i>	113
Figura 60	<i>Coeficientes de rozamiento para cojinetes</i>	117
Figura 61	<i>Motor GA25-370</i>	121
Figura 62	<i>Límites del Robot</i>	123
Figura 63	<i>Medidas de brazos del robot</i>	124
Figura 64	<i>Distribución de celda robótica</i>	125
Figura 65	<i>Espacio de trabajo – Alcance Robot</i>	126
Figura 66	<i>Entrada a la celda</i>	127
Figura 67	<i>Paro de emergencia de la máquina</i>	128
Figura 69	<i>IP Fija - Computadora</i>	130
Figura 70	<i>IP del PLC y Puerta de Enlace</i>	130
Figura 71	<i>Programación del entorno - LOGO PLC - LogoSoft Comfort</i>	131
Figura 72	<i>Programación de Actuadores 1 y 2</i>	132
Figura 73	<i>Tornillos para ensamblar el robot</i>	133
Figura 74	<i>Rodamientos, Poleas y Correas para el Robot</i>	133
Figura 75	<i>Elementos electrónicos para el Robot</i>	134
Figura 76	<i>Ensamble del Robot - Paso 1</i>	134
Figura 77	<i>Ensamble del Robot - Paso 2</i>	135
Figura 78	<i>Ensamble del Robot - Paso 3</i>	136
Figura 79	<i>Ensamble del Robot - Paso 4</i>	137
Figura 80	<i>Ensamble del Robot - Paso 5</i>	138
Figura 81	<i>Ensamble del Robot - Paso 6</i>	139
Figura 82	<i>Ensamble del Robot - Paso 7</i>	139
Figura 83	<i>Sprinter.h - Configuración steps/unity</i>	141

Figura 84	<i>Configuración.h - sprinter</i>	141
Figura 85	<i>Selección de tarjeta de control</i>	142
Figura 86	<i>Arduino Mega y Ramps 1.4 para calibración de motores nema</i>	142
Figura 87	<i>Valores modificables - step/unity</i>	143
Figura 88	<i>Interfaz de control PronterFace</i>	144
Figura 89	<i>PronterFace - Conexión a Arduino</i>	144
Figura 90	<i>PronterFace - Conexión Exitosa</i>	145
Figura 91	<i>PronterFace - Movimiento +X 10, +Y 10, +Z 10</i>	145
Figura 92	<i>Step/Unity correctos para funcionamiento</i>	146
Figura 93	<i>Incluir librería en Arduino</i>	147
Figura 94	<i>Cargar GRBL a Arduino</i>	148
Figura 95	<i>Universal G-Code Sender</i>	148
Figura 96	<i>UGS - Conexión de Motores</i>	149
Figura 97	<i>UGS - Calibración de Pasos</i>	149
Figura 98	<i>UGS - Limit Switches</i>	150
Figura 99	<i>Parámetros para funcionamiento GRBL - Motor</i>	150
Figura 100	<i>Arduino UNO y Shield CNC - Implementación</i>	151
Figura 101	<i>Conexiones, Drivers, Alimentación y Control de Shield CNC</i>	151
Figura 102	<i>Shield CNC conexión con micro servo</i>	152
Figura 103	<i>Perfil CNC V2060 y Tuercas deslizantes T M5</i>	154
Figura 104	<i>Ensamble de Banda Transportadora - Ejes Motrices</i>	154
Figura 105	<i>Ensamble Banda transportadora - Transmisión de movimiento</i>	155
Figura 106	<i>Ensamble Banda Transportadora - Contraparte</i>	156
Figura 107	<i>Ensamble Banda Transportadora - Sensores y Correa</i>	156
Figura 108	<i>Ensamble Módulo Base - Cortes</i>	158
Figura 109	<i>Ensamble Módulo Base - Estructura y Soldadura</i>	158
Figura 110	<i>Ensamble Módulo Base - Colocación del Tol</i>	159
Figura 111	<i>Ensamble Módulo Base – Estructura Mesa Finalizada</i>	159

Figura 112 <i>Ensamble Módulo Base - Perfiles de Aluminio</i>	160
Figura 113 <i>Tablero de Control - Ensamble - Elementos Externos</i>	161
Figura 114 <i>Tablero de Control - Ensamble - PLC, Borneras, Switch y Protección</i>	161
Figura 115 <i>Celda Robótica - Implementación</i>	163
Figura 116 <i>Puntos porcentuales de la distribución x^2</i>	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Definición de Robot según Diccionarios y Enciclopedias</i>	35
Tabla 2 <i>Temprana y Actual definición de Robot Manipulador Industrial</i>	35
Tabla 3 <i>Etapas de diseño de una célula robotizada</i>	40
Tabla 4 <i>Comandos de configuración de GRBL</i>	45
Tabla 5 <i>Aplicaciones y Beneficios de la Impresión 3D</i>	48
Tabla 6 <i>Principales aplicaciones de CPS</i>	50
Tabla 7 <i>Necesidades de los Usuarios e Importancia</i>	53
Tabla 8 <i>Especificaciones Técnicas o Métricas</i>	53
Tabla 9 <i>Escala de Pesos - Metodología Japonesa</i>	54
Tabla 10 <i>Escala de correlaciones de métricas</i>	54
Tabla 11 <i>Matriz QFD – Valores Resultados</i>	56
Tabla 12 <i>Etapas de desarrollo del proyecto</i>	57
Tabla 13 <i>Valores de calificación</i>	62
Tabla 14 <i>Criterios de selección – Robot</i>	62
Tabla 15 <i>Evaluación de Criterios – Precio</i>	63
Tabla 16 <i>Evaluación de Criterios – Facilidad de Usar</i>	63
Tabla 17 <i>Evaluación de Criterios – Didáctico</i>	64
Tabla 18 <i>Evaluación de Criterios – Manufacturar</i>	64
Tabla 19 <i>Consolidación de calificaciones por criterios - Robot</i>	65
Tabla 20 <i>Matriz de Priorización – Selección de Robot</i>	65
Tabla 21 <i>Criterios de selección – Controlador del Robot</i>	67
Tabla 22 <i>Evaluación de Criterios – Facilidad de Programación</i>	67
Tabla 23 <i>Evaluación de Criterios – Didáctico</i>	68
Tabla 24 <i>Evaluación de Criterios – Control Motores CNC</i>	68
Tabla 25 <i>Consolidación de calificaciones por criterios – Controlador del Robot</i>	68
Tabla 26 <i>Matriz de Priorización – Selección del Controlador de Robot</i>	69

Tabla 27	<i>Criterios de selección – Actuadores del Robot</i>	71
Tabla 28	<i>Evaluación de Criterios – Torque</i>	71
Tabla 29	<i>Evaluación de Criterios – Voltaje de Alimentación</i>	72
Tabla 30	<i>Evaluación de Criterios – Precio</i>	72
Tabla 31	<i>Consolidación de calificaciones por criterios – Actuadores del Robot</i>	72
Tabla 32	<i>Matriz de Priorización – Selección de Actuadores del Robot</i>	73
Tabla 33	<i>Criterios de selección – Material de Manufactura del Robot</i>	76
Tabla 34	<i>Evaluación de Criterios – Imprimibilidad</i>	77
Tabla 35	<i>Evaluación de Criterios – Resistencia a la Flexión</i>	77
Tabla 36	<i>Evaluación de Criterios – Disponibilidad en el Mercado</i>	78
Tabla 37	<i>Consolidación de calificaciones por criterios – Manufactura del Robot</i>	78
Tabla 38	<i>Matriz de Priorización – Selección de Material de manufactura del Robot</i>	78
Tabla 39	<i>Criterios de selección – Drivers para control de motores</i>	81
Tabla 40	<i>Evaluación de Criterios – Capacidad de Amperaje</i>	81
Tabla 41	<i>Evaluación de Criterios – Alimentación de Voltaje</i>	82
Tabla 42	<i>Evaluación de Criterios – Precio</i>	82
Tabla 43	<i>Consolidación de calificaciones por criterios – Drivers para control de motores</i> ...82	
Tabla 44	<i>Matriz de Priorización – Selección de Drivers para control de motores</i>	83
Tabla 45	<i>Resolución de pasos – Driver A4988</i>	86
Tabla 46	<i>Elementos y sus pesos en el módulo</i>	94
Tabla 47	<i>Parámetros de Selección de Efecto Final</i>	100
Tabla 48	<i>Perfil CNC Aluminio V 2060</i>	105
Tabla 49	<i>Interpolación - valor Kt</i>	113
Tabla 50	<i>Parámetros de selección de motor</i>	120
Tabla 51	<i>Características del motor GA25-370</i>	121
Tabla 52	<i>Señalética de Seguridad en la Celda</i>	129
Tabla 53	<i>Materiales - Ensamble de Banda Transportadora</i>	153
Tabla 54	<i>Lista de materiales - Ensamble Mesa</i>	157

Tabla 55 <i>Planteamiento de Hipótesis (Hi) e Hipótesis Nula (Ho)</i>	164
Tabla 56 <i>Pruebas de Funcionamiento</i>	164
Tabla 57 <i>Cálculo del Chi - Cuadrado</i>	166

Resumen

El presente proyecto se ha enfocado en diseñar e implementar un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos para integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga. Para ello se ha empezado por la selección del robot manipulador que se encargara de gestionar el transporte de elementos en la celda automatizada, los controladores, actuadores y drivers necesarios junto con su acondicionamiento para un correcto funcionamiento, la programación con firmware GRBL y comunicación serial para la correcta transmisión de Código G para efectuar desplazamientos precisos. El proceso de impresión 3D para la mayoría de los elementos empleados, son de las principales tecnologías usadas pues permite ser de fácil mantenimiento, sencillo de adquirir y ágil de manufacturar. De igual forma se diseña la celda robótica en la cual van a interactuar dos bandas transportadoras, una para ingreso de material y otra que se encargará de realizar una clasificación mediante actuadores lineales, sin dejar de lado los diferentes sensores que actuarán como los ojos del entorno y permitirán comandar que acciones tomar, se ha realizado la programación necesaria mediante Ladder o KOP en PLC Logo V8.3.

Palabras Clave: PLC, GRBL, Robot, Impresión 3D, Celda Robótica, Sensores Capacitivos.

Abstract

The present project has focused on designing and implementing a module for the classification and transportation of parts that allows them to be organized using an automated cell using cyber-physical systems to integrate technical and industrial knowledge in the Mechatronics Laboratory of the University of the Armed Forces ESPE Headquarters Latacunga. To do this, we have started with the selection of the manipulator robot that will be responsible for managing the transport of elements in the automated cell, the controllers, actuators and drivers necessary together with their conditioning for proper operation, the programming with GRBL firmware and serial communication for the correct transmission of Code G to make precise movements. The 3D printing process for most of the elements used, are of the main technologies used because it allows to be easy maintenance, easy to acquire and agile to manufacture. Similarly, the robotic cell is designed in which two conveyor bands will interact, one for input of material and another that will be responsible for carrying out a classification using linear actuators, without leaving aside the different sensors that will act as the eyes of the environment and will allow to command which actions to take, the necessary programming has been carried out using Ladder or KOP in PLC Logo V8.3.

Keywords: PLC, GRBL, Robot, 3D Printing, Robotic Cell, Sensors.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En la actualidad la necesidad de automatización tiende a ser elevada, si se desean ofrecer productos de calidad en un entorno competitivo, siendo las industrias manufactureras como las de procesos las que realizan una mayor cantidad de esfuerzos en la optimización de operaciones, centrándose en aspectos de calidad o de costes dando como resultado el mejoramiento tanto en la calidad y tiempos de producción del producto, para ello se requiere de una intervención decisiva de la automatización industrial la cual toma su auge en base a los microprocesadores y controladores numéricos que permiten tener autómatas programables, armarios de control y robots manipuladores industriales. (Ponsa & Granollers, 2010)

Es de esta forma como Ecuador, siendo un país en vías de desarrollo en el campo industrial, debe verse inmerso en una serie de actualizaciones y mejoras para alcanzar estándares de calidad y producción a la hora de adentrarse al campo de la automatización industrial.

Según avanza el tiempo y a medida global las diferentes tecnologías ya sean Inteligencia Artificial o Machine Learning alcanzan su respectivo grado de madurez, en el Ecuador existen varias empresas que han asimilado que el uso de una automatización inteligente la cual es capaz de transformar su modelo ya sea de negocio o estratégico, trayendo múltiples beneficios a las compañías. (Paucar, 2020)

Siendo la automatización o la robótica industrial campos sin exploración profunda y que se pueden mejorar. Sectores empresariales como: el metalmecánico, papel, plásticos, alimentos, ensamble, envasado, entre otros, pueden introducir sistemas robóticos para diferentes soluciones en sus industrias, que permitan disminuir tiempos, mejorar la calidad

de elaboración de los procesos incrementando la producción de las empresas. (Fainca-Group, 2021)

Al tener en perspectiva que la mejor forma de lograr un balance entre los conocimientos de estudiantes adquiridos en academias universitarias y entes industriales o empresas es mediante la relación y colaboración, la que tiene como único objetivo de generar una transferencia de conocimientos, que son los elementos principales de la economía que mueven los sistemas nacionales de innovación.

Los países que se encuentran en vías de desarrollo tienden a emplear canales como la investigación conjunta, formación del capital humano y servicios de asesoría, por el contexto y áreas de desarrollo que tienen sus empresas, así como el nivel de investigación de sus universidades. (Sarabia, 2015)

Al existir relación y sobre todo colaboración en el ámbito académico que respecta a la teoría en conjunto al campo industrial que concierne a la práctica se puede consagrar los primeros acercamientos por parte de estudiantes con la finalidad de adquirir bases y sobre todo experiencia que permitirá a posterior desenvolverse con mayor facilidad en el área profesional.

Es así que la idea de fomentar prácticas de laboratorios utilizando recursos técnicos, bibliográficos y documentales, centrados en automatización industrial, en base a la necesidad académica son una oportunidad para mejorar el nivel académico de los estudiantes en carreras técnicas universitarias, por lo que el diseño de un módulo didáctico es un mecanismo óptimo y viable para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje, lo cual les permitirá tener sólidos conocimientos en su especialidad y ser competitivos en el campo laboral. (Agila, 2013)

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga se tiene como misión el formar profesionales de excelencia capaces de proporcionar e implementar alternativas de solución a los problemas del país acorde al plan nacional de desarrollo, es

de esta perspectiva que surge la necesidad de que los laboratorios de este ente académico puedan brindar las facilidades respectivas para cumplir con la misión planteada, el uso de herramientas actuales en los laboratorios permitirá a los diferentes alumnos desenvolverse con mayor experticia dentro del ámbito industrial cuando la situación se presente.

Planteamiento del problema

En el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga existen diversos equipos, implementos y herramientas que permiten a los estudiantes de la carrera capacitarse y estar al tanto de conocimiento técnico y teórico que es indispensable para cumplir con la malla curricular, pero es necesario hacer énfasis en la falta de equipo que permita emular situaciones similares a las que se pueden presentar en el capo profesional o en la industria. Es decir, existe una limitante en el aprendizaje de los estudiantes a la hora de hacer frente a problemas que se pueden generar dentro de una línea de producción.

En la mayoría de ocasiones los estudiantes de la carrera no cuentan con la oportunidad de relacionarse o intervenir en un entorno industrial, es común que esta situación se les presente por primera vez al momento de realizar prácticas preprofesionales al estar en niveles bastante avanzados o en ciertos casos incluso al finalizar su malla curricular, es ahí que surge la idea de diseñar e implementar un sistema modular compacto capaz de acoplarse a una serie de módulos e intervenir como un sistema de clasificación y transporte, tratando de representar lo más fiel al campo profesional una celda automatizada, sin dejar de lado que sea accesible y sobre todo fácil de manipular por los estudiantes, en el cual se puedan encontrar con controladores y elementos de nivel industrial.

Los equipos que se dispone actualmente en el laboratorio de Mecatrónica a pesar de ser innovadores y genuinos no integran la demanda actual de sistemas embebidos y aplicación de sistemas ciberfísicos, razón principal por la cual se plantea que el módulo sea

integrado al laboratorio de mecatrónica dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Descripción del Trabajo de Integración Curricular

Se puede resaltar que el presente proyecto empezará por transmitir información previa y verídica que servirá como el estado del arte de este, lo que permitirá fomentar conocimientos y argumentar correctamente parámetros para luego ser aplicados durante la etapa de desarrollo.

Se establecerá las variables a controlar, los diferentes procesos a realizar y sobre todo se identificará elementos mecánicos, estructurales y electrónicos disponibles en el mercado para realizar una correcta implementación del sistema.

El presente proyecto está enfocado en el diseño e implementación de un módulo didáctico que permita la clasificación y transporte de elementos mediante una pequeña celda automatizada en el cual se tendrá una recopilación de información a tiempo real mediante sistemas ciberfísicos, efectuando un control robusto mediante un controlador industrial capaz de gestionar las diferentes acciones y señales que se presenten o requiera, facilitando a los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga relacionarse a temprana formación académica con el campo industrial, teniendo en consideración tanto el área de automatización y robótica.

Se puede resaltar que este módulo será el cuarto y último de la línea de producción a emular, por ello constará de varios sensores que permita identificar el producto ya finalizado y clasificarlo acorde a la necesidad o a lo que se requiera, para efectuar el transporte de las piezas o material obtenido en la línea de producción se integrará un robot capaz de realizar dicha tarea, sin dejar de lado que es de suma importancia el realizar una etapa de pruebas y corrección para que el funcionamiento sea el adecuado.

Justificación e Importancia

El presente trabajo surge de la necesidad de mejorar y acercar a jóvenes estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica al campo técnico aplicativo y operativo, donde tendrán la oportunidad de adentrarse en una línea de producción industrial con bases tecnológicas actuales y sobre todo haciendo referencia a la industria 4.0, en el cual dispondrán de todo el beneficio de interactuar con un proceso automatizado y podrán adquirir experiencia para desenvolverse con mayor facilidad a futuro en su vida o labor profesional.

Con la finalidad de lograr representar varios procesos industriales, la implementación de una pequeña celda automatizada junto con la integración IoT y controladores robustos permitirá integrar conocimientos de control industrial, robótica industrial, automatización industrial, sistemas ciberfísicos y varias asignaturas más que resultan ser profesionalizantes en la formación académica de estudiantes de ingeniería.

Son estas características las que permiten al módulo didáctico convertirse en una herramienta de alto nivel e impacto que facilitará a los estudiantes adquirir aspectos básicos tanto teóricos como prácticos desde las instalaciones del laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, evitando el embarcarse en gastos excesivos ya sea por uso o accidentes industriales que se pueden presentar durante el proceso de aprendizaje.

Una vez sea implementado el módulo se procederá a realizar pruebas de funcionamiento con la finalidad de validar la hipótesis y solventar problemas que puedan presentarse.

Alcance

El alcance del Trabajo de la Unidad de Integración Curricular abarca el diseño de la celda automatizada, simulación del proceso ejecutado, aplicación de normas y estándares de seguridad para un correcto funcionamiento y finalmente la implementación de los diferentes elementos mecánicos, estructurales y eléctricos para alcanzar una representación adecuada y funcional de una pequeña celda automatizada y controlada en base a las necesidad o requerimiento de trabajo.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos para integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Objetivos específicos

Adquirir información complementaria que permita desarrollar adecuadamente el proyecto, incluyendo acotaciones que pueden haberse presentado en trabajos previos.

Investigar documentos bibliográficos que hagan énfasis en el desarrollo relacionado del proyecto, que funcione como guía para la gestión bibliográfica del documento.

Plantear el diseño mecánico que facilite la función de transporte y clasificación del módulo en base a cálculos y comprobación matemática.

Identificar variables que lleguen a ser relevantes durante el diseño mecánico del módulo.

Gestionar elementos a implementar, tanto desde el punto estructural, eléctrico y mecánico con la finalidad de evitar problemas durante la etapa de pruebas.

Implementar normas de seguridad que permitan vincular el módulo con un sistema real en base a parámetros industriales, integrando protecciones y aspectos íntegros de funcionamiento.

Programar el control y funcionamiento de los diferentes elementos que integran el módulo, tanto desde el robot como sensores y actuadores que interactúan en el entorno.

Realizar las diferentes pruebas que permitan comprobar el correcto funcionamiento mecánico, eléctrico y ciberfísico del sistema.

Metodología

El trabajo de integración curricular se lo pretende realizar implementando las siguientes metodologías:

Metodología Documental Bibliográfico

Para integrar la metodología documental bibliográfico será mediante la recopilación y depuración de información previa y verificada de distintas fuentes bibliográficas que sean de índole y carácter técnico e industrial que faciliten diferentes tácticas y permita gestionar la forma adecuada de encaminar el módulo de celda automatizada acorde a lo que el proyecto plantea.

Metodología Experimental

Al hacer uso del método experimental, se habilita la opción de verificar y evaluar el correcto funcionamiento del módulo con la finalidad de realizar una adecuada calibración y obtener valores de funcionamiento adecuados de control y datos para validar el comportamiento del sistema.

Principalmente se empleará una vez sean integrados los parámetros de diseño, programación y control con el principal objetivo de analizar el comportamiento del sistema, obteniendo los datos y conclusiones que permitirá validar y corregir el funcionamiento del controlador.

Metodología Deductiva

Esta metodología va enfocada en principios y conocimientos que abarcan desde un punto de vista profesional y social que facilitara la obtención de diferentes soluciones particulares en el desarrollo del proyecto ante posibles problemáticas en el desarrollo del proyecto.

Hipótesis

¿El diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos permitirá integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga?

Variable Independiente

Módulo de clasificación y transporte de piezas.

Variable dependiente

Integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Capítulo II

Fundamentación teórica e Investigación

Módulos Educativos

La enseñanza a partir de módulos educativos como sistemas físicos y didácticos proporciona una base de prácticas y preparaciones para estudiantes enfocados a profesionalizarse en ámbitos técnicos e industriales permitiendo un complemento en áreas específicas de la ingeniería, normalmente estos sistemas complementarios de enseñanzas se enfocan en perfeccionar habilidades de control y automatización, sin alejarse del centro de educación superior, es decir, dentro de laboratorios y sitios de aprendizaje técnicos universitario.

Historia

Las estaciones de aprendizaje o también denominados bancos de trabajo didácticos o quizá incluso reconocidos como sistemas de entrenamiento, para el campo de la ingeniería, son comúnmente entornos de espacios físicos con la finalidad de brindarles a los estudiantes experiencias prácticas y aplicativas para diversos campos como llega a ser la automatización, control, mecánica, electrónica, etc. Es una forma de acercar a los alumnos de ingeniería para trabajar y relacionarse con componentes reales y gestionar diferentes experimentos en un entorno controlado y sobre todo seguro, sin comprometer sitios de trabajo especializado o netamente empresariales técnicos industriales.

La genialidad de hacer uso de estaciones de aprendizaje en ingeniería ha estado presente por un largo periodo de tiempo y de igual forma su forma de adopción y evolución han terminado cambiando durante ese lapso, oficialmente no existe definido una fecha certera o específica de cuando empezaron a implementarse esta variedad de sistemas, puesto que ha sido un sistema gradual que se ha basado en las necesidades de la educación y avances en la tecnología.

Se puede definir como algo aproximado la década de los sesenta como un principio de las estaciones de trabajo técnicas de la mano de grandes empresas como son Festo Didactic o Lucas-Nülle, en el que su sistema por lo general integra componentes modulares que permiten al usuario ensamblar, conectar y programar sistemas reales.

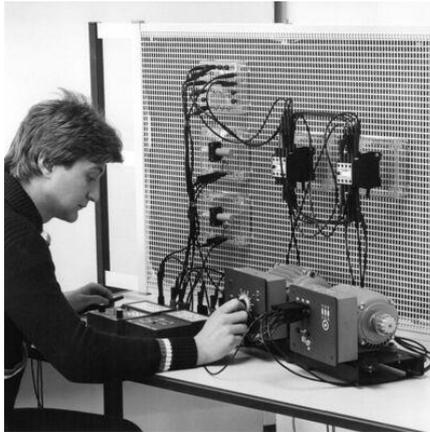
Al tratarse de módulos de enseñanza o estaciones de aprendizaje como se ha mencionado anteriormente, un referente del tema es FESTO Didactic, una empresa que puso en marcha y a desarrollar diferentes programas de formación y de perfeccionamiento profesional en cuanto a la técnica de automatización, con una trayectoria que supera las tres décadas, actualmente considerados líderes en el mercado, de forma específica esta empresa ha alcanzado escuelas de todo tipo, universidades y empresas en más de 100 países, en si su objetivo principal es el de maximizar, a nivel mundial, el éxito en el aprendizaje en los centros educativos y la productividad en las empresas industriales (Festo CO., 2018).

A lo largo del tiempo, Festo se ha distinguido por su cantidad de innovaciones y su productividad, por la fecha de 1950 fue de las empresas pioneras del continente europeo en usar aire comprimido como un medio de propulsión en la automatización, mientras que en la actualidad ofrecen más de 30 000 productos y soluciones de sistema para la técnica de automatización neumática y eléctrica, ya que gracias a las numerosas variantes de sistemas modulares permiten el diseño de aplicaciones personalizadas en diversos sectores de la industria de fabricación y procesos (Interempresas, 2017).

El segundo gran referente en este tema es Lucas-Nülle, una empresa que ha ido evolucionando con el pasar del tiempo, con registros que datan de 1913 enfocándose en la exploración del interior de la tierra hasta llegar a la actualidad donde buscan soluciones a la industria tecnológica de la mano con capacitaciones y la generación de un futuro inteligente, en 1973 se crea la oficina de ingeniería de Lucas-Nülle donde se dan los primeros aspectos de estaciones de enseñanza.

Figura 1

Introducción a sistemas Sybatronic – Oficina de Ingeniería de Lucas-Nülle



Nota. Creación de los primeros sistemas de estaciones por Lucas Nulle. Tomado de (Lucas-Nülle, 2018).

Hasta llegar al 2007 que Lucas-Nülle incursiona en la Introducción en el mercado del Sistema Industrial Mecatrónica IMS® con el cual se pueden simular instalaciones industriales automatizadas con diferentes niveles de complejidad, se lo puede definir como una unidad que se presta idealmente para su ampliación gracias a su estructura modular (Lucas-Nülle , 2023).

Figura 2

Sistema Industrial Mecatrónica IMS® - Lucas-Nülle



Nota. Sistema industrial Mecatrónico de Lucas-Nülle. Tomado de (Lucas-Nülle , 2023).

Oportunidades

El desarrollo e integración de módulos didácticos como unidades de aprendizaje brindan la posibilidad de complementar planes de estudio, generando aprendizaje significativo tanto.

Los módulos didácticos permiten a los estudiantes afrontarse a ambientes de simulación idénticos o similares a los que llegaran a encontrar en la industria permitiendo mejorar sus habilidades y por consiguiente mejorando su capacidad de resolver problemas en el campo de la automatización (Sanchez y otros, 2020).

Es de resaltar que la integración de estos sistemas de apoyo educativo facilita tanto al profesor como al estudiante la capacidad de mejorar la técnica de estudio y enseñanza dentro de las aulas de clases.

Robot Manipulador

Definición de Robot Industrial Manipulador

La definición exacta de que es un robot no es absoluta y tampoco es la misma si se abarca diferentes fuentes bibliográficas ya que ha venido cambiando con el paso del tiempo de la mano con la evolución que han sufrido los mismos robots según avanza tanto la tecnología en aspectos mecánicos y electrónicos se puede citar lo que expresan diferentes organismos como pueden ser diccionarios o enciclopedias de distintas instituciones como se puede entender en la siguiente tabla:

Tabla 1

Definición de Robot según Diccionarios y Enciclopedias

Diccionarios/Enciclopedias	Definición de Robot
Enciclopedia Británica	Máquina operada automáticamente que sustituye el esfuerzo de los humanos, aunque no tienen por qué tener apariencia humana o desarrollar sus actividades a la manera de los humanos.
Diccionario Merriam Webster	Máquina que se asemeja a los humanos y desarrolla como ellos tareas complejas como andar, hablar. Un dispositivo que desarrolla de manera automática tareas complicadas, a menudo de manera repetitiva. Un mecanismo guiado por control automático.
Diccionario de la Real Audiencia Española	Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas sólo a las personas.

Nota. Definición de robot. Tomado de (Barrientos y otros, 2007).

Tabla 2

Temprana y Actual definición de Robot Manipulador Industrial

Año	Organismo	Definición
1997	RIA (Robot Institute of America, actualmente Robotic Industries Association)	Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.
Actual	ISO (Asociación Internacional de Estándares) ISO 8373	Manipulador de 3 o más ejes, con control automático, reprogramable, multiaplicación, móvil o no, destinado a ser utilizado en aplicaciones de automatización industrial. Incluye al manipulador (sistema mecánico y accionadores) y al sistema de control (software y hardware de control y potencia).

Nota. Temprana y actual definición de Robot Industrial Manipulador. Tomado de (Barrientos y otros, 2007).

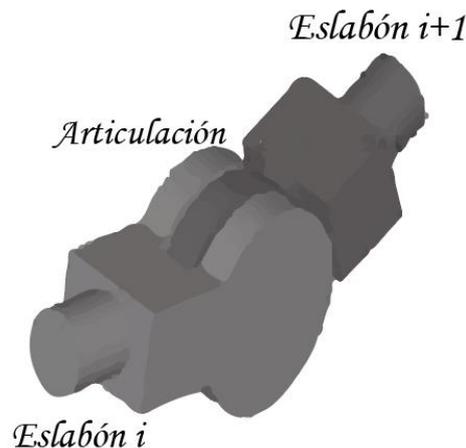
Morfología del Robot Manipulador

Al tratar de morfología se hace referencia tanto a su estructura mecánica, diferentes partes y una breve descripción de componentes que integran al robot manipulador, generalmente se puede identificar a este tipo de robots como aquellos que están hechos con un propósito general capaces de adaptarse a diferentes aplicaciones, como pueden ser el traslado de objetos, empaquetado, soldadura, operaciones quirúrgicas, aplicaciones aeroespaciales (Barrientos y otros, 2007)

Esta clase de robots están conformados por una serie consecutiva de eslabones y articulaciones que permiten formar una cadena cinemática abierta, donde cada articulación representa la interconexión entre dos eslabones consecutivos (Reyes, 2011).

Figura 3

Articulación Robot Manipulador Industrial

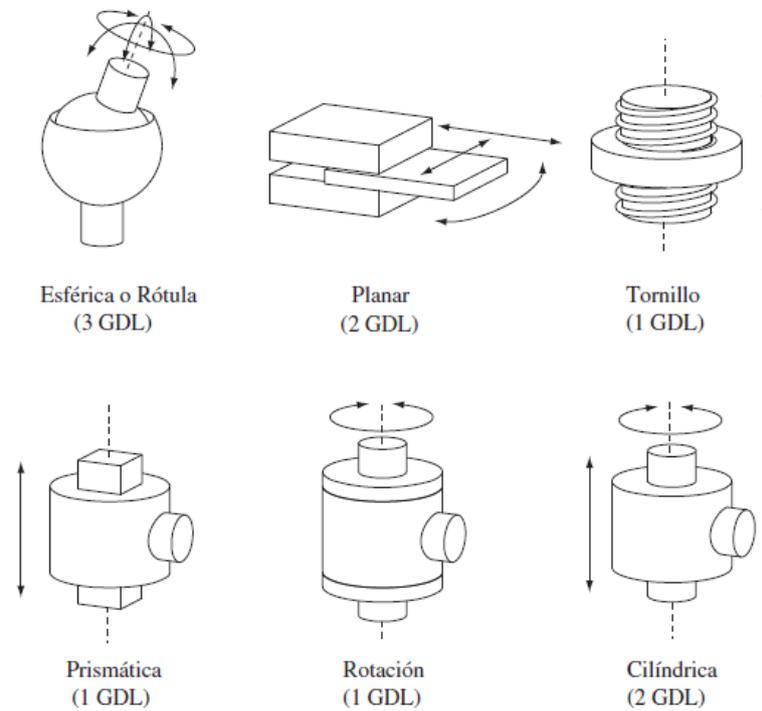


Nota. Una articulación es capaz de conectar dos eslabones. Tomado de (Reyes, 2011).

Dentro de lo que respecta a morfología de un robot industrial es necesario poder identificar los tipos de articulaciones que se pueden presentar, entre las cuales existen la Esférica o Rotula, Planar, Tornillo, Prismática, Rotación, Cilíndrica.

Figura 4

Tipos de Articulaciones en Robots Manipuladores



Nota. En base a la articulación que se dispone se puede generar desde 1 hasta 3 grados de libertad. Tomado de (Barrientos y otros, 2007).

Tipos de Robot Manipulador

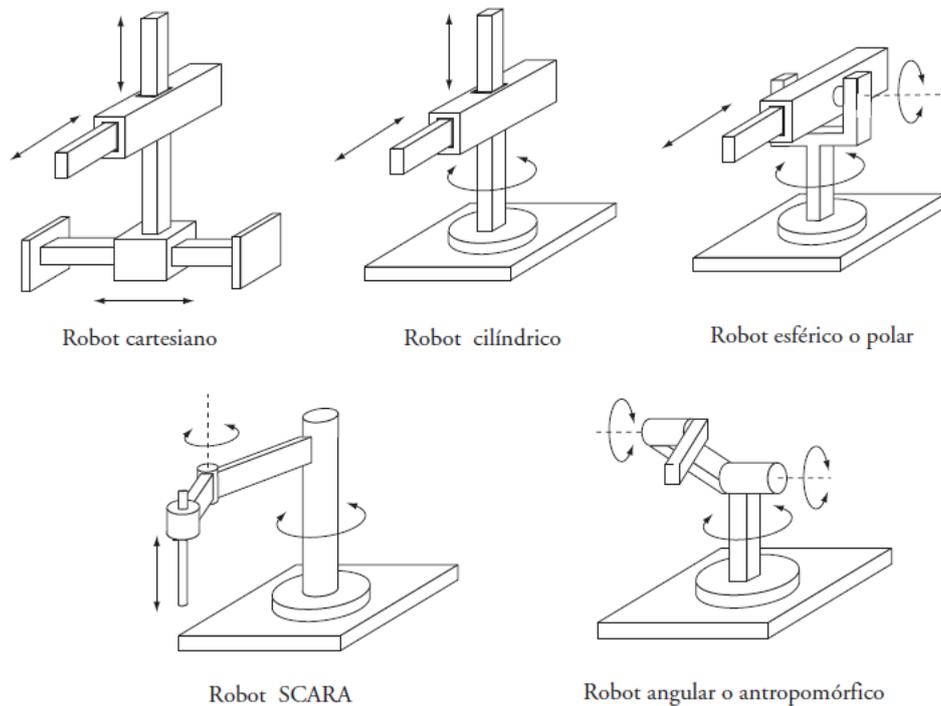
La mayoría de los robots manipuladores en gran parte de casos o situaciones son simplemente cadenas cinemáticas abiertas con las articulaciones de tipo rotacional o prismática con un grado de libertad cada una, lo cual facilita en gran medida identificar la cantidad de grados de libertad que dispone el robot, pero no por ello se debe descartar la posibilidad de que existan robots con articulaciones esféricas donde tiende a ser más complejo identificar los grados de libertad.

En gran medida la mayor parte de los robots manipuladores que existen en la actualidad tienden a estructuras angulares, que también lleva el nombre de articular, siendo un 45% de estos, los siguientes más comunes de encontrar con los de tipo Cartesiano y de tipo SCARA y finalmente los que se encuentran en la industria para trabajos sumamente

demandantes en los cuales se requiera mayor velocidad y precisión, estos son los robots antropomórficos.

Figura 5

Configuraciones más frecuentes en robots industriales



Nota. La mayoría de los robots en la actualidad constan con articulaciones de tipo rotacional o prismática (lineal). Tomado de (Barrientos y otros, 2007).

Celdas Robóticas - Automatizadas

Definición de Celda o Célula Robótica

La celda robótica no es más que un conjunto o agrupación de máquinas que están organizadas en un entorno de trabajo industrial en la que se instalan uno o varios robots programables. El principal objetivo de implementar robots industriales es maximizar, agilizar y simplificar un módulo completo de producción generando alto niveles de repetibilidad con un elevado grado de autonomía permitiéndole a empresas mantenerse operativas por periodos de tiempo sumamente extensos, es de entender que conllevan una alta inversión inicial pero estos sistemas son capaces de proporcionar un rápido retorno de inversión

debido a sus beneficios y capacidades de trabajo. Normalmente estas celdas pueden tener aplicaciones de todo tipo, lo que busca es automatizar diferentes operaciones en diversos campos o sectores de producción, estos pueden ser paletizado, soldadura, carga y descarga, manipulación de materiales, operaciones quirúrgicas, automotrices (Maqmetal, 2021).

Relevancia de una Celda Robótica

Las celdas robóticas tienen un papel tan representativo en la industria manufacturera moderna que según un estudio efectuado por la Fundación de Innovación y tecnología de la Información (ITIF), reveló que la inversión en robots contribuyó en un 10% en el crecimiento del PIB per cápita de los países OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos) en un periodo de 13 años, de 1993 a 2016 (Boltronic, 2016).

Beneficios de una Celda Robótica

Autonomía – tiene la capacidad de trabajar en la mayoría de los casos sin necesidad de la supervisión humana, esto significa que no se requiera del recurso humano para ejercer producción ya que son capaces de continuar con sus funciones programadas.

Versatilidad – No es relevante si es necesario realizar una o varias tareas, ya que se pueden incorporar los elementos que sean necesarios para cumplir con las labores requeridas siendo útil y flexible para proceso varios a nivel industrial.

Reducción de Costos y Tiempo – Es de esperar que al integrar robots que sean capaces de alcanzar niveles altos de repetibilidad y sobre todo de exactitud permita minimizar los tiempos de producción y al ser de una inversión única y a largo tiempo no es necesaria la contratación de varios trabajadores para ejecutar ciertas tareas (Boltronic, 2016).

Etapas de diseño

Al momento de diseñar e implementar una celda robótica es necesario considerar la seguridad tanto para trabajar con el robot como para trabajar con la celda, estos estándares de seguridad se encuentran normados por estándares ISO que señalan la correcta forma de instalar y trabajar con los mismos.

En rasgos generales, el implementar una celda es un proceso mecatrónico en el que se pueden integrar miembros multidisciplinarios, es así como estas estaciones de trabajo o células constan de un robot, garra o efector final, vallado, tablero de control y equipos productivos (Navarro, 2021).

Tabla 3

Etapas de diseño de una célula robotizada

	Celda Robotizada / Célula Robótica
Etapas de Diseño de una célula robotizada	1. Selección del Robot.
	2. Elección de la garra o elemento final de trabajo.
	3. Diseño de la fundación o cimientos para la base del robot.
	4. Instalación de los elementos de protección y seguridad de la célula robotizada.
	5. Elaboración de los sistemas de control y comunicación.
	6. Programación del robot.

Nota. Estas etapas son a grandes rasgos ya que pueden desglosarse en subetapas debido a su alto nivel de complejidad. Tomado de (Navarro, 2021).

Criterio de selección de un robot industrial

A la hora de integrar un robot manipulador a una celda robótica es necesario identificar varios parámetros ya que una mala selección puede significar elevados gastos económicos y retrasos de producción o manufactura.

Aplicación – Quizá el aspecto más importante de todos es reconocer en que va a trabajar el robot, ya que puede ser de tipo industrial, colaborativo o pick & place.

Carga útil – Es la máxima carga que el robot puede soportar a la hora de trabajar, esto dependerá directamente del trabajo que se pretende realizar.

Grados de libertad – Al tener que realizar operaciones simples o directas un menor número de ejes es conveniente, pero si son aplicaciones con mayor nivel de dificultad un mínimo de 6 grados de libertad es lo normal para trabajar.

Rangos de operación – La distancia máxima que puede alcanzar el robot en base a la utilidad o función que debe realizar, las diferentes fabricantes incluyen el alcance máximo y parámetros de funcionamiento.

Precisión – Es en base a la repetibilidad que puede ejercer el robot, siendo esta la capacidad que posee el robot para completar tareas cada vez que llega a cierta ubicación, el rango de precisión en robots industriales suele ir entre más y menos 0.005 a 0.002 milímetros.

Nivel de Protección – Se debe seleccionar el robot en base al entorno al cual se va a someter, es necesario seleccionar uno que disponga de protección IP la cual son niveles de protección tanto para el agua y el polvo o incluso parámetros de funcionamiento a ciertas temperaturas en base a las recomendaciones del fabricante (García, 2019).

Controladores y Componentes Electrónicos

PLC – Controlador Lógico Programable

Se considera un PLC a aquella unidad que hace la función de un cerebro o computadora capaz de activar, desactivar o gestionar el movimiento o accionamiento de maquinaria para realizar diversas actividades, normalmente utilizado para ingeniería en automatización en las industrias.

Posee la característica de que es programable y capaz de adaptarse a la necesidad que el operador requiera en líneas de producción, surgió para sustituir la lógica cableada permitiendo ser más flexible a la hora de trabajar con varios sistemas.

Su origen como tal se da a finales de la década de los 60 con los autómatas programables, mientras que para el año 1982 se comercializa el primer PLC por más de un millón de dólares, a lo que ahora se puede acceder a ellos por precios desde cincuenta dólares. En los años 80 se estandariza el protocolo de programación y comunicación, permitiendo pasar de programación por terminales a ordenadores personales, para los años 90 se modernizan las características físicas permitiendo disponer de mejores aspectos en programación, control y canales de comunicación. Los tipos de PLC que actualmente se emplean y existen en la industria son el tipo compacto, modulares, montaje en rack, HDMI incorporado (Saldias, 2019).

Actualmente existen cientos de marcas, fabricantes y desarrolladores que comercializan sus PLC al público en general, entre las más destacadas se encuentran Siemens, Schneider y Allan Bradley quienes con el pasar de los años y su avance técnico han logrado consolidarse casi a nivel mundial como los referentes máximos en lo que a controladores lógicos programables respecta.

Figura 6

Familias de PLCs más comerciales actualmente

FAMILIA DE PLCs MÁS COMERCIALES

<p>PLC Siemens</p> <p>Los paneles Proface pueden comunicarse con PLC Siemens por medio de los protocolos de comunicación serial MPI, 3964 y RS12, y a través de red Ethernet con ProFINET.</p> <p>Simatic 57-200. Micro PLC compacto gama baja:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 57-200 CPU214. - 57-200 CPU215. - 57-200 CPU216. - 57-200 CPU221. - 57-200 CPU222. - 57-200 CPU224. - 57-200 CPU226. <p>Simatic 57-300. PLC modular de alto rendimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - CPU312FM, CPU313. - CPU314, CPU314FM. - CPU315, CPU315-2 DP. - CPU315-2 PN/DP. - CPU316, CPU316-2 DP. - CPU317-2 PN/DP. - CPU318-2, CPU319-3 PN/DP. <p>Simatic 57-400. PLC alto nivel de procesamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - CPU412-1, CPU412-2 DP. - CPU413-1, CPU413-2 DP. - CPU414-1, CPU414-2 DP. - CPU414-3 DP, CPU414-3PN/DP. - CPU416-1, CPU416-2 DP. - CPU416-3 DP, CPU416-3PN/DP. - CPU417-4. 	<p>PLC Schneider</p> <p>Los paneles Proface pueden comunicarse con PLC Telemecanique por medio de los protocolos de comunicación serial Uni-telway, Modbus master y slave, y a través de red Ethernet con Modbus TCP Master.</p> <p>PLC Twido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - TWD LCAA 10DRF. - TWD LCAA 16DRF. - TWD LCAA 24DRF. - TWD LMDA 20DRK. - TWD LMDA 20RUK. - TWD LMDA 20DRK. - TWD LMDA 40DRK. - TWD LMDA 40RUK. <p>PLC Modicon TSX Micro.</p> <ul style="list-style-type: none"> - TSX 37 05 028DR1, 056DR1. - TSX 37 10 128DT1, 128DR1. - TSX 37 10 128DTK1. - TSX 37 10 164DTK1. - TSX 37 10 028AR1. - TSX 37 10 028DR1. - TSX 37 21 101, TSX 37 22 101. - TSX 37 21 001, TSX 37 22 001. <p>Modicom Premium y Quantum.</p> <ul style="list-style-type: none"> - TSX P57 103M, TSX P57 153M. - TSX P57 203M, TSX P57 253M. - TSX P57 303M, TSX P57 353M. - TSX P57 453M. - 140 CPU 113 02, CPU 113 03. - 140 CPU 434 12A, CPU 534 14A. - 140 CPU 651 50, CPU 651 60. 	<p>PLC Allen Bradley</p> <p>Los paneles Proface pueden comunicarse con Allen Bradley por medio de los protocolos de comunicación serial DF1 y RS485, y a través de red con Ethernet/IP.</p> <p>PLC Micro 800 (2080). Micro PLC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PLC Micro 810 (2080). - PLC Micro 830 (2080). - PLC Micro 850 (2080). - Plug-in I/O Micro 810 - Expansion I/O Micro 850. <p>PLC MicroLogix. Micro PLC gran capacidad de I/O:</p> <ul style="list-style-type: none"> - MicroLogix 1000. - MicroLogix 1100. - MicroLogix 1200. - MicroLogix 1400. - MicroLogix 1500. <p>CompactLogix. PLC compacto, gran rendimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - CompactLogix 1769-L31. - CompactLogix 1769-L32E. - CompactLogix 1769-L32C. - CompactLogix 1769-L36E. - CompactLogix 1769-L35CR. - CompactLogix 1769-L43. - CompactLogix 1769-L45. <p>ControlLogix. PAC alto nivel de procesamiento, opciones de comunicación y programación de alto nivel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ControlLogix 1756-L55. - ControlLogix 1756-L61. - ControlLogix 1756-L62. - ControlLogix 1756-L63. - ControlLogix 1756-L64.
--	--	---

Nota. Cada PLC consta de características que llegan a ser muy diferentes unos de otros, es necesario identificar adecuadamente su Datasheet a la hora de adquirir uno. Tomado de (Electrotec Electrónica y Robótica, 2017).

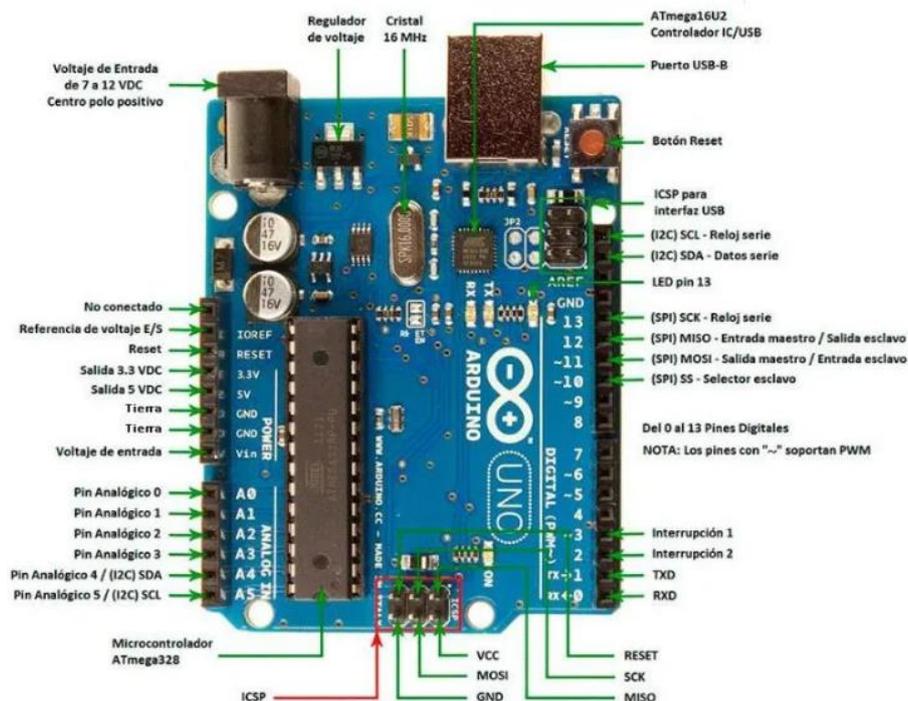
Arduino Uno

Al hablar de Arduino se puede destacar que es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre en el cual lleva incorporado un microcontrolador reprogramable junto con una serie de pines hembra que facilitan la conexión del microcontrolador con diferentes sensores y actuadores.

El origen de Arduino es a partir del año 2005 en el Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea (Italia), con el propósito de ser usado en aulas de manera educativa y didáctica con la principal característica, que sea de bajo costo, pero debido a problemas y la posibilidad de perder el proyecto se decide liberarlo y abrirlo al público para que todo el mundo sea capaz de participar en su evolución proporcionando mejores y sugerencias llegando hasta lo que es en la actualidad (Arduino, 2014).

Figura 7

Placa controladora Arduino Uno



Nota. Arduino controlada por el microprocesador ATmega328. Tomado de (Arduino, 2024).

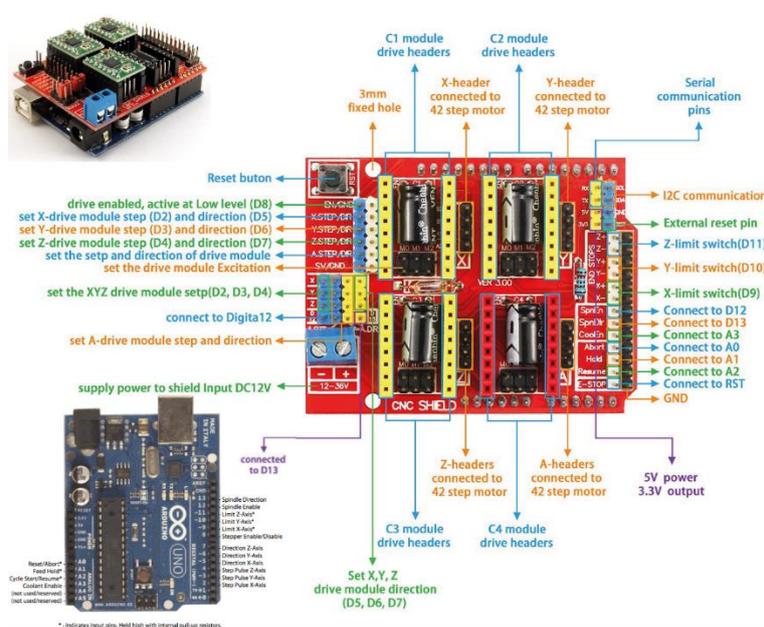
Arduino CNC Shield

El CNC Shield para Arduino uno se identifica como un módulo de expansión que es empleado principalmente en máquinas de grabado e impresión 3D lo cual facilita la construcción de una máquina CNC de un relativo bajo costo, es necesario emplearlo en conjunto con drivers que facilitan el control de motores a pasos y una respectiva fuente de alimentación capaz de abastecer todo el sistema. Al integrar el firmware GRBL para Arduino que es capaz de convertir el código G en comandos para los motores a pasos, con la capacidad de controlar 3 motores de forma independiente (X, Y, Z) y un motor adicional (A) (UNIT Electronics, 2023).

La distribución de los puertos o pines que integran el Shield CNC van directamente relacionados con los pines de Arduino Uno ya que el shield se sobrepone a Arduino integrándose en sus patas hembras y tomando las señales directamente de estas, esto se puede identificar correctamente en la siguiente figura:

Figura 8

Arduino CNC Shield



Nota. En el shield CNC normalmente se ocupa los drivers A4988 para motores a pasos.

Tomado de (Kruger, 2015).

Firmware GRBL

Un firmware como tal no es más que un software con la capacidad de manejar el hardware, en el presente caso un programa capaz de convertir código G, usado normalmente en programación CNC (control numérico por computador), para dar señal a motores a pasos a través de drivers (A4988) y mediante una tarjeta de control (Arduino).

A pesar de ser un sistema sencillo, es necesario configurar parámetros que permitirán trabajar a los motores de tal manera que no exceda ni limite sus características optimas de trabajo.

Tabla 4

Comandos de configuración de GRBL

Comando	Utilidad	Comando	Utilidad
\$ 0	Step pulse, microseconds	\$ 26	Homing debounce, milliseconds
\$ 1	Step idle delay, milliseconds	\$ 27	Homing pull off, mm
\$ 2	Step port invert, mask	\$ 30	Max spindle speed, RPM
\$ 3	Direction port invert, mask	\$ 31	Min spindle speed, RPM
\$ 4	Step enable invert, boolean	\$ 32	Lase mode, boolean
\$ 5	Limit pins invert, boolean	\$ 100	X steps/mm
\$ 6	Probe pin invert, boolean	\$ 101	Y steps/mm
\$ 10	Status report, mask	\$ 102	Z steps/mm
\$ 11	Junction deviation, mm	\$ 110	X Max rate, mm/min
\$ 12	Arc tolerance, mm	\$ 111	Y Max rate, mm/min
\$ 13	Report inches, boolean	\$ 112	Z Max rate, mm/min
\$ 20	Soft limits, boolean	\$ 120	X Acceleration, mm/sec ²
\$ 21	Hard limits, boolean	\$ 121	Y Acceleration, mm/sec ²
\$ 22	Homing cylce, boolean	\$ 122	Z Acceleration, mm/sec ²
\$ 23	Homing dir invert, mask	\$ 130	X Max travel, mm
\$ 24	Homing feed, mm/min	\$ 131	Y Max travel, mm
\$ 25	Homing seek, mm/min	\$ 132	Z Max travel, mm

Nota. La mayoría de los comandos deben ser configurados acorde a datos de palca de los motores a pasos ya que al colocar valores demasiado altos tiende a recalentarlos. Tomado de (Green, 2021).

Manufactura Aditiva

La manufactura aditiva es un método de producción digitalizada el cual consiste en fabricar objetos que han sido previamente modelados, esto se realiza mediante la deposición de capa por capa de material, hasta conformar un objeto tridimensional normalmente en plástico (Christoph y otros, 2016).

Es necesario entender que la impresión 3D es un campo dentro de la manufactura aditiva ya que existen diferentes formas de llevar a cabo este tipo de manufactura esto se puede identificar mejor en el siguiente gráfico.

Figura 9

Familias de la Manufactura Aditiva



Nota. Actualmente la manufactura aditiva forma parte de procesos de manufactura digital que han tomado auge en la revolución industrial 4.0. Tomado de (Gómez, 2022).

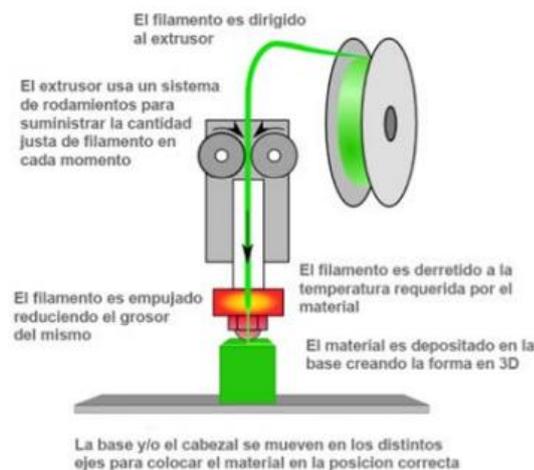
Impresión 3d

Es una tecnología relativamente nueva lanzada en 1987 por Chuck Hull de 3D Systems ocupando el método de estereolitografía. Para los años 90 y 00 surgen nuevas tecnologías como FDM de Stratasys y la SLS de 3D Systems, con precios sumamente elevados y usadas para la creación de prototipos industriales. Siendo hasta el año 2009 en

el que el comité F42 de la ASTM publica un documento con la terminología estándar sobre fabricación aditiva, estableciendo a la impresión 3D como una tecnología de fabricación industrial y es en este mismo año que se vence las patentes de FDM y surgen las primeras impresoras 3D de sobremesa de bajo costo con la ayuda del proyecto RepRap pasando de valores de más de doscientos mil dolares a no superiores a dos mil dolares. Básicamente la impresión 3D actualmente utiliza el diseño asistido por computador (CAD) con el objetivo de crear objetos físicos, esto mediante procesos aditivos, colocando capas sucesivas de material hasta formar el objeto previamente diseñado, los materiales que normalmente se usan suelen ser plástico fundido, metales o polvos (Aula21, 2021).

Figura 10

Manufactura aditiva - Impresión 3D



Nota. Explicación del proceso que se realiza para llevar a cabo la Impresión 3D. Tomado de (Christoph y otros, 2016).

Aplicaciones y Beneficios de la Impresión 3D

Es capaz de adaptarse a cientos de campos industriales, por ejemplo, los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5

Aplicaciones y Beneficios de la Impresión 3D

Aplicaciones	Beneficios específicos para el sector
Automotriz y manufactura industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Consolidación de muchos componentes en una solo pieza compleja. - Creación de herramientas para la producción. - Producción de componentes y repuestos. - Reducción de los tiempos de desarrollo de productos.
Electrónica	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación de circuitos impresos mediante la aplicación de tintas conductoras. - Fabricación de dispositivos electromecánicos a partir de planos tridimensionales.
Aeroespacial	<ul style="list-style-type: none"> - Creación de partes con geometrías complejas, no realizables con métodos de producción convencionales. - Control de propiedad del producto impreso como densidad, rigidez y otras, además de la capacidad de distribuir las en diferentes partes de una pieza. - Creación de partes más livianas, manteniendo la resistencia mecánica.
Farmacia / Medicina	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación de cirugías usando modelos anatómicos precisos, elaborados a partir de datos con tomografía (CT) o resonancia magnética (MRI). - Desarrollo de implantes ortopédicos y prótesis adaptados a las necesidades y dimensiones específicas del paciente (prótesis, audífonos, dientes artificiales, injertos óseos). - Uso de partes humanas impresas en 3D para la educación en medicina. - Impresión de tejidos vivos para realizar ensayos relacionados al desarrollo de nuevas medicinas.
Arquitectura	<ul style="list-style-type: none"> - Reemplazo de técnicas manuales para la visualización de modelos de edificios de alta precisión.
Venta al por menor	<ul style="list-style-type: none"> - Creación de juguetes, joyas, decoraciones de hogar y otros, diseños únicos. - Elaboración de repuestos, por ejemplo, para efectuar reparaciones de carros o el hogar.

Nota. Algunas aplicaciones de impresión 3D. Tomado de (Christoph y otros, 2016).

Sistemas ciberfísicos

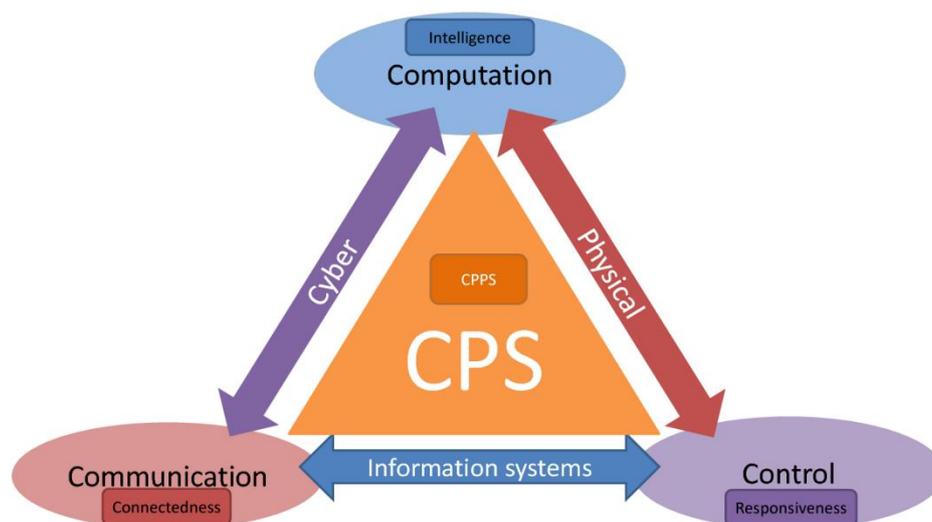
Se los puede identificar como uno de los avances más claros dentro de la industria 4.0 ya que es el resultado de la integración de computadores y elementos físicos cambiando el método que se interactúa con la ingeniería, es decir, gracias a las posibilidades que actualmente brinda la informática, los sistemas ciberfísicos son capaces de analizar la experiencia de uso de todo el sistema y a partir de este análisis es que se puede inferir en mejoras que se pueden aplicar al nuevo sistema y así incrementar su eficiencia (UNIR, 2022).

Un sistema ciberfísico como tal es capaz de integrar capacidades de computación, almacenamiento y comunicación junto con capacidades de seguimiento y/o control de objetos en el mundo físico, las características esenciales de estos son:"

- La capacidad de relacionarse con los objetos físicos para monitorizar y/o controlar
- La utilización de información disponible en el mundo virtual, pudiendo tener en algunos casos capacidad de aprender y evolucionar (Tekniker, 2024).

Figura 11

Integración de Sistemas Ciberfísicos



Nota. Sistemas Ciberfísicos, claves en el desarrollo de la industria 4.0. Tomado de (Izaro, 2023).

Aplicaciones

Con la llegada de los sistemas ciberfísicos a diferentes disciplinas de la tecnología, las aplicaciones que ha tomado más auge resultan ser:

Tabla 6

Principales aplicaciones de CPS

Principales áreas de aplicación de sistemas ciberfísicos	
Software	Se ve claramente afectado y mejorar por esta nueva tecnología, con la optimización de procesos y mayor nivel de interconexión se dispone de programas más inteligente, dinámicos y flexibles.
Servicios	Junto con el software, los servicios basados en sistemas ciberfísicos dispondrán de muchas más capacidades de infraestructura y generarán aplicaciones y productos de mayores prestaciones.
Nube	Esta tecnología le concede a la nube una dimensión más relevante pues facilita el ingreso y manejo de información.
Big Data	Facilita una mayor interconexión entre cualquier dispositivo, harán que los datos se puedan procesar o distribuir a mayor velocidad, en más cantidad, variedad y con mayor seguridad en todos los procesos.

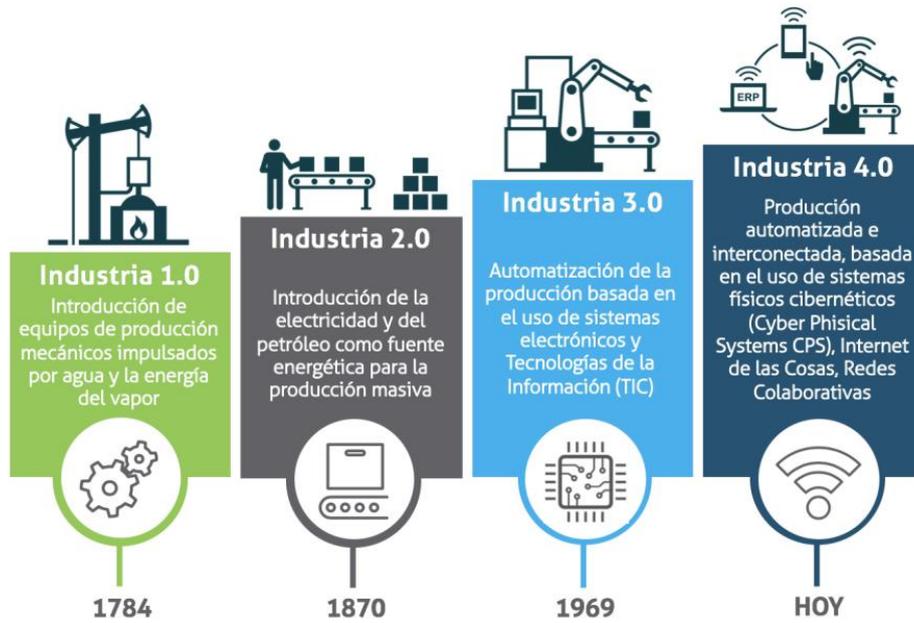
Nota. Estas aplicaciones son de carácter general ya que dentro de la empresa pueden trabajar de forma distinta, pero enfocándose en parámetros similares. Tomado de (C Tecnología para los negocios, 2016).

Industria 4.0

También es conocida como la cuarta revolución industrial, llegó para cambiar la forma en que operan negocios y sistemas industriales para mantenerse competentes. Su principal objetivo es el de combinar técnicas avanzadas de producción y operaciones con tecnologías inteligentes que se acoplen a las organizaciones, marcada por la aparición de la robótica, la analítica, la inteligencia artificial y el internet de las cosas IoT (Deloitte, 2018).

Figura 12

Revoluciones Industriales



Nota. Las revoluciones industriales han permitido alcanzar la eficacia que hoy en día conocemos dentro de las empresas y progreso social. Tomado de (Dueñas, 2019).

Capítulo III

Diseño del Concepto

En el presente capítulo se define adecuadamente el diseño que se lleva a cabo para alcanzar de forma correcta la implementación de los diferentes sistemas que integran al módulo de clasificación y transporte de elementos mediante una celda automatizada. Se empezará por especificar necesidades y selección de sistemas para solventar dichos requerimientos.

Planeación y factibilidad del diseño

Es necesario hacer uso de varias herramientas para la correcta planeación del sistema a desarrollar es por ello por lo que se ha optado el uso de matrices, tablas de selección, gráficos y parámetros de importancia.

Matriz de Selección QFD

Se expondrán los diferentes parámetros para tener en cuenta en el diseño del módulo, desde necesidades hasta especificaciones técnicas, para ello se hace uso de la matriz de selección QFD (Quality Function Deployment) o Despliegue de la Función de Calidad, la cual permitirá identificar las características que conllevará el módulo a lo largo del proceso de desarrollo.

Necesidades del Usuario. Aquí se explica los puntos o parámetros que en si requiere o busca el usuario en el presente tema, orientado a los diferentes estudiantes que asistan al Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, es esta la razón por la cual se va a resaltar temas que en si complementaria a estos alumnos.

Tabla 7*Necesidades de los Usuarios e Importancia*

Número	Necesidad	Importancia
1	Trabajo constante de sensores	4
2	Trabajo acertado del robot manipulador	4
3	Interfaz de programación amigable	2
4	Recolección de datos en tiempo real	3
5	Clasificación de elementos por tamaño	4
6	Funcionamiento correcto de la banda	5
7	Representación adecuada de normas de seguridad	4
8	Asequible y económico	5
9	Sistemas de funcionamiento libre	5
10	Mantenimiento sencillo	1

Nota. La presente tabla muestra las necesidades del desarrollo del módulo didáctico y sus respectivas importancias, siendo la menor 1 y la mayor 5.

Especificaciones Técnicas o Métricas. En este punto se identifica los parámetros detallados en base a las necesidades y se emplea métodos para cuantificar o parametrizar estos temas con la finalidad de solventar el requerimiento expuesto por el o los usuarios.

Tabla 8*Especificaciones Técnicas o Métricas*

Número	Métrica	Importancia
1	Velocidad de respuesta y lectura del sensor	5
2	Especificación de puntos de trabajo	4
3	Interfaz hombre máquina sencilla	3
4	Sistemas ciberfísicos y de monitoreo	4
5	Comunicación entre sensores y robot	5
6	Desplazamiento por secciones de la banda	4
7	Normativa y estándares en el campo industrial	4
8	Materiales disponibles en el mercado local	2
9	Sistemas basados en código abierto	4
10	Arquitectura sencilla y reemplazable	3

Nota. Las especificaciones técnicas o métricas para solventar las diferentes necesidades, su nivel de importancia varia siendo 1 el menos importante y 5 el más importante.

Grado de Correlación. Una vez se ha determinado las necesidades y a su vez las especificaciones técnicas es necesario emplear escalas para cuantificar el nivel de correlación que existen entre los puntos ya mencionados, para ello se hace referencia a la tabla 7 y a la tabla 8 que de cierta forma estandarizan en este sistema el grado jerárquico de relación.

Tabla 9

Escala de Pesos - Metodología Japonesa

Símbolo	Descripción	Valor
●	Muy correlacionados	9
○	Correlacionados	3
▲	Poco correlacionados	1
	Sin correlación	0

Nota. Tomado de QFD: Conceptos, Aplicaciones y Nuevos Desarrollos. Tomado de (Yacuzzi & Martín, 2003).

Además, con la finalidad de que se vea expresado un mejor grado de entendimiento de las métricas o especificaciones técnicas y cómo estas influyen una sobre otra, se las ha analizado mediante la escala de correlaciones como se muestra en la tabla 9.

Tabla 10

Escala de correlaciones de métricas

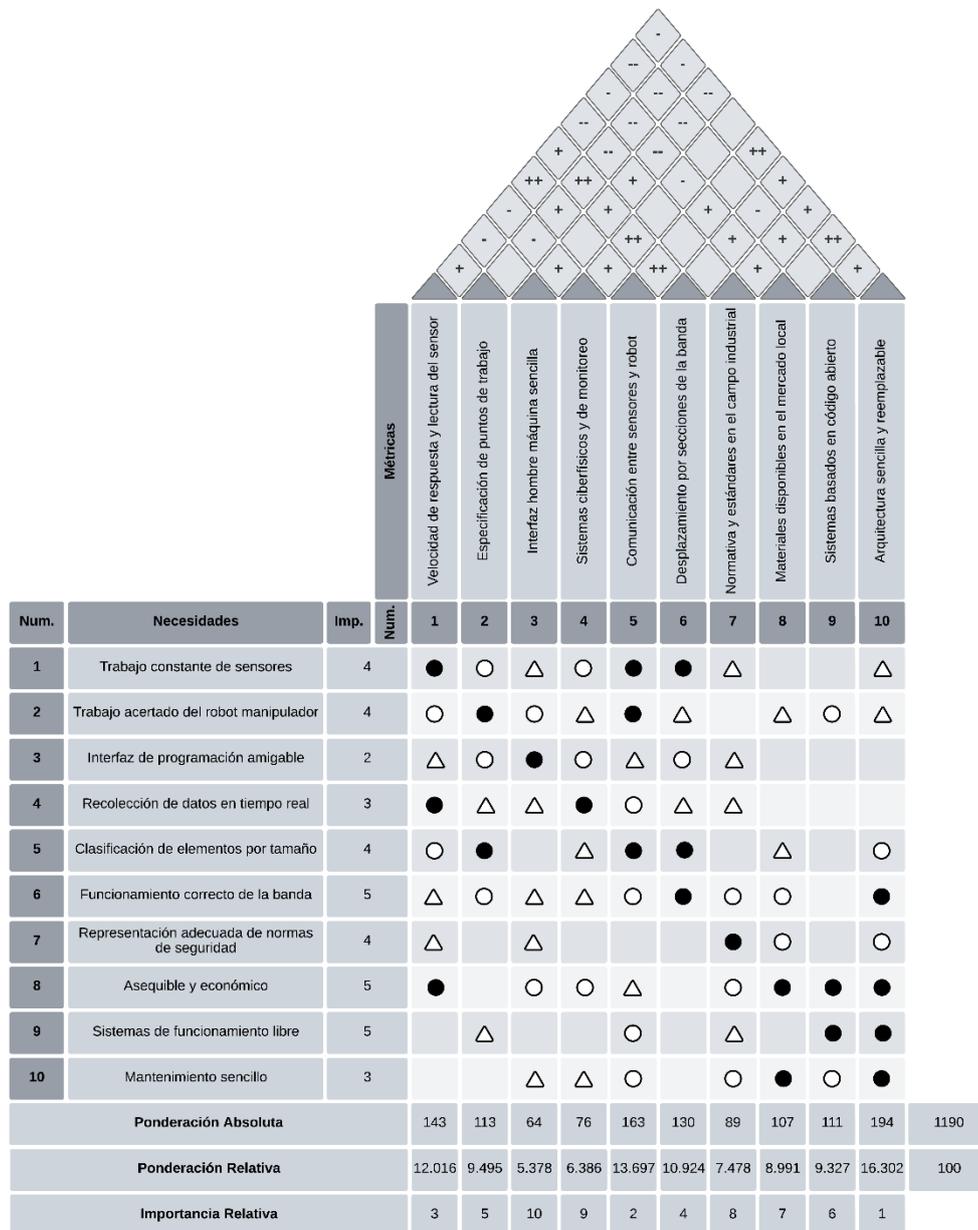
Símbolo	Relación	Valor
++	Fuerte	5
+	Moderada	4
	Débil	3
-	Muy débil	2
--	Ninguna	1

Nota. Tomado de QFD: Conceptos, Aplicaciones y Nuevos Desarrollos. Tomado de (Yacuzzi & Martín, 2003).

Finalmente se puede identificar en la Figura 1, los diferentes elementos que se han integrado en el uso de la matriz QFD y como esto afecta a la hora del diseño del módulo, en la cual se relacionan tanto necesidades como las diferentes métricas que brinda una solución técnica.

Figura 13

Matriz QFD del Módulo de Celda Robótica para Clasificación



Nota. Los resultados de la matriz, se identifica mayores y menores valores.

Una vez se han obtenido los resultados de la matriz QFD para mejorar la comprensión se puede visualizar en la siguiente tabla los resultados.

Tabla 11

Matriz QFD – Valores Resultados

Hito	Métricas	Puntaje Absoluto
1	Arquitectura sencilla y reemplazable	194
2	Comunicación entre sensores y robot	163
3	Velocidad de respuesta y lectura del sensor	143
4	Desplazamiento por secciones de la banda	130
5	Especificación de puntos de trabajo	113
6	Sistemas basados en código abierto	111
7	Materiales disponibles en el mercado local	107
8	Normativa y estándares en el campo industrial	89
9	Sistemas ciberfísicos y de monitoreo	76
10	Interfaz hombre máquina sencilla	64

Nota. Las métricas de la matriz QFD, en base a los niveles de pesos y correlación, se puede identificar cuáles son la de mayor y menor importancia.

Clasificación y Etapas de Desarrollo

Los diferentes datos obtenidos permiten que el desarrollo del proyecto alcance la factibilidad al analizar las características y sobre todo el hecho de verificar como actúan o se desenvuelven cada una de más métricas, para ello en la siguiente tabla se ha especificado o se ha clasificado por etapas el desarrollo de los diferentes hitos con el único propósito de satisfacer las diferentes necesidades del proyecto.

Tabla 12*Etapas de desarrollo del proyecto*

Núm.	Etapas	Descripción	Hitos
1	Robot manipulador	Ensamble sencillo y funcional para enseñanza.	1, 7
		Acondicionamiento de componentes eléctricos.	3
		Posicionamiento del robot.	6
2	Celda de trabajo	Diseño e implementación de banda transportadora.	4
		Lay Out del sistema.	5
		Implementación de medidas de protección para trabajo industrial.	8
3	Control y Programación	Trabajo coordinado entre robot y banda transportadora.	9, 2
		Interfaz gráfica.	10

Nota. La tabla describe el curso en el cual se dividirá el proyecto, cumpliendo los diferentes hitos y alcanzando la factibilidad de diseño e implementación de este.

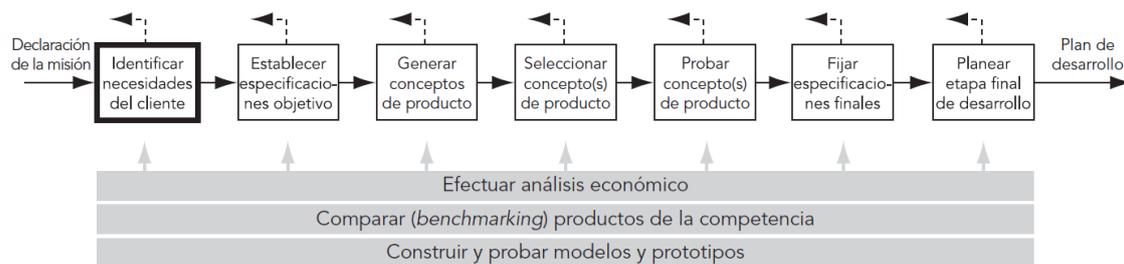
Figura 14*Etapas del Proyecto*

Nota. Las etapas de trabajo se desglosan en base a lo especificado en la **Tabla 12**.

Se puede entender que, para gestionar y empezar por el desarrollo del proyecto, inicialmente se han implementado varios parámetros o temáticas como identificar las necesidades y establecer las especificaciones objetivo las cuales se ven desglosadas y especificadas por el Diseño y desarrollo de productos (Ulrich & Eppinger, 2013), es así que por consiguiente aparece la generación del concepto o lo que resulta lo mismo, el diseño del concepto.

Figura 15

Diseño y desarrollo del concepto



Nota. La figura identifica las diferentes etapas a seguir en el desarrollo de productos.

Tomado de (Ulrich & Eppinger, 2013).

Etapa 1 – Robot Manipulador

Para el diseño e implementación del robot se ha hecho uso de fuentes de código abierto, es decir son piezas y software que está a disposición del público en general y posee la gran ventaja de que se puede modificar y mejorar acorde a la necesidad del diseñador.

De esta forma para el trabajo correcto del módulo educativo es necesario primero identificar la arquitectura o en este caso el tipo de robot que se puede implementar para llevar a cabo el desarrollo adecuado del proyecto, pues a la hora de profundizar en el campo industrial, la cantidad de robots manipuladores a elegir es alta, siendo esta la principal razón por lo que se ha realizado la selección de este como se aprecia en los próximos análisis.

Selección de Robot Manipulador

Existen varias opciones en la industria a la hora de hablar de robots manipuladores, siendo estos por ejemplo de los más implementados Robot Antropomórfico, Robot Scara, Robot Delta, Robot Cartesiano.

Siendo los mencionados de los más empleados, pero así como presentan características únicas e indispensables, cada uno de ellos presenta ciertas desventajas ya que no cuentan con las aptitudes necesarias para trabajar en ciertos ambientes.

Como primera alternativa surge el **Robot SCARA (X-SCARA)** evidentemente sin dejar de lado el requerimiento inicial que sea de código abierto y de arquitectura sencilla, posee alto nivel de precisión y el costo de fabricación es relativamente bajo en comparación a opciones disponibles en el mercado, presenta un nivel elevado de robustez y su controlador es mediante sistemas embebidos, normalmente empleado como impresora 3D pero con la capacidad de trabajo industrial ya que cuenta con tres grados de libertad.

Figura 16

Robot SCARA (X-SCARA)



Nota. La imagen identifica el robot X-SCARA de código abierto y acceso libre a tu estructura. Tomado de (Mircescu, 2021).

Como segunda alternativa surge el **Robot Antropomórfico (AR4)** el cual mantiene la característica de ser de código abierto y con grandes aptitudes para el campo industrial pues su nivel de robustez es demasiado alto, principalmente diseñado para ser mecanizado, posee seis grados de libertad.

Figura 17*Robot Antropomórfico (AR4)*

Nota. La imagen identifica al robot AR4 con seis grados de libertad y componentes mecánicos y electrónicos industriales. Tomado de (Robotics Annin, 2015).

Como tercera opción surge el **Robot Antropomórfico (Hiwonder MaxArm)**, un robot de código abierto en su programación, con diferentes módulos de control dependiendo del trabajo al cual se lo someterá, pero con la desventaja de que su estructura y sistema mecánico es con licencia privada principal motivo por el cual es de difícil acceso a repuestos físicos.

Figura 18*Robot Antropomórfico (Hiwonder MaxArm)*

Nota. La imagen representa al robot de 3 grados de libertad MaxArm con programación de código abierto y con gripper de ventosa, controlado por ESP32. Tomado de (Hiwonder, 2022).

Como cuarta y última opción aparece el **Robot Antropomórfico (20sffactory)** manteniendo la característica de ser de código abierto y con estructura de ensamble libre y asequible, posee 4 grados de libertad y dispone de la ventaja de ser manipulado por varios controladores basados en tarjetas de sistemas embebidos comunes del mercado.

Figura 19

Robot Antropomórfico (20sffactory)



Nota. La imagen representa el robot antropomórfico de 20sffactory de código abierto y 4 grados de libertad, controlado por tarjetas de sistemas embebidos y estructura libre y asequible. Tomado de (20sffactory, 2021).

Ya en consideración de las diferentes opciones de robot a implementar, el siguiente paso es la selección, mediante el cálculo de pesos específicos de varios criterios como se especificó previamente.

Para un correcto criterio de selección se ha hecho uso de la matriz de priorización la cual nos permitirá elegir la mejor opción (Betancourt, 2018) pero antes es necesario definir los valores de calificación que se podrán asignar en las diferentes casillas, siendo los siguientes:

Tabla 13*Valores de calificación*

Núm.	Valor de calificación	Descripción
1	10	El criterio de la fila es mucho más importante que el criterio de la columna.
2	5	El criterio de la fila es más importante que el criterio de la columna.
3	1	Ambos criterios son igual de importantes
4	0.2	El criterio de la fila es menos importante que el criterio de la columna.
5	0.1	El criterio de la fila es mucho menos importante que el criterio de la columna.

Nota. Tabla de valores para calificar. Tomado de (Betancourt, 2018).

Tabla 14*Criterios de selección – Robot*

CRITERIOS	Precio	Facilidad de Uso	Didáctico	Manufacturar	Total	Peso Ponderado
Precio		10	1	0.2	11.2	0.422
Facilidad de usar	0.1		1	0.2	1.3	0.049
Didáctico	1	1		1	3	0.113
Manufacturar	5	5	1		11	0.415
Total					26.5	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección del robot.

Tabla 15*Evaluación de Criterios – Precio*

PRECIO	X-SCARA	AR4	MaxArm	20sfactory	Total	Peso Relativo
X-SCARA		5	1	0.2	6.2	0.179
AR4	0.2		0.1	0.1	0.4	0.011
MaxArm	1	10		1	12	0.346
20sfactory	5	10	1		16	0.462
Total					34.6	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más económico mientras que 0.1 como mucho menos económico.

Tabla 16*Evaluación de Criterios – Facilidad de Usar*

FACIL DE USAR	X-SCARA	AR4	MaxArm	20sfactory	Total	Peso Relativo
X-SCARA		5	0.2	1	6.2	0.202
AR4	0.2		0.1	0.1	0.4	0.013
MaxArm	1	10		1	12	0.392
20sfactory	1	10	1		12	0.392
Total					30.6	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más fácil de usar mientras que 0.1 como mucho menos fácil de usar.

Tabla 17*Evaluación de Criterios – Didáctico*

DIDÁCTICO	X-SCARA	AR4	MaxArm	20sffactory	Total	Peso Relativo
X-SCARA		10	1	1	12	0.33
AR4	0.1		0.1	0.1	0.3	0.008
MaxArm	1	10		1	12	0.33
20sffactory	1	10	1		12	0.33
Total					36.3	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más didáctico mientras que 0.1 como mucho menos didáctico.

Tabla 18*Evaluación de Criterios – Manufacturar*

MANUFACTURAR	X-SCARA	AR4	MaxArm	20sffactory	Total	Peso Relativo
X-SCARA		10	5	1	16	0.405
AR4	0.1		0.1	0.1	0.3	0.007
MaxArm	0.2	10		1	11.2	0.283
20sffactory	1	10	1		12	0.303
Total					39.5	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más fácil de manufacturar mientras que 0.1 como mucho menos fácil de facturar.

Tabla 19

Consolidación de calificaciones por criterios - Robot

CALIFICACIONES	Precio	Facilidad de usar	Didáctico	Manufacturar
X-SCARA	0.179	0.202	0.33	0.405
AR4	0.011	0.013	0.008	0.007
MaxArm	0.346	0.392	0.33	0.283
20sffactory	0.462	0.392	0.33	0.303

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.

Tabla 20

Matriz de Priorización – Selección de Robot

SELECCIÓN	Precio	Facilidad de usar	Didáctico	Manufacturar	Total
X-SCARA	0.075	0.009	0.037	0.168	0.289
AR4	0.004	0.0006	0.0009	0.0029	0.0084
MaxArm	0.146	0.019	0.037	0.117	0.319
20sffactory	0.194	0.019	0.037	0.125	0.375

Nota. Para obtener estos resultados multiplicamos los pesos ponderados de la **Tabla 14** junto con los pesos relativos de la **Tabla 19**, sumamos y finalmente el robot que más alto resultado obtuvo es el que se seleccionara, en este caso es el robot de 20sffactory.

Selección del Controlador para el Robot

Una vez se ha seleccionado el robot con el cual se va a trabajar, es necesario seleccionar con que controlador se va a desenvolver, para ello se dispone de varias opciones como se ve a continuación:

Como primera opción se posiciona el **Arduino Uno ATmega328**, como lo detalla (Guerrero, 2014), dispone de 14 pines de entrada/salidas digitales, de los cuales 4 pueden ser utilizados para PWM, 6 entradas analógicas, resonador cerámico de 16MHz, voltaje de

operativo de 5 voltios, conector USB hembra y un Jack para fuente de poder con ICSP y un botón de reset.

Figura 20

Tarjeta Arduino Uno ATmega328



Nota. Arduino Uno ATmega328 con manufactura italiana. Tomado de (Guerrero, 2014).

Como segunda opción se presenta la tarjeta **ESP32**, presenta muchas facilidades y sobre todo cuenta con la característica de disponer de conexión bluetooth, se programa de forma similar a Arduino, pero no se puede acoplar directamente el módulo de control CNC.

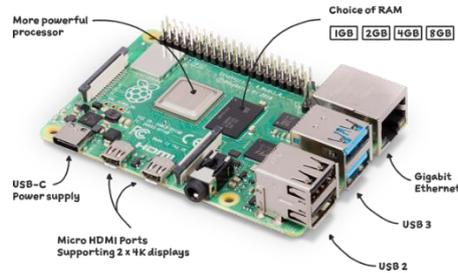
Figura 21

Tarjeta ESP32



Nota. La tarjeta ESP32 cuenta con 36 pines, normalmente usada para tecnologías IoT. Tomado de (Novatronic, 2023).

Y como tercera y última opción se presenta la tarjeta **Raspberry Pi 4** con capacidad de procesamiento bastante elevado, posee 64 bits de cuatro núcleos, conectividad Bluetooth, varios puertos USB 2.0 y 3.0.

Figura 22*Raspberry Pi 4*

Nota. Tarjeta Raspberry Pi 4. Tomado de (Raspberry Pi Ltd, 2023).

Tabla 21*Criterios de selección – Controlador del Robot*

CRITERIOS	Facilidad de programación	Didáctico	Control Motores CNC	Total	Peso Ponderado
Facilidad de programación		1	0.2	1.2	0.0693
Didáctico	1		0.1	1.1	0.0635
Control de motores CNC	5	10		15	0.867
Total				17.3	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección del controlador.

Tabla 22*Evaluación de Criterios – Facilidad de Programación*

FACILIDAD PROGRAMACION	Arduino Uno	ESP32	Raspberry Pi 4	Total	Peso Relativo
Arduino Uno		5	1	6	0.652
ESP32	0.2		1	1.2	0.13
Raspberry Pi 4	1	1		2	0.217
Total				9.2	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más fácil de programar mientras que 0.1 como mucho menos fácil de programar.

Tabla 23*Evaluación de Criterios – Didáctico*

DIDÁCTICO	Arduino Uno	ESP32	Raspberry Pi 4	Total	Peso Relativo
Arduino Uno		1	5	6	0.652
ESP32	1		1	2	0.217
Raspberry Pi 4	0.2	1		1.2	0.13
Total				9.2	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más didáctico de usar mientras que 0.1 como mucho menos didáctico de usar.

Tabla 24*Evaluación de Criterios – Control Motores CNC*

CONTROL CNC	Arduino Uno	ESP32	Raspberry Pi 4	Total	Peso Relativo
Arduino Uno		10	1	11	0.635
ESP32	0.1		0.2	0.3	0.0173
Raspberry Pi 4	1	5		6	0.346
Total				17.3	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más fácil de controlar mientras que 0.1 como mucho menos fácil de controlar.

Tabla 25*Consolidación de calificaciones por criterios – Controlador del Robot*

CALIFICACIONES	Facilidad de programación	Didáctico	Control de motores CNC
Arduino Uno	0.652	0.652	0.635
ESP32	0.13	0.217	0.0173
Raspberry Pi 4	0.217	0.13	0.346

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.

Tabla 26

Matriz de Priorización – Selección del Controlador de Robot

CALIFICACIONES	Facilidad de programación	Didáctico	Control de motores CNC	Total
Arduino Uno	0.0451	0.0414	0.55	0.6365
ESP32	0.009	0.013	0.014	0.036
Raspberry Pi 4	0.015	0.0082	0.299	0.322

Nota. Para obtener estos resultados multiplicamos los pesos ponderados de la **Tabla 21** junto con los pesos relativos de la **Tabla 25**, sumamos y finalmente el controlador que más alto resultado obtuvo es el que se seleccionara, en este caso es el Arduino Uno.

Selección de Actuadores para el Robot

Para este apartado se han expuesto varios motores que han surgido como opciones viables para darle movimiento al robot manipulador, como primera opción está el **servomotor MG995** el posee un voltaje de operación que va desde los 4 hasta los 7 voltios, su peso es relativamente bajo.

Figura 23

Servomotor MG995



Nota. Servomotor normalmente empleado para domótica y apartados electrónicos. Tomado de (Novatronic, 2023).

Como segunda opción está el motor a pasos **Nema 17HS4401**, con un máximo valor de trabajo de 1.7 Amperios, sus dimensiones son sumamente aceptables y su peso es bajo.

Figura 24*Motor a pasos Nema 17HS4401*

Nota. Motor usado normalmente para aplicaciones CNC con un costo no tan elevado.

Tomado de (Cytron Technologies, 2023).

Finalmente, la última opción a considerar es el motor a pasos **Nema 23HE30** y con un valor máximo de trabajo de 2.8 Amperios, su peso no es tan bajo y la principal desventaja es que puede desestabilizar al robot debido a que es el más pesado de todas las opciones.

Figura 25*Motor a pasos Nema 23HE30*

Nota. Motor a pasos Nema 23, las dimensiones son superiores a las del motor nema 17 y su aplicación es en el campo CNC. Tomado de (Stepper Online, 2023).

Tabla 27*Criterios de selección – Actuadores del Robot*

CRITERIOS	Torque	Voltaje de alimentación	Precio	Total	Peso Ponderado
Torque		5	1	6	0.483
Voltaje de alimentación	0.2		0.2	0.4	0.0322
Precio	1	5		6	0.483
Total				12.4	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección de los actuadores.

Tabla 28*Evaluación de Criterios – Torque*

TORQUE	MG995	Nema 17	Nema 23	Total	Peso Relativo
MG995		0.1	0.1	0.2	0.009
Nema 17	10		1	11	0.495
Nema 23	10	1		11	0.495
Total				22.2	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más torque mientras que 0.1 como mucho menos torque.

Tabla 29*Evaluación de Criterios – Voltaje de Alimentación*

VOLTAJE ALIMENTACIÓN	MG995	Nema 17	Nema 23	Total	Peso Relativo
MG995		0.2	0.2	0.4	0.0322
Nema 17	5		1	6	0.483
Nema 23	5	1		6	0.483
Total				12.4	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más voltaje mientras que 0.1 como mucho menos voltaje.

Tabla 30*Evaluación de Criterios – Precio*

PRECIO	MG995	Nema 17	Nema 23	Total	Peso Relativo
MG995		5	10	15	0.731
Nema 17	0.2		5	5.2	0.2536
Nema 23	0.1	0.2		0.3	0.0146
Total				20.5	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más económico mientras que 0.1 como mucho menos económico.

Tabla 31

Consolidación de calificaciones por criterios – Actuadores del Robot

CALIFICACIONES	Torque	Voltaje de alimentación	Precio
MG995	0.009	0.0322	0.731
Nema 17	0.495	0.483	0.2536
Nema 23	0.495	0.483	0.0146

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.

Tabla 32*Matriz de Priorización – Selección de Actuadores del Robot*

CALIFICACIONES	Torque	Voltaje de alimentación	Precio	Total
MG995	0.0043	0.00103	0.353	0.358
Nema 17	0.239	0.0155	0.1224	0.376
Nema 23	0.239	0.0155	0.00705	0.261

Nota. Para obtener estos resultados multiplicamos los pesos ponderados de la **Tabla 27** junto con los pesos relativos de la **Tabla 31**, sumamos y finalmente el actuador que más alto resultado obtuvo es el que se seleccionara, en este caso es Nema 17.

Selección de Material para Manufacturar el Robot

Para el desarrollo del brazo, es necesario que se realice la selección del material con el cual se va a manufacturar el brazo robótico, es por ello que se presentan varias opciones, la primera opción que se tiene es Manufactura Aditiva, es decir hacer uso de la tecnología 3D y emplear filamento **PLA+** ya que es un material de fácil acceso al mercado, en ciertos puntos alcanzando características casi similares al ABS, reemplazable y con características mecánicas idóneas para enseñanza, destaca su buena resistencia al impacto y la buena tenacidad que logra, además una ventaja que resalta es la facilidad de mantenimiento ya que se puede reemplazar partes solo con volver a imprimirlas y evitando gastos excesivos.

Figura 26

Filamento PLA+ - Ácido Poliláctico



Nota. Filamento con 9 kJ/m^2 de resistencia al impacto, 20% de elongación a la ruptura y con resistencia a la tracción de 63MPa, resistencia a la flexión de 74MPa y con módulo de flexión de 1913MPa, requiere temperaturas de 210 a 230°C y la cama de 45 a 60°C.

Tomado de (eSUN, 2023).

Como segunda opción aparece el filamento con mayores características mecánicas denominado **ABS**, es conocido por ser usado comúnmente en aplicaciones de alta demanda, pero con el inconveniente que tiende a ser difícil de manipular ya que exige en gran medida a las máquinas de manufactura aditiva debido a las condiciones sobre las cuales debe alcanzar para ser moldeado.

Figura 27*Filamento ABS – Acrilonitrilo Butadieno Estireno*

Nota. Filamento con 29 kJ/m² de resistencia al impacto, 22% de elongación a la ruptura y con resistencia a la tracción de 43MPa, resistencia a la flexión de 66MPa y con módulo de flexión de 1177MPa, requiere temperaturas de 230 a 270°C y la cama de 95 a 110°C.

Tomado de (eSUN, 2023).

Y finalmente como tercera opción está el **ePA**, que es un material de copolímeros de nylon de igual forma usado en aplicaciones de ingeniería que requieren demanda, pero para trabajos exigentes, posee la misma desventaja que el ABS ya que es un material difícil de moldear ya que debe alcanzar parámetros elevados que exige en gran medida a las máquinas de manufactura aditiva.

Figura 28

Filamento ePA – Nylon (Poliamida 6)



Nota. Filamento con 18.4 kJ/m² de resistencia al impacto, 175.32% de elongación a la ruptura y con resistencia a la tracción de 52.45MPa, resistencia a la flexión de 58MPa y con módulo de flexión de 1370MPa, requiere temperaturas de 250 a 290°C y la cama de 70 a 90°C. Tomado de (eSUN, 2023).

Una vez se ha descrito los diferentes elementos y las características de estos, se procede con la selección.

Tabla 33

Criterios de selección – Material de Manufactura del Robot

CRITERIOS	Imprimibilidad	Resistencia a la flexión	Disponibilidad en el mercado	Total	Peso Ponderado
Imprimibilidad		5	0.2	5.2	0.419
Resistencia a la flexión	0.2		1	1.2	0.0967
Disponibilidad en el mercado	5	1		6	0.483
Total				12.4	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección del material de manufactura.

Tabla 34*Evaluación de Criterios – Imprimibilidad*

IMPRIMIBILIDAD	PLA+	ABS	ePA	Total	Peso Relativo
PLA+		5	5	10	0.8064
ABS	0.2		1	1.2	0.0967
ePA	0.2	1		1.2	0.0967
Total				12.4	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más fácil de imprimir mientras que 0.1 como mucho menos fácil de imprimir.

Tabla 35*Evaluación de Criterios – Resistencia a la Flexión*

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	PLA+	ABS	ePA	Total	Peso Relativo
PLA+		5	10	15	0.7317
ABS	0.2		5	5.2	0.2536
ePA	0.1	0.2		0.3	0.0146
Total				20.5	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más resistente a la flexión mientras que 0.1 como mucho menos resistente a la flexión.

Tabla 36*Evaluación de Criterios – Disponibilidad en el Mercado*

DISPONIBILIDAD	PLA+	ABS	ePA	Total	Peso Relativo
PLA+		5	10	15	0.7317
ABS	0.2		5	5.2	0.2536
ePA	0.1	0.2		0.3	0.0146
	Total			20.5	1.00

Nota. Se ha tomado el número 10 como mucho más disponible en el mercado mientras que 0.1 como mucho menos disponible en el mercado.

Tabla 37*Consolidación de calificaciones por criterios – Manufactura del Robot*

CALIFICACIONES	Imprimibilidad	Resistencia a la flexión	Disponibilidad
PLA+	0.8064	0.7317	0.7317
ABS	0.0967	0.2536	0.2536
ePA	0.0967	0.0146	0.0146

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.

Tabla 38*Matriz de Priorización – Selección de Material de manufactura del Robot*

CALIFICACIONES	Imprimibilidad	Resistencia a la flexión	Disponibilidad	Total
PLA+	0.3378	0.0707	0.3534	0.7619
ABS	0.0405	0.0245	0.1224	0.1874
ePA	0.0405	0.00414	0.00705	0.05169

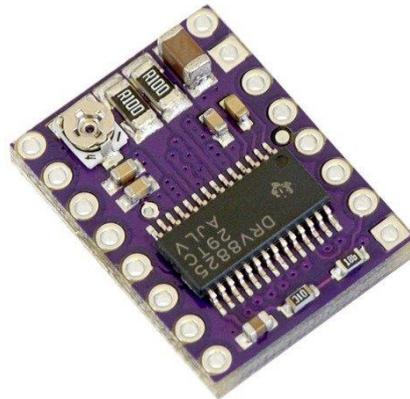
Nota. Para obtener estos resultados multiplicamos los pesos ponderados de la **Tabla 33** junto con los pesos relativos de la **Tabla 37**, sumamos y finalmente el material que más alto resultado obtuvo es el que se seleccionara, en este caso es PLA+.

Selección Drivers Motores a Pasos

Existen varias opciones al momento de controlar motores a pasos, la primera opción es el driver **DRV8825**, que es capaz de funcionar en un rango de 8.2 a 45 voltios, con la capacidad de trabajar con un consumo de corriente de hasta 2.2 amperios, pero con una refrigeración adecuada.

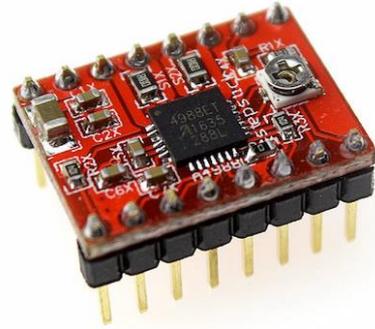
Figura 29

Driver – DRV8825



Nota. Driver para motor a pasos con capacidad de hasta 2.2 amperios. Tomado de (Grupo Electrostore, 2019).

Como segunda opción aparece el driver **A4988**, cumple la función de control de motores a pasos, con un voltaje de trabajo que entra en el rango de 8 a 35 voltios con la capacidad de trabajar con un consumo de corriente de hasta 2 amperios con la refrigeración correcta.

Figura 30*Driver – A4988*

Nota. Driver con capacidad máxima de 2 amperios para motores paso a paso. Tomado de (AV Electronics, 2023).

Finalmente, como tercera opción de driver aparece el **TB6600** un driver con la capacidad de trabajar hasta con un consumo de 4 amperios y con un rango más elevado de voltaje, desde los 9 hasta los 42 voltios, el precio de este tiende a ser mucho más elevado en comparación a los anteriores.

Figura 31*Driver – TB6600*

Nota. Driver con capacidad de hasta 4 amperios. Tomado de (Novatronic, 2023).

Tabla 39*Criterios de selección – Drivers para control de motores*

CRITERIOS	Capacidad de amperaje	Alimentación de voltaje	Precio	Total	Peso Ponderado
Capacidad de amperaje		5	1	6	0.6521
Alimentación de voltaje	0.2		1	1.2	0.1304
Precio	1	1		2	0.2173
Total				9.2	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección del driver para control de motores a pasos.

Tabla 40*Evaluación de Criterios – Capacidad de Amperaje*

CAPACIDAD AMPERAJE	DRV8825	A4988	TB6600	Total	Peso Relativo
DRV8825		1	1	2	0.3333
A4988	1		1	2	0.3333
TB6600	1	1		2	0.3333
Total				6	1.00

Nota. Se ha tomado el número 10 como mucha más capacidad de amperaje mientras que 0.1 como mucha menos capacidad de amperaje, el motor seleccionado no supera los 1.7 Amperios.

Tabla 41*Evaluación de Criterios – Alimentación de Voltaje*

ALIMENTACIÓN VOLTAJE	DRV8825	A4988	TB6600	Total	Peso Relativo
DRV8825		1	1	2	0.3333
A4988	1		1	2	0.3333
TB6600	1	1		2	0.3333
Total				6	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucha más alimentación en voltios mientras que 0.1 como mucha menos alimentación en voltios.

Tabla 42*Evaluación de Criterios – Precio*

PRECIO	DRV8825	A4988	TB6600	Total	Peso Relativo
DRV8825		0.1	1	1.1	0.0495
A4988	10		10	20	0.9009
TB6600	1	0.1		1.1	0.0495
Total				22.2	1.00

Nota. Se ha tomado el número 10 como mucho más económico mientras que 0.1 como mucho menos económico.

Tabla 43*Consolidación de calificaciones por criterios – Drivers para control de motores*

CALIFICACIONES	Capacidad Amperaje	Alimentación Voltaje	Precio
DRV8825	0.3333	0.3333	0.0495
A4988	0.3333	0.3333	0.9009
TB6600	0.3333	0.3333	0.0495

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.

Tabla 44

Matriz de Priorización – Selección de Drivers para control de motores

CALIFICACIONES	Capacidad Amperaje	Alimentación Voltaje	Precio	Total
DRV8825	0.2173	0.04346	0.0107	0.2714
A4988	0.2173	0.04346	0.1957	0.45646
TB6600	0.2173	0.04346	0.0107	0.2714

Nota. Para obtener estos resultados multiplicamos los pesos ponderados de la **Tabla 39** junto con los pesos relativos de la **Tabla 43**, sumamos y finalmente el driver que más alto resultado obtuvo es el que se seleccionara, en este caso es A4988.

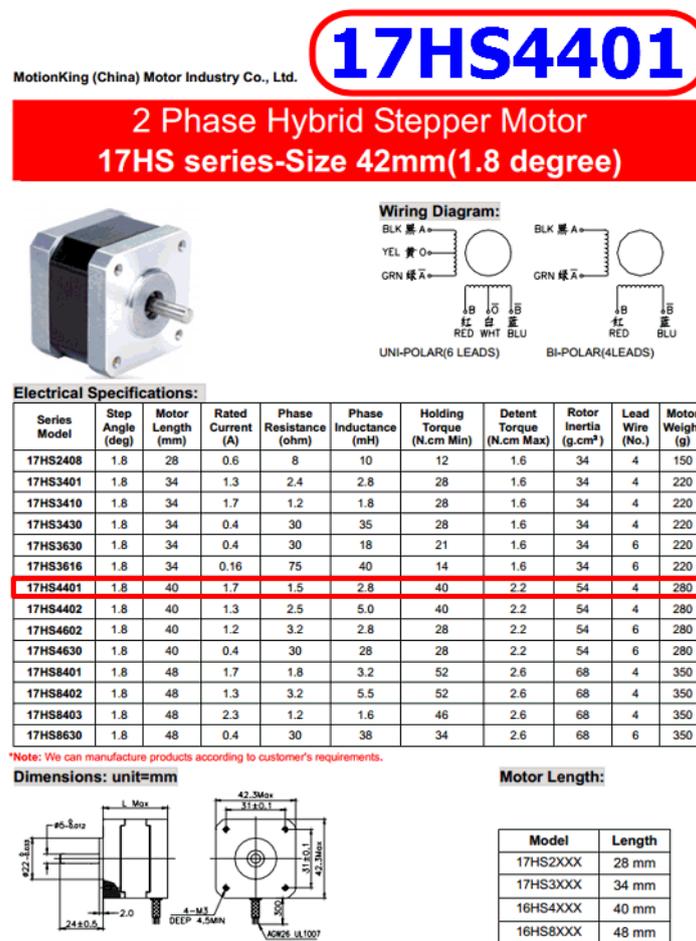
Es necesario entender que en la selección del driver ya se tiene ciertos parámetros preestablecidos debido a que ya ha sido seleccionado los motores con los que se trabajara previamente, razón por la cual en la mayoría de comparativas los valores rondan el número 1 que significa que son iguales los parámetros de comparación.

Acondicionamiento de Componentes

Motor Nema 17, Driver A4908 y CNC Shield. Una vez se ha seleccionado este motor, ha sido de suma importancia, como primer paso el identificar el requisito de energía que estos o este va a tener al momento de entrar en funcionamiento. Este requisito puede ser medido por la cantidad de corriente que el motor es capaz de llegar a consumir, de esta forma para este caso en específico el motor que se está empleando es el siguiente:

Figura 32

Datasheet – Motores Nema 17



Nota. Valores y especificaciones eléctricas para motores nema 17. Tomado de (DatasheetCafe, 2023).

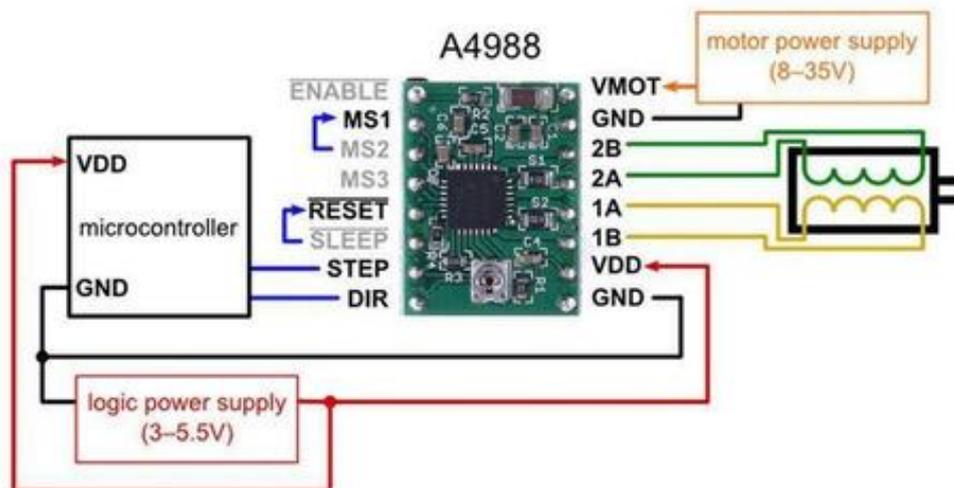
Es así como se ha identificado que el valor de corriente de los tres motores nema 17 que se incluirán en el robot consumen 1.7A (1.7 amperios) cada uno.

Debido a que el valor nominal de funcionamiento del motor no supera los dos amperios, se empleará el driver A4908, el más común para control de motores paso a paso ya que la corriente máxima con la cual este driver puede trabajar es de 2A por fase, sin dejar de lado las debidas recomendaciones de trabajo se establece el valor de trabajo a 1.7A y de esta forma no se le exige el máximo al driver permitiendo un buen enfriamiento de su circuito integrado.

Se puede entender de mejor forma las conexiones que se realizarán en el driver al ser conectado a un microcontrolador y al motor a pasos a controlar en la siguiente imagen:

Figura 33

Conexiones Driver A4988



Nota. Conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del driver. Tomado de (Cimech3D, 2023).

Fundamentalmente el driver A4988 cumple la principal característica de fijar adecuadamente cual será la corriente necesaria que consumirá el motor nema, al tratar esto se debe considerar que el motor al trabajar a una corriente inferior a su corriente nominal, este tenderá a sobrecalentarse es por ello que se debe fijar la corriente recomendada con la del driver, así se evitara cualquier inconveniente a futuro.

Mientras que al tratar de la resolución con la que este driver puede funcionar, tiende a ser por micro stepping (micro pasos), normalmente al emplear o trabajar con motores nema17 se tiene 200 pasos para efectuar un giro completo o realizar los 360 grados, mientras que al integrar el driver A4988 se puede lograr alcanzar incluso un máximo de 3200 pasos para efectuar una revolución, es decir cada paso realizará un giro de 0,1125 grados dándonos una precisión sumamente elevada para n-aplicaciones o en este caso para la función para el cual se está preparando.

Al hacer uso de un shield cnc, lo que normalmente se tiene son pines en los cuales mediante jumpers se puede habilitar los MS1, MS2 y MS3 (micropasos), mediante la siguiente tabla se puede entender cuál será la configuración que se debe emplear para obtener cierta cantidad de pasos, acorde a la necesidad requerida:

Tabla 45

Resolución de pasos – Driver A4988

Precisión	MS1	MS2	MS3
1	LOW	LOW	LOW
$\frac{1}{2}$	HIGH	LOW	LOW
$\frac{1}{4}$	LOW	HIGH	LOW
$\frac{1}{8}$	HIGH	HIGH	LOW
$\frac{1}{16}$	HIGH	HIGH	HIGH

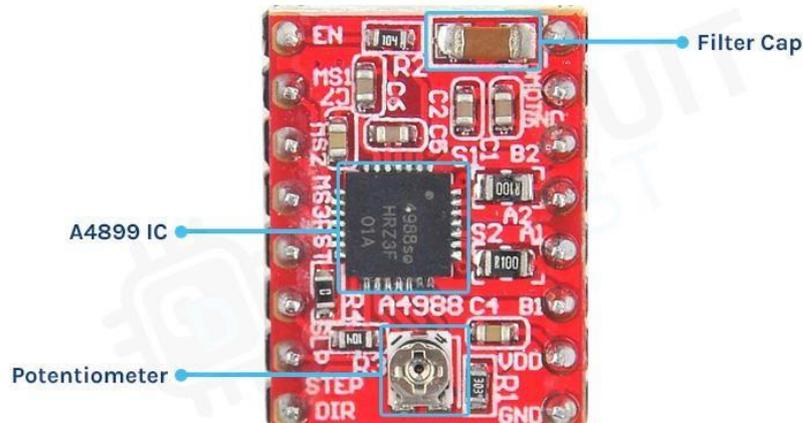
Nota. Para la actual configuración del robot manipulador se ha empleado una precisión de 1/16.

Finalmente, para que el motor nema 17 trabaje en las mejores y óptimas condiciones con el uso de su respectivo driver, se debe realizar una limitación de la corriente con la ayuda del pequeño potenciómetro fijado en la parte inferior del driver A4988. Es necesario

tener en consideración que la corriente a emplear no debe de ser la máxima capacidad del driver ya que tiende a perder pasos al momento de controlar el motor.

Figura 34

Driver A4988 - Componentes



Nota. El potenciómetro al girar en sentido horario aumenta el límite de corriente, mientras que en sentido contrario a las manecillas del reloj la disminuye. Tomado de (Das, 2023).

De igual forma, es necesario determinar cuál es valor correcto al cual se debe limitar la corriente, mediante:

$$L_c = \frac{V_{ref}}{(8Rcs)}$$

Donde:

L_c = Límite de Corriente

V_{ref} = Voltaje de referencia

Rcs = Resistencia de censado en el driver de 0.1Ω

Se debe entender que para limitar la corriente no debe de superar el máximo del motor nema que se emplea, por ello, en este caso, se fija un límite de 1,4 amperios para evitar problemas o sobrevoltajes a futuro, teniendo lo siguiente:

$$V_{ref} = (L_c)(8Rcs)$$

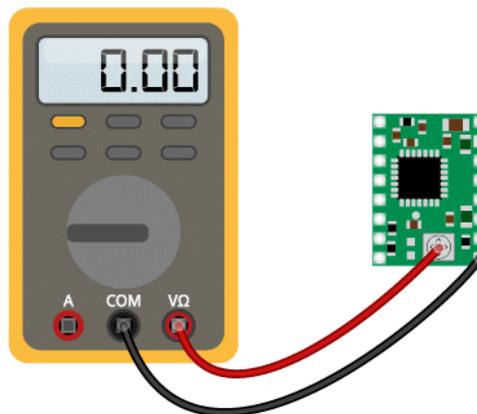
$$V_{ref} = (1.4A)(8)(0.1\Omega)$$

$$V_{ref} = 1.12v$$

Esto nos permite configurarlo de manera que siempre se mantenga una corriente de 1,4 amperios, para ellos vamos a necesitar un multímetro y mientras el driver ya se encuentra sobre la tarjeta shield y el controlador Arduino, sin olvidar que este alimentado solo el Arduino, ya podremos realizar la medición tanto en el pin GND y sobre el potenciómetro.

Figura 35

Medición de Vref



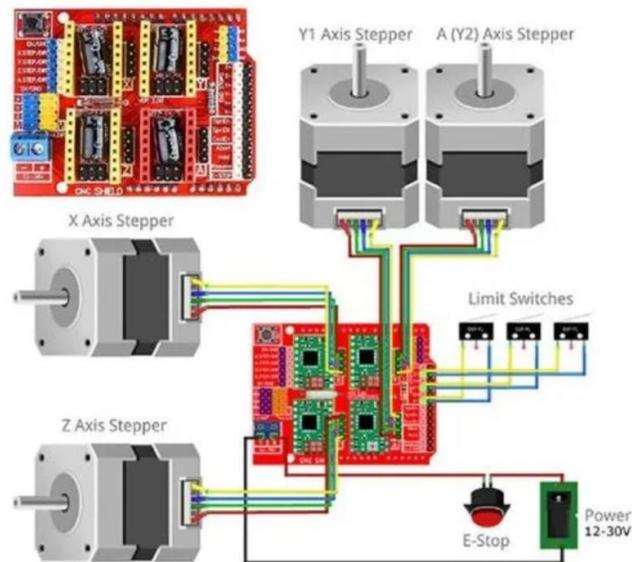
Nota. En el multímetro, para limitar la corriente a 1,4 Amperios, deberá de marcar 1.12 voltios. Tomado de (Sarta, 2020).

Como se ha mencionado, se ha usado un shield para el controlador previamente seleccionado (Arduino Uno ATmega328), el uso de esta herramienta denominada “shield” normalmente es empleada para máquinas CNC, grabado láser, impresoras 3D, etc.

En la siguiente imagen a continuación se puede visualizar un diagrama de conexiones que permite entender cómo funciona el Shield CNC para Arduino cuando es implementado en una impresora 3D.

Figura 36

Diagrama de conexiones CNC Shield Arduino



Nota. Las conexiones para el robot son de cierta forma similares a las que se ven ya que se emplea la misma arquitectura, los drivers A4988 van montados sobre este shield. Tomado de (SSDielect, 2024).

Etapa 2 – Celda de Trabajo (Celda Robótica)

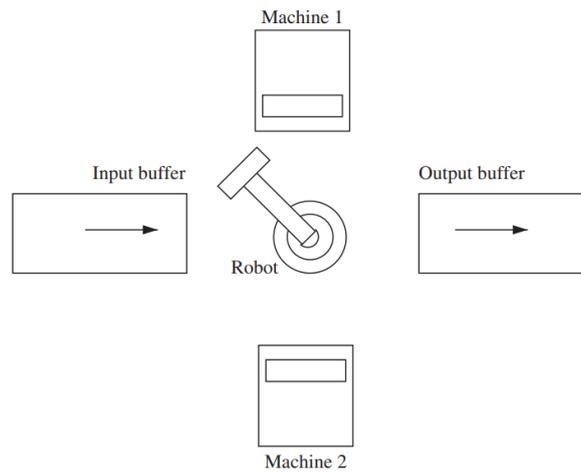
Posicionamiento del Robot (Base del Robot)

Es necesario identificar la mejor ubicación en la cual el robot va a posicionarse sobre el espacio o celda de trabajo, con la finalidad de representar un sistema integro, de fácil acceso y permita al operador (en este caso los estudiantes) adaptarse a varias opciones de trabajo.

La configuración que mejor se acopla es la de “Robot Centered” o robot centralizado en la que los diferentes elementos, piezas o maquinas se sitúan a su alrededor, normalmente esta configuración se implementa cuando se dispone de un robot industrial y es capaz de proporcionar movimiento o funcionalidades a los demás elementos que se integran a la celda.

Figura 37

Celda de manufactura – Tipo Robot Centralizado - Ejemplo

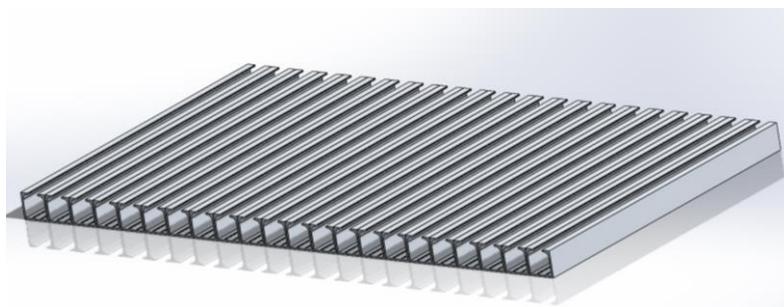


Nota. La Celda robótica que representa la imagen, ilustra el modo de funcionamiento y distribución para Robot Centralizado. Tomado de (Gultekin y otros, 2008).

El área de trabajo sobre el cual se va a montar toda la celda es de 40cm x 72cm y consiste en un sistema conformado con barras de tubo cuadrado de aluminio en el cual existe mayor facilidad para montar los diferentes elementos que se integran en la celda.

Figura 38

Área de trabajo – Base Perfiles de Aluminio 6061



Nota. La imagen representa la superficie o área donde los diferentes elementos se integrarán para formar la base de la celda de manufactura, hecha en material de aluminio 6061.

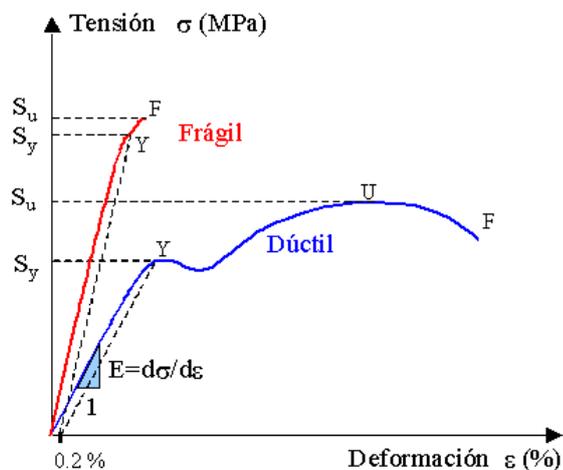
Criterio de Von Mises – Base Módulo y Perfiles de Aluminio

Debido a que la estructura montada de perfiles de aluminio es la que soportará la mayoría de los elementos que integran la celda y a su vez es la base del robot, es necesario verificar que soportara las diferentes cargas, para ello se emplea el criterio de Von Mises.

El criterio de Von Mises o también llamado como criterio de máxima energía de distorsión, no es más que un criterio de resistencia estática que se lo aplica a materiales dúctiles, en el cual el material no fluirá en el punto analizado siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen en el punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen que se da en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción (Mora, 2022).

Figura 39

Curva de Tensión vs Deformación en Ensayos de Tracción

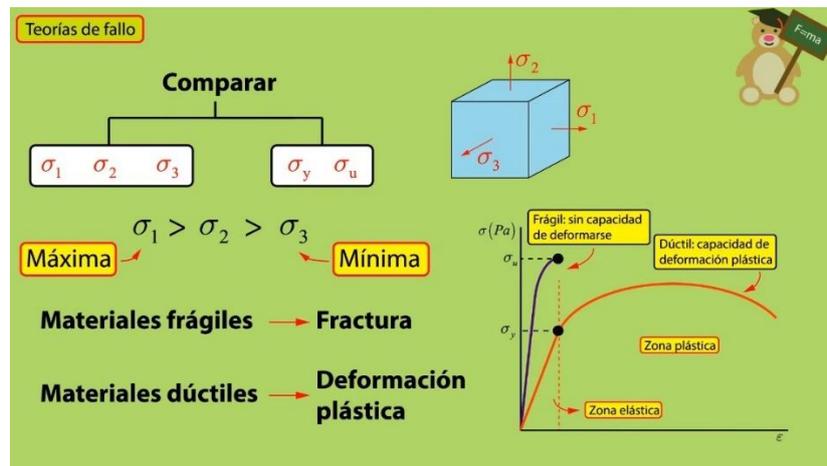


Nota. S_y (límite de fluencia), S_u (límite de rotura), F (punto de fractura), E (Módulo de Young). Tomado de (Rodríguez, 2022).

Esta es una teoría de fallo que compara las diferentes tensiones $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ con las tensiones o propiedades mecánicas obtenidas en pruebas o ensayos conocidos sobre el material σ_y, σ_u (tensión límite de fluencia S_y , tensión límite de rotura S_u).

Figura 40

Principio de Teoría de Fallo - Von Mises



Nota. Las tensiones 1, 2 y 3 son las tensiones principales mientras que la tensión y es la tensión de límite elástico para materiales dúctiles y la tensión u para materiales frágiles. Tomado de (Ingeniosos, 2023).

La fórmula que representa el criterio de Von Mises, es la comparación de la tensión de Von Mises con la tensión límite a la fluencia, es decir:

$$\sigma_{VM} < S_y$$

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} < S_y$$

Y de igual forma nos permite obtener el coeficiente de seguridad, el cual nos permitirá identificar cuando el sistema es apto para soportar las tensiones a las que se le somete:

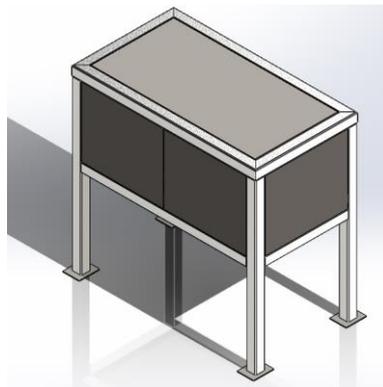
$$n_s = \frac{S_y}{\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

Debido a la gran cantidad de puntos que hay que analizar, resulta conveniente realizarlo mediante software de modelado 3D, es necesario tener en cuenta que para el montaje de la celda robótica en primer lugar se debe diseñar el módulo sobre el cual va a ir montado el sistema, el cual es el siguiente:

Figura 41

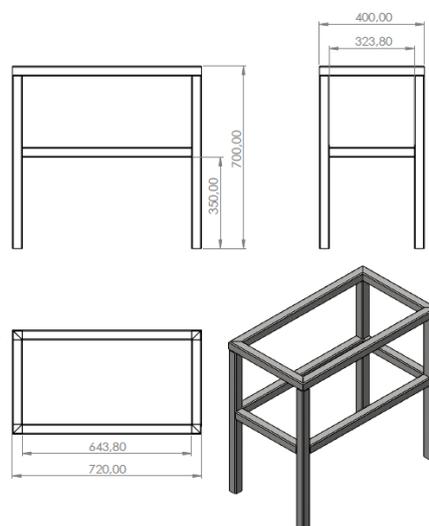
Módulo 4 – Estructura Base



Nota. Los tubos son cuadrados de pulgada y media en material de acero al carbono, los paneles laterales, base, superior e inferior son Tol Negro de acero al carbono 1023.

Figura 42

Medidas del Módulo 4

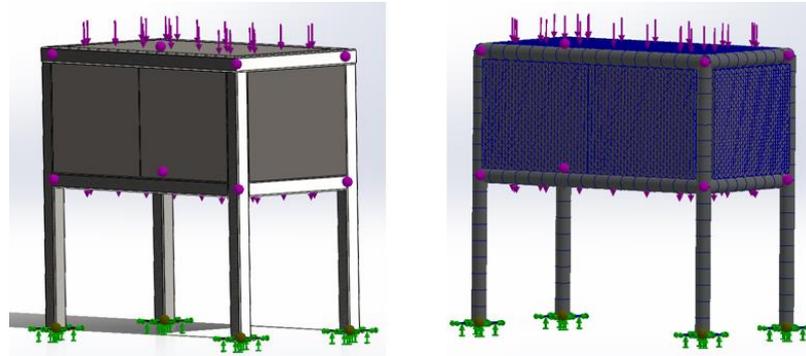


Nota. Las medidas se encuentran en milímetros y las uniones, todas, están soldadas.

Una vez se encuentra listo el módulo se procede a realizar el análisis estático mediante elementos finitos, como se muestra a continuación:

Figura 43

Fijación, Carga y Mallado en el módulo



Nota. La fijación se la realiza en las patas y la fuerza aplicada es de 100 Newtons en la parte superior mientras que de 30 Newtons en la parte interna.

Es necesario entender que la fuerza que se le está aplicando en el módulo es en base a los elementos que se montan sobre el mismo, los pesos de los diferentes elementos se detallan a continuación:

Tabla 46

Elementos y sus pesos en el módulo

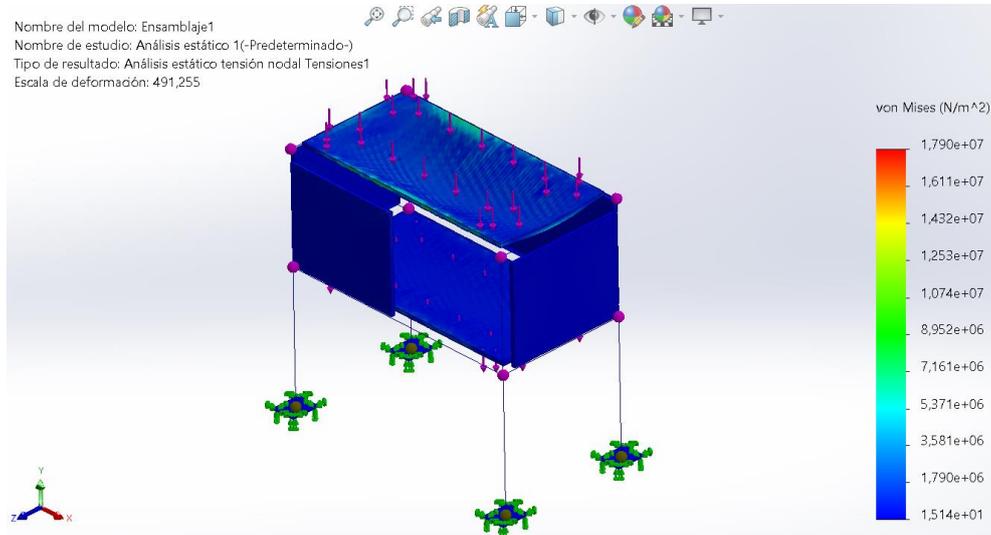
Componentes	Pesos (gramos)
Robot Manipulador	1500 g
Banda Transportadora 1	1200 g
Banda Transportadora 2	1200 g
Cableado	1500 g
Controladores	800 g
Otros	300 g

Nota. Dando un total de 6.5 kilogramos (63.77 Newtons) y debido a que puede llegar a existir variaciones en los pesos se ha optado por tomar una fuerza de 100 Newtons (10.19kg) en la superficie y en caso de almacenamiento interno 30 Newtons (3.06kg) adicionales.

De esta forma se realiza el análisis de elementos finitos en el cual se emplea el criterio de Von Mises:

Figura 44

Criterio de Von Mises Software



Nota. El valor máximo de tensión mediante Von Mises es de 17.9 MPa.

Para obtener su factor de seguridad es necesario identificar el dato de límite de fluencia del acero al carbono:

$$S_y = 248.168 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM} = 17.9 \text{ MPa}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

$$n_s = \frac{248.168}{17.9}$$

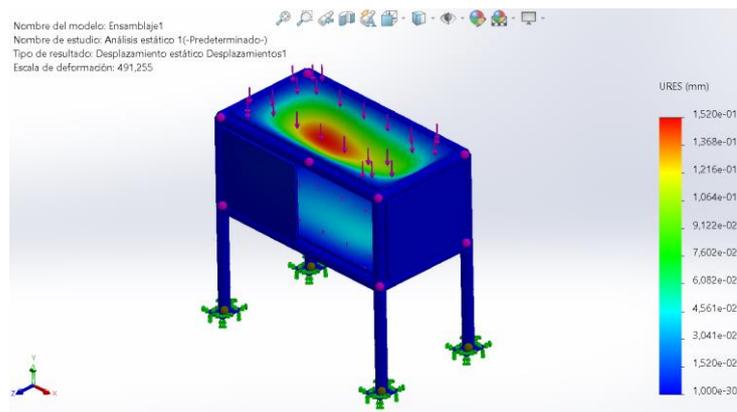
$$n_s = 13.864$$

Obteniendo como resultado un Factor de seguridad de 13, resultando ser un valor alto, dando la confianza de que no existirá ningún problema a la hora de implementar cualquier componente sobre el módulo.

De igual forma, el análisis de elementos finitos nos identifica el desplazamiento estático máximo y su deformación unitaria estática máxima.

Figura 45

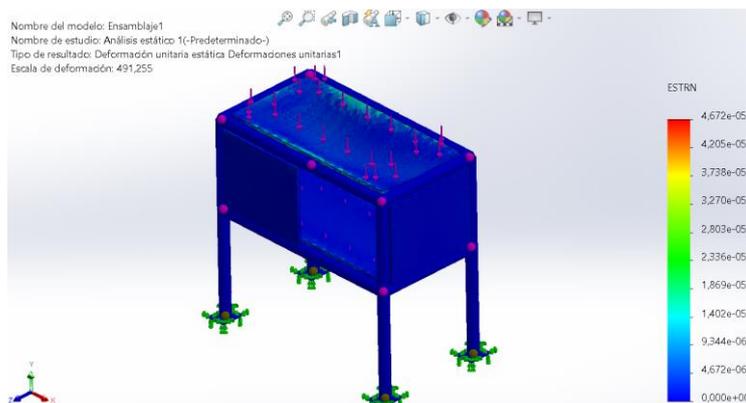
Desplazamiento Estático del Módulo



Nota. El desplazamiento máximo se aprecia que es en el centro del módulo y es de 0.152 milímetros.

Figura 46

Deformación unitaria estática del módulo

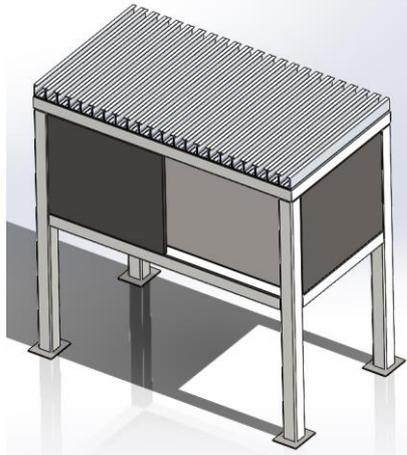


Nota. La deformación unitaria máxima en el análisis es de 0.00004672.

De hecho, debido a que el sistema consta de una mesa de perfiles de aluminio es necesario realizar el análisis para este sistema:

Figura 47

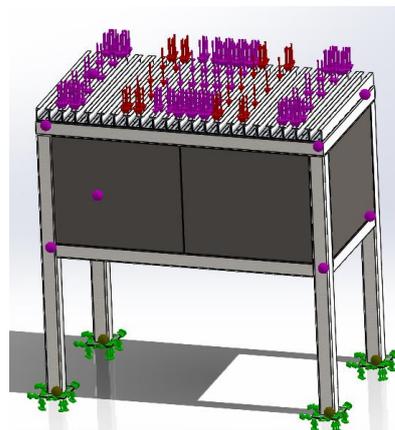
Módulo y perfiles de aluminio



Nota. Los perfiles son de aluminio 6061 y se fijan en la parte superior del módulo.

Figura 48

Fijaciones y Cargas en el módulo con perfiles de aluminio

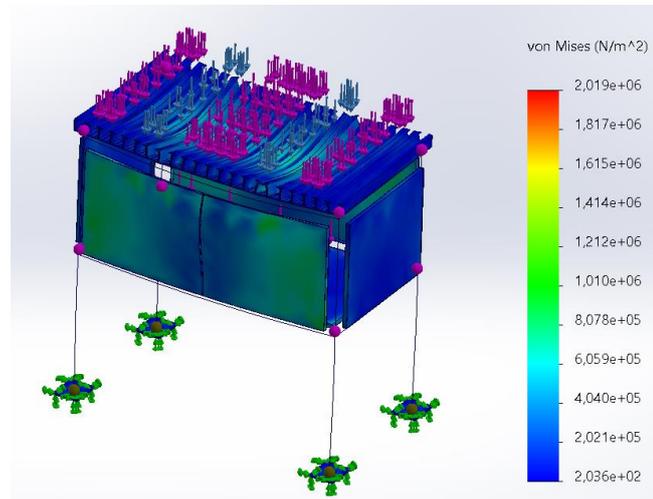


Nota. La fuerza que se ha fijado en el centro pertenece al robot y se ha fijado en 15 Newtons, mientras que las laterales son de 12 Newtons cada una, considerando el caso de seguridad de una persona de 100N sobre el módulo.

Finalmente, el resultado del análisis de elementos finitos con criterio de Von Mises en el módulo adjunto los perfiles de aluminio y con cargas del robot y bandas transportadoras indica:

Figura 49

Análisis Elementos Finitos en Módulo con perfiles



Nota. Debido a que presenta deformaciones mínimas se realiza el análisis en caso de seguridad si un operario o usuario se sube al módulo, registrando tensión máxima que registra es de 2.019 MPa.

Con los datos obtenidos se identifica el factor de seguridad, el cual indica si es factible o no su implementación para ello primero se identifica el límite de fluencia en el aluminio 6061:

$$S_y = 55.1485 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM} = 2.019 \text{ MPa}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

$$n_s = \frac{55.1485}{2.019}$$

$$n_s = 27.31$$

Obteniendo un factor de seguridad de 27, indicando que la mesa resistirá sin ningún problema las cargas que se le aplica y tiene un nivel de confianza bastante elevado.

Garra o Efector final del Robot

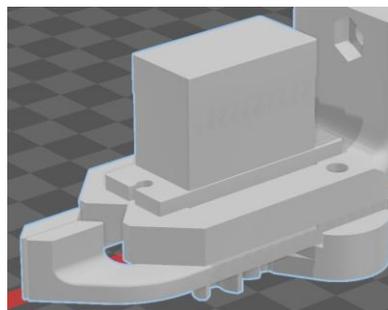
El efector final del robot no es más que la pieza que se posiciona en el extremo del brazo y es la que interactúa directamente con el entorno, su principal requerimiento es que sea capaz de manejar elementos acordes a la aplicación para la cual fue seleccionado el robot, para ello es necesario considerar tamaños, forma, capacidad y sobre todo que sea capaz de cumplir para lo que se la necesita, es por ello por lo que normalmente son pinzas o un análogo a la mano humana.

De esta forma es que se emplea una garra de uso general que permitirá el transporte de pizzas o elementos en base a las necesidades del usuario, que en el presente caso son los alumnos de la carrera de mecatrónica.

Para cumplir la función de Pick & Place, se empleará el siguiente efector final o garra que es ideal para la aplicación que se le está dando al robot.

Figura 50

Garra o Efector final del robot

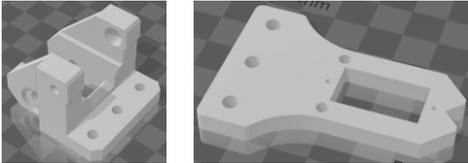


Nota. La pinza que se emplea es capaz de tomar objetos y posicionarlos según la necesidad, además brinda la capacidad de ser empleada mediante un micro servomotor.

Con la finalidad de entender su selección se emplea la siguiente tabla en la cual se identifica el proceso de selección:

Tabla 47

Parámetros de Selección de Efector Final

Parámetro de Selección	Importancia
Tamaño	<p>El tamaño de la pinza es el ideal pues permite cumplir la función de un pick & place sencillo, apertura de 80 grados y con capacidad de presión de un área de 9 cm².</p> 
Funcionalidad	<p>Capaz de transportar elementos de un punto a otro con facilidad, su estructura facilita el agarre y no estorba durante el transporte.</p> 
Material	<p>El material sigue el mismo del robot, pues es de código abierto y se manufactura con impresión 3D en PLA+.</p>
Instalación	<p>La sección final del robot dispone de orificios por los cuales se monta la pinza respectiva, así la base de la pinza se monta sin ningún problema en el robot y se ajusta con 3 pernos y 3 tuercas.</p> 
Precio	<p>Debido a que es impresión 3D, su tiempo de impresión estimado es de 2 horas y 10 minutos, haciendo uso de 15 gramos de material, con un precio de \$0.20 el gramo, resulta un valor final de \$3.00 dólares.</p>

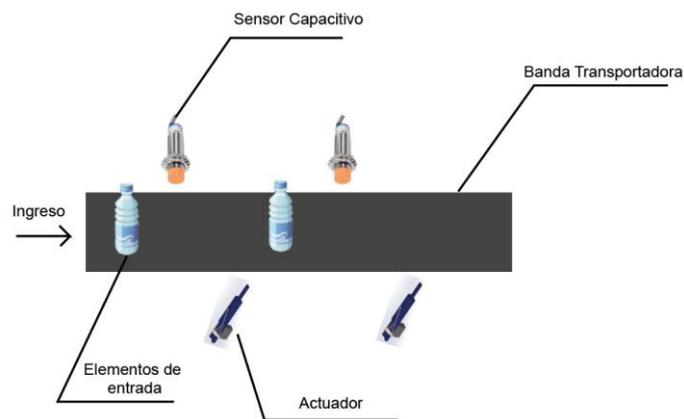
Nota. Debido a la funcionalidad de ser usada con un micro servomotor, aligera al robot permitiéndole trabajar con completa normalidad.

Diseño de Banda Transportadora

Para el ingreso de piezas al módulo de transporte y clasificación es necesario el uso de la banda transportadora, la banda constará de actuadores y sensores, se puede entender de la siguiente forma:

Figura 51

Elementos y Banda Transportadora

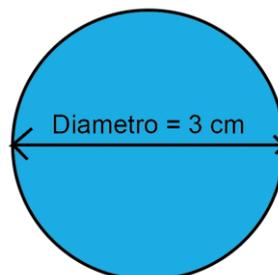


Nota. El diagrama representa las diferentes etapas que realizara la banda transportadora.

Longitud y Ancho Requerido. Debido a que los objetos de entrada son botellas pequeñas se considera su área transversal como un círculo de 3 cm de diámetro.

Figura 52

Área Transversal - Elementos de entrada en la banda



Al verificar el ancho de la banda, debe de abarcar el ancho de los elementos de entrada, a su vez un área de detección para los sensores, de esta forma se considera que:

Diámetro de Pieza	$D_p = 3 \text{ cm}$
Distancia de separación	$ds = 1.5 \text{ cm}$
Etapas en banda	$eb = 4$
Zona de seguridad	$zn = 2 \text{ cm}$
	$deb = 2ds + D_p + zn$
Distancia entre etapas	$deb = 2(1.5) + 3 + 2$
	$deb = 8 \text{ cm}$

De esta forma la longitud necesaria para que se ejecute las diferentes etapas en la banda transportadora serian:

	$L = deb \cdot (eb)$
Longitud de banda	$L = 8 \text{ cm} \cdot 4$
	$L = 32 \text{ cm}$

Es necesario considerar un pequeño margen de error en la banda, este margen corresponderá tanto para rodillos o los acoples inicial y final, resultando lo siguiente:"

Error por lado	$error = 2.5 \text{ cm}$
	$error_{total} = 2(error)$
Error total	$error_{total} = 2(2.5 \text{ cm})$
	$error_{total} = 5 \text{ cm}$

Dando como resultado la longitud final en la banda de:

	$L_{final} = L + error_{total}$
Longitud final de banda	$L_{final} = 32 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$
	$L_{final} = 37 \text{ cm}$

De la misma forma, para obtener el ancho total de la banda se debe de considerar las piezas de ingreso y a su vez la distancia de separación de sus alrededores, de esta forma se tiene que:

Ancho en banda

$$A = Dp + 2ds$$

$$A = 3\text{ cm} + 2(1.5\text{ cm})$$

$$A = 6\text{ cm}$$

En base a los parámetros obtenidos tanto en longitud y ancho, en base al catálogo de Perfiles CNC se ha optado por seleccionar el siguiente:

Figura 53

Perfil CNC Aluminio V 2060

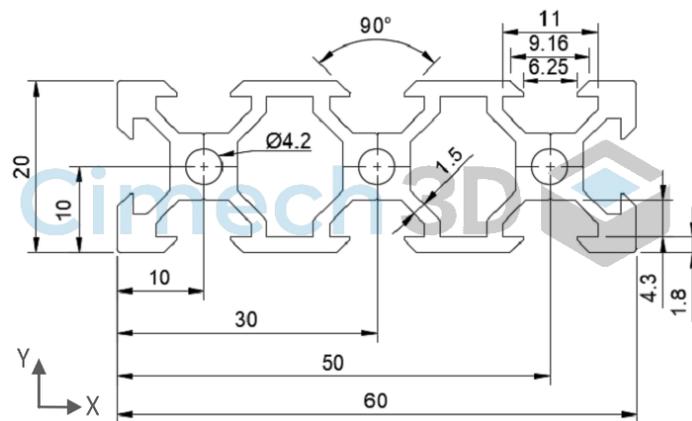


Nota. Perfil CNC extruido en aluminio 6063 T5, longitud total de 1 metro, 6 centímetros de ancho y 2 centímetros de alto. Tomado de (Perfiles CNC Importadora, 2024).

Soporte de banda transportadora. Para ejecutar un análisis correcto de la banda es necesario identificar la sección transversal del perfil de aluminio, los datos proporcionados por tablas del material seleccionado y su respectivo calculo en base a las fuerzas aplicadas.

Figura 54

Sección Transversal del Perfil CNC



Nota. Las medidas representadas son las que tiene el perfil. Tomado de (Cimech3D, 2022).

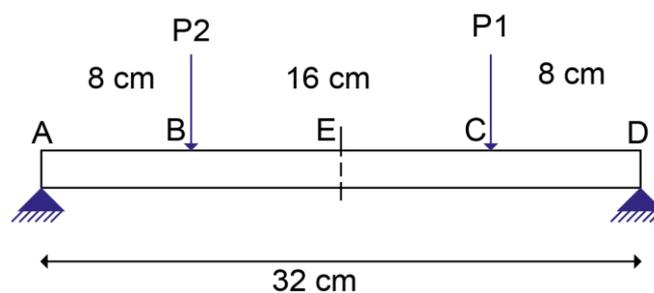
Las características físicas del material también son conocidas, las cuales son importantes para obtener factor de seguridad y resistencia de la viga:

Tabla 48*Perfil CNC Aluminio V 2060*

Perfil CNC Aluminio V 2060	
Tipo de Perfil	V-Slot
Serie	2060
Material	Aluminio
Grado	6063-T5
Acabado	Anodizado
Color	Negro
Ancho (W)	60 mm
Alto (H)	20 mm
Momento de Inercia I_x	$17.622 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Momento de Inercia I_y	$149.336 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Esfuerzo de fluencia	145 MPa
Módulo de elasticidad	69.9 GPa
Peso por metro	1.32 kg/m

Nota. Características físicas del aluminio 6063-T5. Tomado de (Cimech3D, 2023).

Con todos los datos previos se da paso al estudio mecánico de la viga en la banda transportadora, teniendo 4 etapas en la banda lo más probable es que se llegue a encontrar el siguiente caso:

Figura 55*Análisis Viga - Banda transportadora*

Nota. Viga simplemente apoyada con dos pesos.

El peso de las piezas que van ingresando a la banda transportadora es de aproximadamente 200 gramos de esta forma se puede obtener los respectivos pesos.

$$P_1 = m \cdot g$$

Peso 1

$$P_1 = 0.2 \text{ kg} \cdot 9.82 \text{ m/s}^2$$

$$P_1 = 1.964 \text{ N}$$

Peso 2

$$P_1 = P_2$$

$$P_2 = 1.964 \text{ N}$$

De igual forma es necesario identificar el momento de inercia, esto se realiza mediante cálculo de área transversal, pero gracias a los datos del fabricante se tiene los valores exactos.

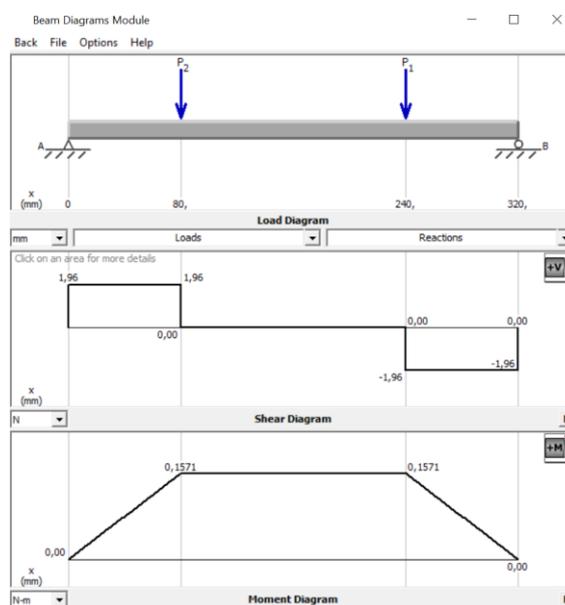
Momento de Inercia

$$I = 17.622 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

Con la ayuda del programa MDSolids se obtiene los datos de fuerzas cortantes y de momentos flexionantes.

Figura 56

Diagrama de Cargas, Fuerzas Cortantes y Momentos Flexionantes



Nota. Diagramas obtenidos al insertar los datos en el programa MDSolids.

Aplicando la fórmula de esfuerzo máximo por flexión se obtiene que:

$$\text{Esfuerzo máximo} \quad \sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I}$$

Donde:

M = momento flexionante en la sección de interés

c = distancia del eje centroidal de la viga

I = momento de inercia de la sección transversal

$$\sigma_{max} = \frac{(0.1571Nm)(10mm)}{17.622 \times 10^{-9} m^4} \cdot \frac{10^3 mm}{1m} \cdot \frac{1m^4}{1000^4 mm^4}$$

$$\sigma_{max} = 0.08914 N / mm^2$$

$$\sigma_{max} = 0.08914 MPa$$

Una vez se ha obtenido el esfuerzo máximo se puede identificar el factor de seguridad al momento de emplear este perfil para la banda transportadora de la siguiente forma:

$$\text{Factor de Seguridad} \quad n_s = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

Donde:

$$\text{Limite a la fluencia} \quad S_y = 145 MPa$$

Considerando un factor de seguridad de 2 se obtiene que:

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

$$n_s = 2$$

El esfuerzo de diseño al tomar 2 como factor de seguridad:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{n_s}$$

$$\sigma_d = \frac{145MPa}{2}$$

$$\sigma_d = 72.5MPa$$

Considerando el principio de esfuerzo permisible en el que el esfuerzo de diseño debe de ser mayor o igual al esfuerzo calculado, se puede garantizar un diseño seguro, de la siguiente forma:

$$\sigma_d = \sigma_{permisible}$$

$$\sigma_d \geq \sigma_{max}$$

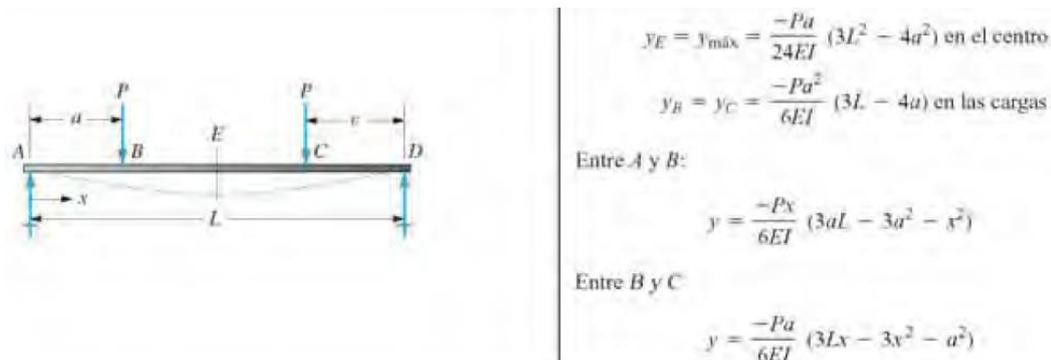
$$72.5MPa \geq 0.08914MPa$$

Con este resultado se afirma que el sistema es completamente seguro ya que el esfuerzo de diseño o permisible es muchísimo mayor al esfuerzo máximo calculado.

Además, con la finalidad de determinar deformaciones o posibles flexiones excesivas, se calcula también el valor máximo de flexión en la viga tanto para los puntos B, C y su punto de mayor flexión E, para ello se emplea los datos de la siguiente figura:

Figura 57

Fórmulas para determinar la deflexión de vigas simplemente apoyadas



Nota. Este es el caso (c) expuesto en la tabla A-23 de Resistencia de Materiales de Robert L. Mott. Tomado de (Mott, 2009).

El cálculo de la flexión para B como para C es el mismo por ello se tiene que:

$$y_B = y_C$$

$$y_{B,C} = \frac{-Pa^2}{6EI}(3L - 4a)$$

$$y_{B,C} = \frac{-(1.964N)(8cm)^2}{6(69.9GPa)(17.622 \cdot 10^{-9}m^4)}(3(32cm) - 4(8cm))$$

$$y_{B,C} = \frac{-(1.964N)(80mm)^2}{6(69900MPa)(17.622 \cdot 10^{-9}m^4)}(3(320mm) - 4(80mm))$$

$$y_{B,C} = \frac{-(1.964N)(6400mm^2)}{6\left(69900\frac{N}{mm^2}\right)(17622mm^4)}(640mm)$$

$$y_{B,C} = -1.08847337 \cdot 10^{-3}mm$$

$$y_{B,C} = -0.00108847337mm$$

Se identifica que la flexión indica dirección negativa, es decir esta hacia abajo y el valor que se deforma, tanto para el punto B como C es minúsculo sin que llegue a afectar el funcionamiento de la banda transportadora.

De la misma forma, es necesario identificar la flexión máxima en milímetros que puede sufrir la viga, esto se da en el punto E, para ello se parte de la siguiente formula:

$$y_E = y_{max}$$

$$y_E = \frac{-Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$$

$$y_E = \frac{-(1.964N)(8cm)}{24(69.9GPa)(17.622 \cdot 10^{-9} m^4)} (3(32cm)^2 - 4(8cm)^2)$$

$$y_E = \frac{-(1.964N)(80mm)}{24(69900MPa)(17.622 \cdot 10^{-9} m^4)} (3(102400mm^2) - 4(6400mm^2))$$

$$y_E = \frac{-(1.964N)(80mm)}{24 \left(69900 \frac{N}{mm^2} \right) (17622mm^4)} (281600mm^2)$$

$$y_E = -1.496650884 \cdot 10^{-3} mm$$

$$y_E = -0.001496650884mm$$

De esta forma se identifica que la mayor flexión, que se encuentra en el punto E, es un valor sumamente pequeño asegurando que la banda transportadora trabajara sin problema alguno.

Eje Motriz de Banda transportadora. Partiendo del diagrama que se visualiza en la **Figura 55** se obtienen las reacciones sobre la viga de la siguiente forma:

$$\sum Fy = 0$$

$$RA - P2 - P1 + RD = 0$$

$$RA - 1.9664N - 1.9664N + RD = 0$$

$$RA + RD = 3.9328N$$

$$\sum MA = 0$$

$$P2(80mm) + P1(240mm) - RD(320mm) = 0$$

$$(1.964N)(80mm) + (1.964N)(240mm) = RD(320mm)$$

$$RD = \frac{(1.964N)(80mm) + (1.964N)(240mm)}{(320mm)}$$

$$RD = 1.964N$$

Finalmente, las reacciones en el punto D como en el punto A son:

$$RA + RD = 3.9328N$$

$$RA + 1.964N = 3.9328N$$

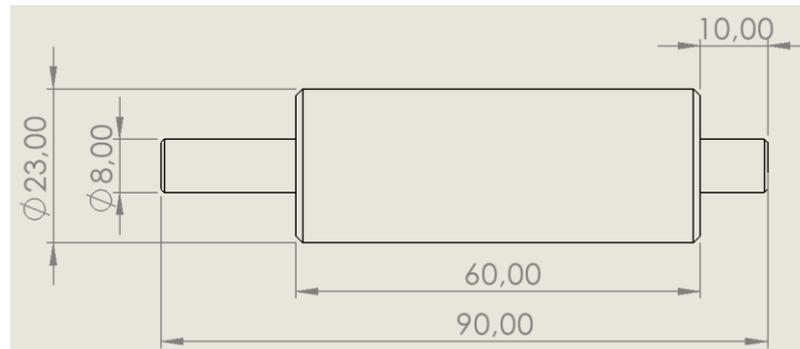
$$RA = 3.9328N - 1.964N$$

$$RA = 1.968N$$

Estos valores confirman lo obtenido en MDSolids en la **Figura 56**, y gracias a este mismo programa se determina el momento flexionante máximo el cual es:

$$M_{max} = 0.1571Nm$$

A continuación, se ha especificado la geometría que tendrá el eje motriz, o en otras palabras el eje que se encarga de transmitir el movimiento del motor a la banda.

Figura 58*Eje Motriz de la Banda Transportadora*

Nota. Las medidas mostradas en el plano estan en milímetros y ha sido diseñado en un software CAD.

Con los datos del eje o flecha se puede obtener la concentración de esfuerzos en miembros sometidos a torsión, primero se obtiene los coeficientes al obtener la relación de sus diámetros de la siguiente forma:

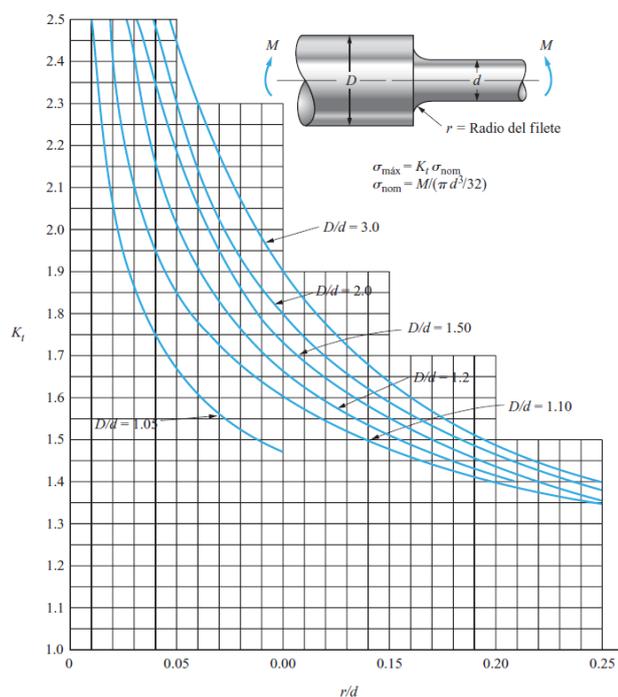
$$\frac{D}{d} = \frac{23}{8} = 2.875$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.4}{8} = 0.05$$

Obtenidos los coeficientes se puede obtener la interpolación de datos mediante la siguiente tabla:

Figura 59

Barra redonda escalonada a flexión



Nota. Se interpolan los coeficientes de las relaciones de diámetros en la flecha o eje que va a ser sometido a flexión, pertenece a la tabla A-22-9 del libro de Resistencia de Materiales.

Tomado de (Mott, 2009).

Con la tabla, debido a que no existe un valor específico para el valor de $D/d = 2.875$, es necesario realizar una interpolación, obteniendo lo siguiente:

Tabla 49

Interpolación - valor K_t

D/d	K_t
2	2.3
2.875	K_t
3	2.45

Nota. Estos valores son tomados de la **Figura 59**, al tener el valor de $r/d = 0.05$.

Al realizar la interpolación se obtiene que:

$$\frac{K_t - 2.3}{2.875 - 2} = \frac{2.45 - 2.3}{3 - 2}$$

$$K_t - 2.3 = (0.875)(0.15)$$

$$K_t = 2.3 + 0.13125$$

$$K_t = 2.43125$$

Y para obtener los valores de esfuerzo por flexión se ha empleado las fórmulas que identifica la **Figura 59** dando como resultado:

$$\sigma_{nom} = \frac{M}{\pi d^3 / 32}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{0.1571Nm}{\pi(8mm)^3 / 32}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{0.1571Nm}{\pi(0.008m)^3 / 32}$$

$$\sigma_{nom} = 3125405.195Pa$$

$$\sigma_{nom} = 3.1254MPa$$

Finalmente, el esfuerzo máximo por flexión resulta ser:

$$\sigma_{max} = K_t \sigma_{nom}$$

$$\sigma_{max} = (2.43125)(3.1254MPa)$$

$$\sigma_{max} = 7.59862875MPa$$

Al tomar el valor de esfuerzo máximo por flexión y un factor de seguridad de 2 se puede determinar un límite a la fluencia mínimo para el material a escoger, es decir:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n_s}$$

$$S_y = \sigma_{max} n_s$$

$$S_y = (7.59862875MPa)(2)$$

$$S_y = 15.1972575MPa$$

El valor calculado de límite a la fluencia es el mínimo que se puede seleccionar para tener un diseño seguro del sistema, es así que se selecciona *Acero Plata* o también denominado Acero 1.2210 (115CrV3), el cual dispone de un $S_y = 370MPa$.

Velocidad de desplazamiento en la banda. En base a la capacidad de trabajo, la velocidad de la banda se rige a la productividad del sistema, es decir:

$$v = N \cdot L$$

Productividad	$N = 4 \text{ piezas / min}$
---------------	------------------------------

Longitud de la banda	$L = 32cm$
----------------------	------------

$$v = \left(\frac{4 \text{ piezas}}{\text{min}} \right) (32cm)$$

$$v = 128 \frac{cm}{min} \cdot \frac{1m}{100cm} \cdot \frac{1min}{60seg}$$

$$v = 0.021333m / seg$$

Velocidad Angular. Una vez obtenida la velocidad lineal se puede obtener la velocidad angular de la siguiente forma:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Radio al centro del eje $r = 0.004m$

$$\omega = \frac{0.021333m / seg}{0.004m}$$

$$\omega = 5.333 \frac{rad}{seg} \cdot \frac{1rev}{2\pi rad} \cdot \frac{60seg}{1min}$$

$$\omega = 50.92 RPM$$

Fuerza para mover la banda sin carga. Se parte de la ecuación que dicta:

$$F_{NC} = \mu \cdot q_p \cdot \{L + l_o\}$$

Para determinar la fuerza que se debe ejercer para ejecutar un desplazamiento en la banda transportadora se ha implementada las fórmulas de cálculo de bandas expresadas en (Borja & Chicaiza, 2019), primero es necesario fijar varios datos:

$$Eje\ motriz = 101g$$

$$Eje\ retorno = 35g$$

$$banda = 33g$$

$$l_o = 60 - 0.2L$$

$$l_o = 60 - 0.2(0.32m)$$

$$l_o = 59.936m$$

Masa de Ejes y Banda

$$Q_p = Eje\ motriz + Eje\ retorno + Banda$$

$$Q_p = 101g + 35g + 33g$$

$$Q_p = 169g$$

$$Q_p = 0.169kg$$

Masa por longitud de trabajo

$$q_p = \frac{Q_p}{L}$$

$$q_p = \frac{0.169kg}{0.32m}$$

$$q_p = 0.5281 kg / m$$

Para el coeficiente de fricción, al ser cojinete rígido de bolas se ha tomado el dato de la siguiente tabla:

Figura 60

Coefficientes de rozamiento para cojinetes

Tipo de rodamiento	Coefficiente $\mu \times 10^{-3}$
Rodamientos rígidos de bolas	1.0 ~ 1.5
Rodamientos de bolas a contacto angular	1.2 ~ 1.8
Rodamientos oscilantes de bolas	0.8 ~ 1.2
Rodamientos de rodillos cilíndricos	1.0 ~ 1.5
Rodamientos de agujas	2.0 ~ 3.0
Rodamientos de rodillos cónicos	1.7 ~ 2.5
Rodamientos de rodillos esféricos	2.0 ~ 2.5
Rodamientos axiales de bolas	1.0 ~ 1.5
Rodamientos axiales de rodillos	2.0 ~ 3.0

Nota. Valores que expresan los coeficientes de rozamiento en diferentes tipos de rodamientos. Tomado de (Ceinmant, 2019).

Con todos estos datos se puede obtener cual es la fuerza para ejecutar el desplazamiento sin carga:

$$F_{NC} = \mu_T \cdot q_p \cdot (L + l_o)$$

$$F_{NC} = (\mu_1 + \mu_2)(0.5281 kg / m)(0.32m + 59.936m)$$

$$F_{NC} = (0.0015 + 0.0015) \left(0.5281 \frac{kg}{m} \right) (60.256m)$$

$$F_{NC} = 0.0954635 kg \cdot f$$

Fuerza para mover la banda con carga. Se parte de la ecuación que indica:

$$F_C = \mu_T \cdot \frac{Q_T}{3,6v} \cdot (L + lo)$$

De igual forma es necesario identificar varios datos para luego ser reemplazados, para ello se tiene:

Masa de ejes, banda y elementos

$$Q_P = \text{Eje motriz} + \text{Eje retorno} + \text{Banda} + \text{Elementos}$$

$$Q_P = 101g + 35g + 33g + 200g$$

$$Q_P = 369g$$

$$Q_P = 0.369kg$$

Masa que transporta la banda por hora

$$Q_T = Q_P \cdot N$$

$$Q_T = (0.369kg) \left(4 \frac{\text{piezas}}{\text{min}} \right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \right)$$

$$Q_T = 88.56 \text{ kg} / h$$

Una vez con todos los datos previos obtenidos, se obtiene lo siguiente:

$$F_C = \mu_T \cdot \frac{Q_T}{3,6v} \cdot (L + lo)$$

$$F_C = (0.003) \left(\frac{88.56 \text{ kg} / h}{3.6 \left(0.021333 \frac{m}{s} \right) \left(\frac{3600s}{1h} \right)} \right) (0.32m + 59.936m)$$

$$F_C = 0.057903 \text{ kg} \cdot f$$

Fuerza total. La fuerza total es la suma de la fuerza con caga y sin carga:

$$F_T = F_{NC} + F_C$$

$$F_T = 0.0954635 \text{ kg} \cdot f + 0.057903 \text{ kg} \cdot f$$

$$F_T = 0.153366 \text{ kg} \cdot f$$

$$F_T = 1.504N$$

Potencia absorbida por transportador. La potencia absorbida por el transportador es la fuerza total por la velocidad lineal:

$$P_A = F_T \cdot v$$

$$P_A = 1.504N(0.021333m / s)$$

$$P_A = 0.03208 \frac{Nm}{s}$$

Potencia motriz necesaria. La potencia motriz necesaria se la obtiene de la ecuación de rendimiento:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}}$$

$$\eta = \frac{P_A}{P_M}$$

$$P_M = \frac{P_A}{\eta}$$

Tomando un rendimiento del 80% (para motor eléctrico):

$$P_M = \frac{0,03208Nm / s}{0.8}$$

$$P_M = 0.0401Nm / s$$

$$P_M = 0.0401W$$

$$P_M = 0.000053753HP$$

Torque necesario. Se lo obtiene de la siguiente forma:

$$T(Nm) = \frac{P(Watt)}{2\pi N(rps)}$$

$$T(Nm) = \frac{746P(HP)}{2\pi \frac{N}{60}(rpm)}$$

$$T(Nm) = \frac{(746)(60)P(HP)}{2\pi N(rpm)}$$

$$T = \frac{(746)(60)(0.000053753HP)}{2\pi(50.92rpm)}$$

$$T = 0.00752011Nm$$

$$T = 0.07668kg \cdot cm$$

Selección del motor para la banda. Con todos los datos previos obtenidos, se puede identificar todo lo que se necesita para mover la banda, lo cual es:

Tabla 50

Parámetros de selección de motor

Parámetros de Selección de Motor	
Torque	$T = 0.07668kg \cdot cm$
Potencia	$P_M = 0.0401W$
Velocidad angular	$\omega = 50.92RPM$

Nota. El valor de torque y potencia son los mínimos para asegurar el movimiento de la banda transportadora.

De esta forma la mejor elección es el motor GA25-370, el cual consta de las características necesarias e incluso superiores para el funcionamiento:

Figura 61*Motor GA25-370*

Nota. Motor eléctrico de 6 a 12 voltios de funcionamiento. Tomado de (ALLDATASHEET, 2024).

Tabla 51*Características del motor GA25-370*

Motor GA25-370	
Torque	$T = 1.4 \text{ kg} \cdot \text{cm}$
Potencia	$P_M = 2.4 \text{ W}$
Velocidad angular	$\omega = 130 \text{ RPM}$

Nota. Motor eléctrico con funcionamiento de 6 a 12 voltios y corriente necesaria de 2.2 amperios. Tomado de (ALLDATASHEET, 2024).

Debido a sus elevadas características para la aplicación necesaria, se ha implementado poleas dentadas (engranes) de 20 y 60 dientes de tal forma que se forma una relación de engranes tal que:

$$\text{Engrane de motor} \quad Z_M = 20$$

$$\text{Engrane conducido} \quad Z_C = 60$$

$$\frac{Z_C}{Z_M} = i$$

$$\frac{60}{20} = \frac{3}{1} = 3:1$$

Con los engranes se definen las nuevas características, las cuales son:

$$\omega_C = \omega_M \cdot \frac{Z_M}{Z_C} = \frac{\omega_M}{i}$$

Velocidad de giro

$$\omega_C = \frac{130RPM}{3}$$

$$\omega_C = 43.3333RPM$$

$$T_C = T_M \cdot \frac{Z_C}{Z_M} = T_M \cdot i$$

Torque

$$T_C = (1.4kg \cdot cm)(3)$$

$$T_C = 4.2 kg \cdot cm$$

De esta forma, finalmente podemos asegurar un correcto funcionamiento del motor a la hora de ejecutar el movimiento de la banda transportadora, sin tener problema alguno y además posee la capacidad de ser sometido a circunstancias mayores permitiéndole tener mayor robustez a la hora de trabajar.

Lay Out y Medidas de Protección

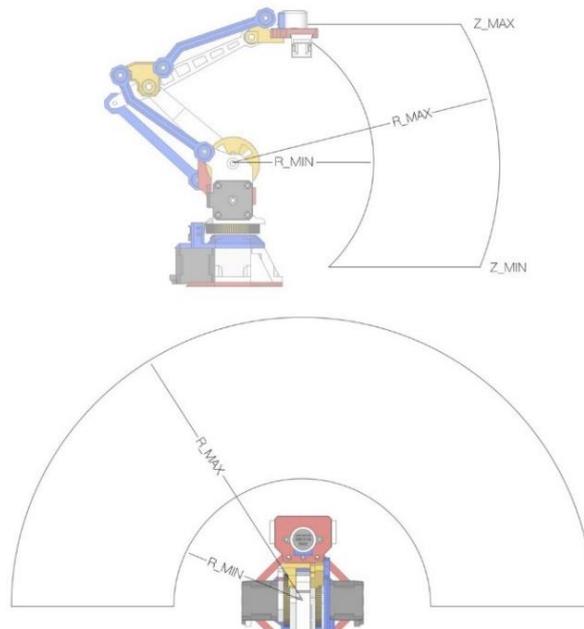
Al tratar de celdas robóticas, la norma que mayor infiere en estas es la ISO 10218-2, para ello se debe considerar parámetros de funcionamiento de la celda.

Lay Out. Es necesario considerar varios puntos para un correcto diseño de la celda robótica, como son los límites fijos del robot, espacios de trabajo para la celda, rincones donde puede surgir riesgos de atrapamiento, las diferentes entradas de la celda, la intervención manual, equipos de protección.

Límites del robot. Para considerar los límites de trabajo máximo del robot, ha sido necesario recurrir a los parámetros especificados por el diseñador, en la cual tenemos sus graficas de trayectoria, revolutas y alcance.

Figura 62

Límites del Robot



Nota. Esta es la revoluta y área de trabajo con la que el robot puede trabajar adecuadamente según los datos especificados por el diseñador. Tomado de (20sffactory, 2021).

Estos parámetros están descritos mediante ecuaciones, para ello es necesario especificar los valores de las variables que asumen estas ecuaciones:

$$High_{shank} = 120mm$$

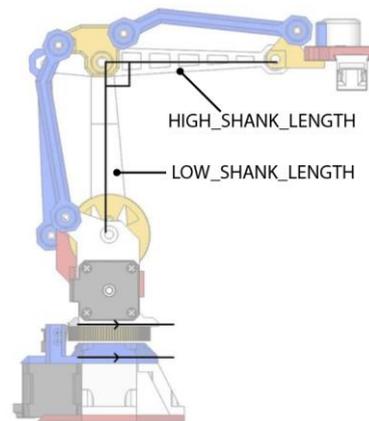
$$Low_{shank} = 120mm$$

$$Shank_{\text{angulo m\u00ednimo cos}} = 0.791436948$$

$$Shank_{\text{angulo m\u00e1ximo cos}} = -0.774944489$$

Figura 63

Medidas de brazos del robot



Nota. Las medidas de los brazos del robot pueden llegar a variar debido a que es un robot de código abierto. Tomado de (20sffactory, 2021).

$$Z_{min} = -120mm$$

$$Z_{max} = Low_{shank} + 30mm$$

$$R_{min} = \sqrt{(Low_{shank})^2 + (High_{shank})^2 - 2(Low_{shank})(High_{shank})(Shank_{\text{angulo m\u00ednimo}})}$$

$$R_{max} = \sqrt{(Low_{shank})^2 + (High_{shank})^2 - 2(Low_{shank})(High_{shank})(Shank_{\text{angulo m\u00e1ximo}})}$$

En base a las fórmulas especificadas e igualmente en base a la longitud de cada uno de los brazos, se tiene que los valores máximos y mínimos son los siguientes:

$$Z_{min} = -120mm$$

$$Z_{max} = 150mm$$

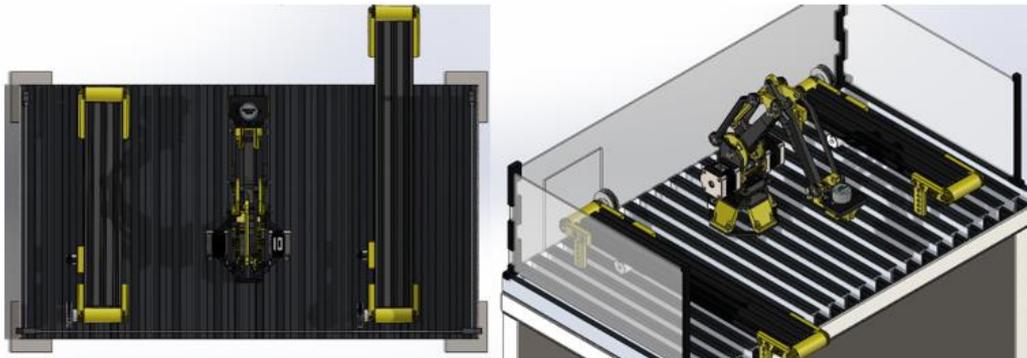
$$R_{min} = 77.5023mm$$

$$R_{max} = 226.0937mm$$

Espacios de trabajo de la celda. Para ello es necesario representar adecuadamente la distribución de los elementos que integran la celda, a continuación, una vista superior e isométrica de la misma:

Figura 64

Distribución de celda robótica

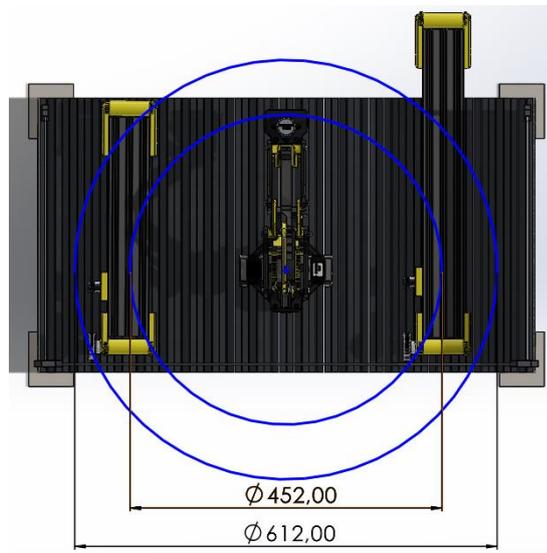


Nota. La distribución es acorde al módulo de educativo, es decir se optimiza el espacio y se facilita el acceso para el usuario.

Considerando además el alcance máximo del robot se puede ver a continuación que su región de trabajo es la idónea para el sistema, pero además resulta importante resaltar que la revoluta o alcance máximo que se obtuvo previamente en los límites del robot es hasta antes del efector final o de la garra, ya que es un parámetro que hay que considerar a posterior para evitar cualquier conflicto o problema:

Figura 65

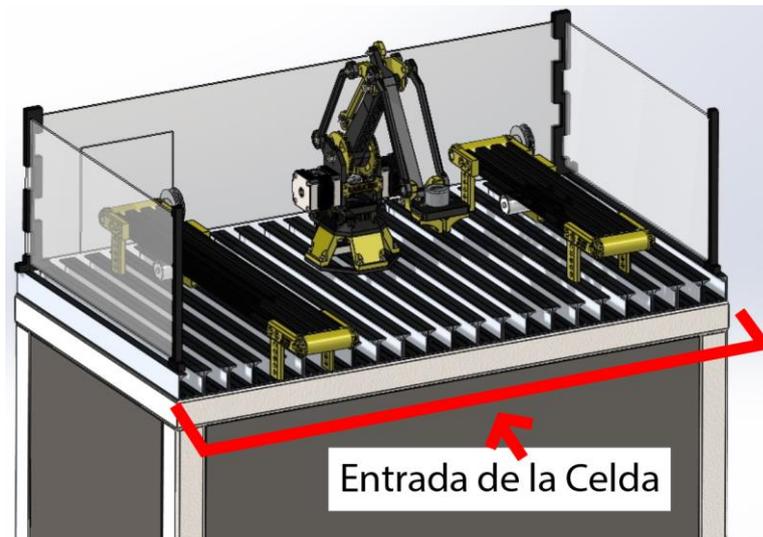
Espacio de trabajo – Alcance Robot



Nota. El diámetro de 452mm hace referencia al alcance máximo del robot sin contar el efector final, mientras que el diámetro de 612mm indica el alcance máximo con efector final.

Teniendo en cuenta, dentro del espacio de trabajo, se debe identificar los puntos o rincones donde puede existir atrapamiento, pero ya que se trata de un módulo educativo no existe riesgo elevado como tal ya que el atrapamiento puede resultar en las manos a la hora de manipular el sistema.

Entradas de la Celda. Ya que el principal objetivo de la celda es que sea educativo y da fácil manipulación, el ingreso a la celda es por toda la parte frontal, ya que es un espacio abierto en el cual no existe protección por guardas o panes de seguridad para que la manipulación sea a libre discreción para el usuario.

Figura 66*Entrada a la celda*

Nota. La entrada de la celda conecta con otro módulo educativo si se requiere que el trabajo sea en conjunto, mientras que también facilita el acceso a los usuarios para su correcta operación.

Medidas de Protección

Al trabajar con equipo o maquinaria que integra tanto la parte mecánica, eléctrica y de control, resulta necesario el cumplir con los distintos requerimientos a la hora de integrar las diferentes medidas de protección y seguridad entre esto se tiene:

Paro de emergencia. Este elemento de seguridad resulta de suma importancia pues es el que permite detener todo el sistema en caso de existir un problema, error o se suscite un caso indeseado a la hora de trabajar.

Para ello es que el paro de emergencia se lo ha colocado en una zona accesible y de fácil manipulación para el usuario en caso de llegar a sufrir cualquier percance, este se encuentra sobre la mesa en la esquina superior izquierda como se aprecia a continuación:

Figura 67*Paro de emergencia de la máquina*

Nota. El paro de emergencia tiene enclavamiento para permitir mantener el estado hasta que el usuario lo requiera.

El uso de paro de emergencia se especifica en la norma ISO 60204-1 e ISO 13850, donde también se especifica que para toda puesta en marcha debe estar presente el paro de emergencia.

Otra consideración importante es que al ejecutarse el paro de emergencia debe de ser completamente independiente de la máquina, es decir no existe una conexión que lo regule el PLC o algún otro controlador, al accionarse trabajara sin importar otro elemento.

Señalización de Seguridad. Resulta indispensable a la hora de trabajar con maquinaria de carácter industrial el incluir una correcta señalética con la finalidad de evitar accidentes que puedan atentar contra la integridad del o de los operadores, entre las señales que se incluyen se las puede visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 52

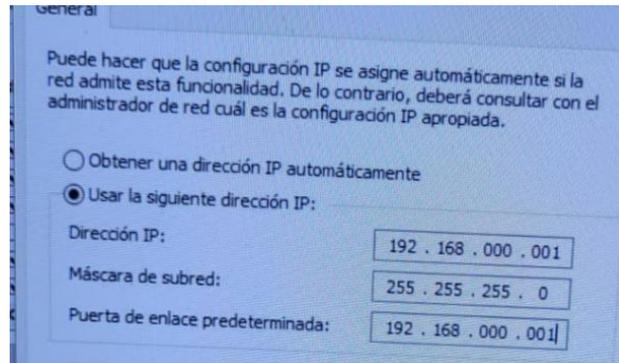
Señalética de Seguridad en la Celda

Señal	Descripción
	Riesgo Eléctrico
	Robots y automatismos
	Riesgo de atrapamiento de manos
	Atención, peligro en general
	Máquinas con rodamientos
	Entrada prohibida a personas no autorizadas
	Prohibido fumar
	Prohibido ingerir alimentos
	Prohibido depositar materiales
	Protección de manos obligatoria

Nota. La señalética de seguridad es un punto fundamental, ya que permite evitar accidentes y logra cuidar a los usuarios, tomado de (Seguridad Industrial SA, 2016).

Etapas 3 – Control y Programación

Antes de realizar la programación en el controlador lógico programable es de suma importancia fijar una dirección ip fija tanto para el computador como para el PLC, por lo que para el computador se le asigna lo siguiente:

Figura 68*IP Fija - Computadora*

Nota. La dirección IP del computador debe de ser diferente a la IP del PLC ya que sino no existirá comunicación.

Mientras que, en el PLC desde su interfaz, en la programación de Red se configura la IP con la que se va a trabajar y de igual forma la pasarela de conexión o la puerta de enlace.

Figura 69*IP del PLC y Puerta de Enlace*

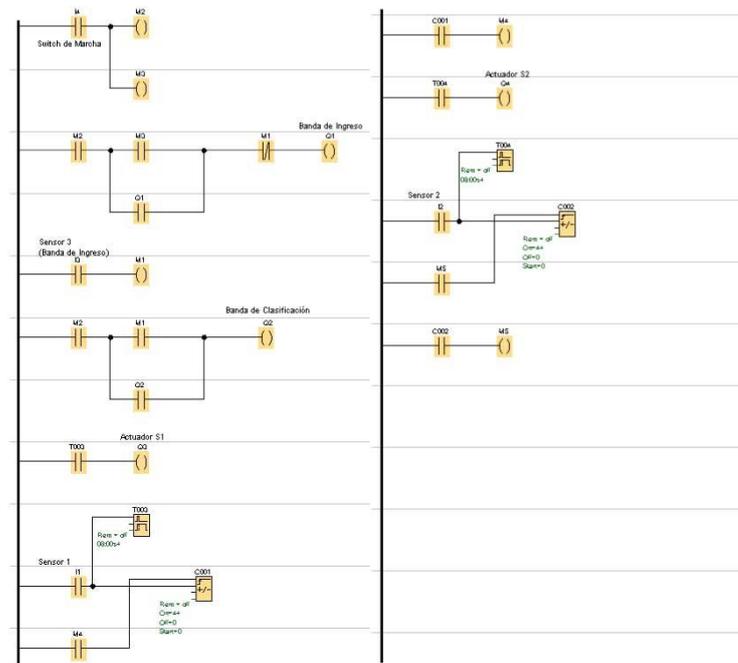
Nota. La puerta de enlace o pasarela debe de ser la misma para que se pueda dar correctamente la conexión y programación del PLC.

En este punto se procede a integrar la programación realizada para efectuar el control de la celda y de todo el sistema en general, es necesario tener en consideración que todo el entorno es controlado por el controlador lógico programable o PLC, para ello se ha implementado el programa LogoSoft Comfort V8.3.

La programación se la realiza en lenguaje Ladder o KOP el cual se implementa comúnmente en sistemas de control industrial, para identificar el funcionamiento se lo puede hacer en la siguiente imagen:

Figura 70

Programación del entorno - LOGO PLC - LogoSoft Comfort



Nota. La entrada I1 corresponde al sensor 1, I2 al sensor 2, I3 al sensor 3, Q1 a la banda transportadora de ingreso de material y Q2 a la banda de clasificación.

Además, se puede identificar que, durante el periodo de detección de los sensores en la banda de clasificación, es decir en el sensor 1 y 2, existe un contador el cual nos permite gestionar la cantidad de elementos que se van ingresando al sistema y de esta forma realizar una numeración adecuada en base al material de ingreso.

Finalmente, es necesario resaltar que para el control de los actuadores de la celda se ha utilizado Arduino como controlador independiente para cada uno de estos y que a su vez es regido por las salidas Q3 y Q4 del PLC, la programación que se emplea es:

Figura 71

Programación de Actuadores 1 y 2

```

PLC_progra_servos $
#include <Servo.h>
Servo MotorS1;
int posicion=0;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  MotorS1.attach(5);
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  MotorS1.write(150);
  delay(5000);
  //Mueve el motor desde 150 grados hasta 30 grados
  for (posicion=150; posicion>=30; posicion--) {
    MotorS1.write(posicion);
    delay(5); //Mover un grado cada 5 milisegundos
  }
  delay(5000);
}

```

Nota. La programación se ejecuta en Arduino nano y puede ser modificada fácilmente según la necesidad del operador.

En su programación se puede entender que al energizarse el Arduino mediante las salidas del PLC se activara las funciones que comanda, dictando al servo moverse a 150 grados durante un periodo de 5 segundos, pasado ese tiempo el servo regresa a 30 grados, la cual es su posición inicial, moviendo un grado cada 5 milisegundos y realizando una espera de 5 segundos adicionales, tiempo en el que se desactiva la salida del PLC desactivando el Arduino y por ende su función sobre los actuadores.

Capítulo IV

Implementación, Construcción y Resultados

Para el proceso de configuración del robot se hace uso de varios softwares y herramientas que permitan una adecuada implementación, para ello una vez ya ensamblado el robot, es necesario realizar una adecuada calibración de cada uno de sus motores con la finalidad de lograr una alta precisión durante su ciclo de trabajo.

Robot – Ensamble

Para realizar el ensamble del robot es necesario disponer de una serie de elementos mecánicos y las respectivas piezas impresas en 3D, para ello se especifica un listado de los elementos faltantes:

Figura 72

Tornillos para ensamblar el robot



Nota. En el presente caso se ha ocupado las medidas de estos tornillos, pero siendo de cabeza tipo Allen.

Figura 73

Rodamientos, Poleas y Correas para el Robot



Nota. Los rodamientos con inicial F significan que poseen una flange para sujetarse a un pequeño desface de superficies y su terminación ZZ significa que son cerrados y disponen de su lubricación.

Figura 74

Elementos electrónicos para el Robot

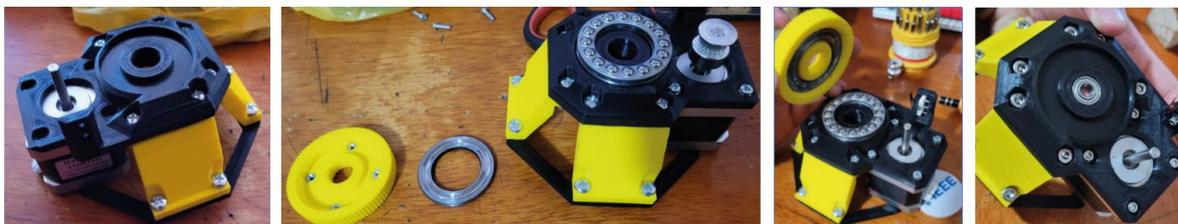


Nota. Los motores nema 17 son para mover el robot cada uno de sus brazos, el microservo para la garra y el Shield CNC junto con Arduino y los controladores A4988 son para el control.

Para el ensamble se empieza por seguir los siguientes pasos:

Figura 75

Ensamble del Robot - Paso 1



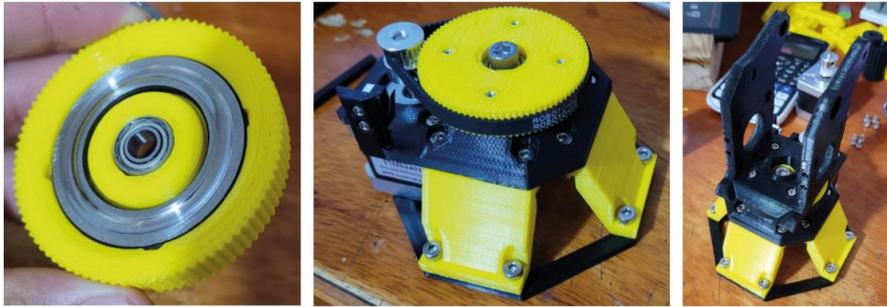
Nota. Los diferentes elementos 3D se los puede conseguir de código abierto o en los anexos del presente trabajo.

Se aprecia que primero es necesario armar las patas del robot a la base negra esto con tornillos M4 de 10mm, para a continuación instalar el soporte sobre el cual se

apoya el rodamiento 51105 con tornillos M4 de 16mm, durante el proceso se coloca el motor nema 17. Se fija la parte superior del rodamiento al engrane que permitirá rotar el robot y de igual forma en la parte central se posiciona el rodamiento F686zz.

Figura 76

Ensamble del Robot - Paso 2



Nota. Los diferentes elementos 3D se los puede conseguir de código abierto o en los anexos del presente trabajo.

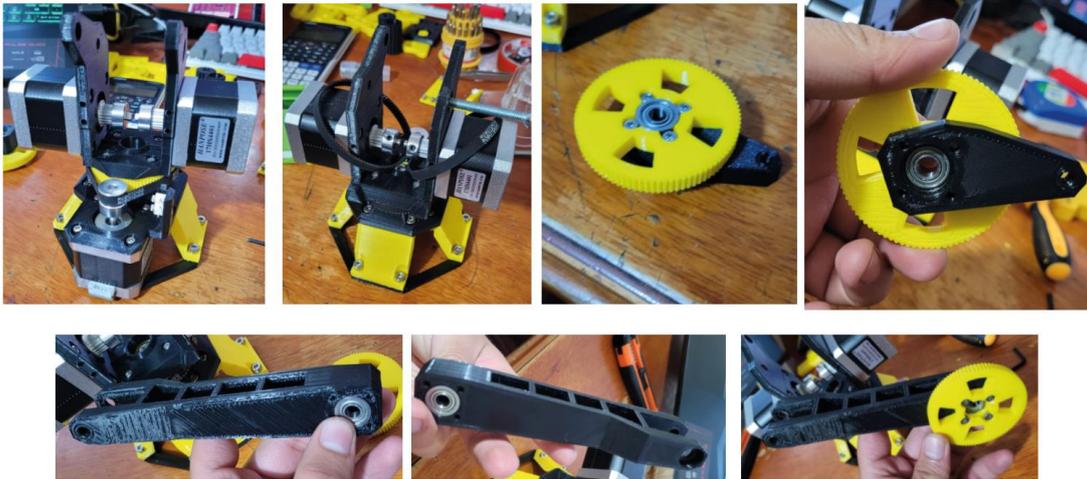
Se coloca tuercas M3 en el engrane justo por debajo de la parte superior del cojinete y de igual forma se coloca otro rodamiento F686zz en el centro del engrane.

Se coloca la polea 2GT de 20 dientes en el eje del motor nema, se coloca la correa en el engrane y la polea para finalmente asegurar estos con un tornillo M6 de 20mm.

Finalmente, ya con tornillos M3 de 6mm se fija el soporte de los próximos dos motores nema al engrane que fue previamente asegurado.

Figura 77

Ensamble del Robot - Paso 3



Nota. Los diferentes elementos 3D se los puede conseguir de código abierto o en los anexos del presente trabajo.

Se coloca las poleas 2GT de 20 dientes a los dos siguientes motores nema y se los fija al soporte con tornillos M3 de 6mm, de forma provisional se coloca las correas y tambien se empieza por introducir el tornillo M6 de 50mm que será el que sujetará gran parte de los brazos.

Se toma un engrane y la pieza de movimiento negra e introducimos en cada uno de estos un rodamiento F686zz y fijamos estas dos piezas con tornillos M3 de 6mm.

Por consiguiente, en el brazo se inserta por los dos lados un rodamiento F686zz y con el engrane faltante igualmente se coloca un rodamiento F686zz para ser fijado al brazo con tornillos M3 de 6mm.

Figura 78

Ensamble del Robot - Paso 4



Nota. Los diferentes elementos 3D se los puede conseguir de código abierto o en los anexos del presente trabajo.

Se procede a tomar las dos piezas con engranes y se las fija tal como se visualiza en la primera presentación, una en contacto con la otra y se aprieta el tornillo M6 que servirá como eje principal sin olvidar colocar las correas en las poleas de los motores nema.

De igual forma, se fija las piezas pequeñas amarillas que servirán como soportes de seguridad tanto en la parte delantera como trasera del robot con tornillos M3 de 6mm, actuando como seguros de sujeción ya que puede tender a abrirse la pieza que soporta los motores nema.

Se procede a colocar las dos barras negras que servirán como ejes estabilizadores, sin olvidar colocar en cada una de las barras dos rodamientos F624zz y fijarlas al soporte de los motores nema con un tornillo M4 de 16mm.

De igual forma, se toma la barra amarilla, se coloca dos rodamientos F624zz y se la fija en la pequeña pieza negra adherida al engrane con un tornillo M4 de 20mm

Finalmente, en este punto se toma el siguiente brazo principal del robot y se le coloca cuatro rodamientos F686zz, dos por cada lado.

Figura 79*Ensamble del Robot - Paso 5*

Nota. Los diferentes elementos 3D se los puede conseguir de código abierto o en los anexos del presente trabajo.

Antes de instalar el segundo brazo principal, es necesario que se instale el soporte manipulador dual en la parte superior de las barras negras previamente instaladas, son dos piezas amarillas que se fijan a estas barras con tornillos M4 de 16mm.

Se coloca las siguientes dos barras negras en el soporte dual, que también servirán como estabilizadoras para el siguiente brazo, sin olvidarse de insertar dos rodamientos F624zz en cada una y ser fijadas con tornillos M4 de 16mm.

Y se alista el segundo brazo principal fijándolo a la barra estabilizadora amarilla con un tornillo M4 de 20mm.

Figura 80

Ensamble del Robot - Paso 6



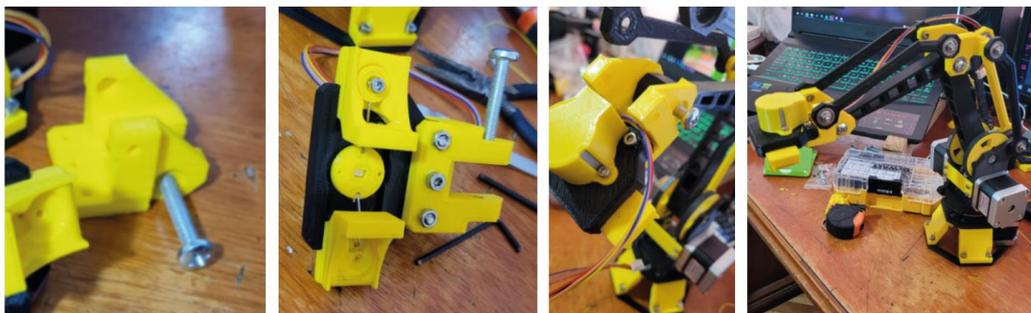
Nota. Los diferentes elementos 3D se los puede conseguir de código abierto o en los anexos del presente trabajo.

En este punto es necesario ajustar el soporte manipulador dual a los dos brazos principales, esto se lo realizas con un tornillo M6 de 50mm sin olvidar de colocar un rodamiento F686zz en cada soporte manipulador.

Es ahí cuando el robot prácticamente queda listo para ajustarse en su extremo el soporte del efector final o garra.

Figura 81

Ensamble del Robot - Paso 7



Nota. Los diferentes elementos 3D se los puede conseguir de código abierto o en los anexos del presente trabajo.

Se toma la pieza que actuara como soporte para la garra o efector final que se le desee acoplar y se le prepara para colocar un tornillo M6 de 40mm, este es el que permitirá fijarlo al segundo brazo principal.

Una vez se disponga de la garra que se empleara se la fija al soporte de garra con tornillos M4 de 16mm.

Se ajusta el soporte de garra al brazo ajustando el tornillo M6 de 40mm y colocando una tuerca al final.

Y finalmente se ajusta las barras estabilizadoras al soporte de garra mediante tornillos M4 de 20mm, dando por concluido el ensamble del robot manipulador.

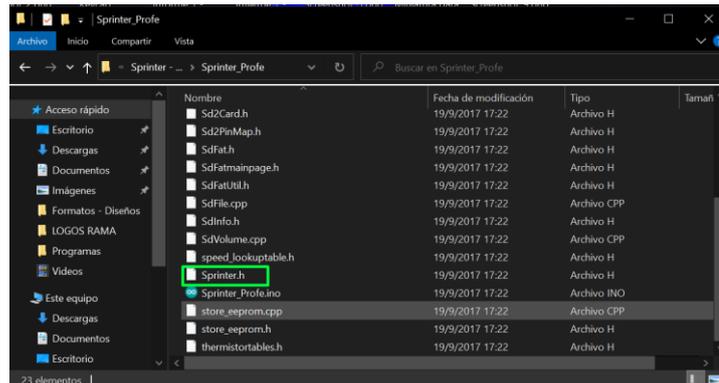
Calibración de Motores

Como primer punto, para realizar la calibración de los motores es necesario dos programas, el Sprinter para Arduino y el Printron o Pronterface que es la interfaz gráfica en la cual se puede adecuar los diversos parámetros de los motores para regularlos adecuadamente, es necesario recalcar que todos estos programas son de código abierto y software libre.

Sprinter

Para abrir el sprinter desde el explorador de archivos, se abre la carpeta que lo contenga y con Arduino se accede el documento Sprinter.h mas no el que tiene extensión ino, ya que este permitirá acceder solo a los parámetros de calibración.

Figura 82

Sprinter.h - Configuración steps/unity

Nota. Al abrir mediante Arduino permite gestionar los pasos con los cuales va a ejecutar movimientos el motor, para ello se ejecuta la extensión .h ya que solo estamos haciendo funcionar una parte del sistema de dicho programa.

Una vez ya se ha accedido a este documento solo se debe hacer uso de la pestaña configuration.h la cual indica los diferentes parámetros de ajuste.

Figura 83

Configuración.h - sprinter

```

Sprinter_Profe Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Sprinter_Profe Configuration.h FatStructs.h Sd2Card.cpp Sd2Card.h Sd2PinMap.h SdFat.h
/*
Reprap firmware based on Sprinter
Optimized for Sanguinololu 1.2 and above / RAMPS

This program is free software: you can redistribute it and/or modify
it under the terms of the GNU General Public License as published by
the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
(at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful,
but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License
along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>. */

/*
This firmware is a mashup between Sprinter, grbl and parts from marlin.
(https://github.com/klimment/Sprinter)

Changes by Donpler Michael (midopple)

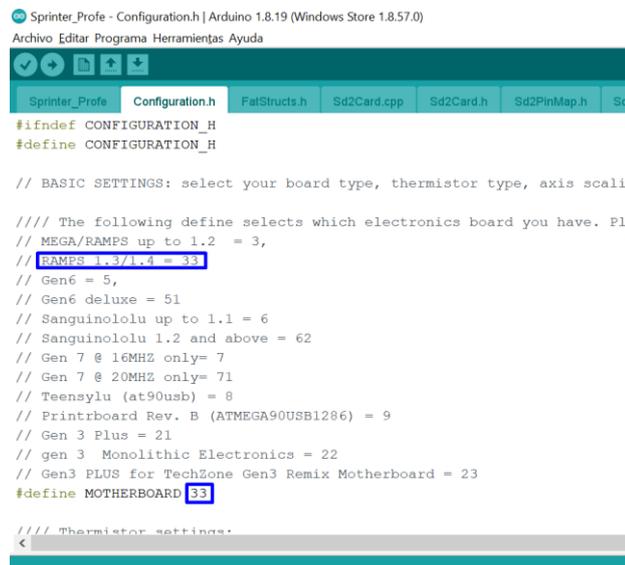
```

Nota. Solo se modifica esa pestaña y además antes de cargar el programa a la tarjeta Arduino es necesario guardar para mantener los diferentes cambios que se le realizan.

Ya ingresados en la pestaña de configuración se procede a verificar que la tarjeta que fijada sea la pertinente, para el presenta caso se ajustó el valor de 33 ya que es la que corresponde a la shield Ramps 1.4

Figura 84

Selección de tarjeta de control



```

Sprinter_Profe - Configuration.h | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Sprinter_Profe Configuration.h FelStructs.h Sd2Card.cpp Sd2Card.h Sd2PinMap.h Sd
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

// BASIC SETTINGS: select your board type, thermistor type, axis scal

//// The following define selects which electronics board you have. P1
// MEGA/RAMPS up to 1.2 = 3,
// RAMPs 1.3/1.4 = 33
// Gen6 = 5,
// Gen6 deluxe = 51
// Sanguinololu up to 1.1 = 6
// Sanguinololu 1.2 and above = 62
// Gen 7 @ 16MHZ only= 7
// Gen 7 @ 20MHZ only= 71
// Teensylu (at90usb) = 8
// Printrboard Rev. B (ATMEGA90USB1286) = 9
// Gen 3 Plus = 21
// gen 3 Monolithic Electronics = 22
// Gen3 PLUS for TechZone Gen3 Remix Motherboard = 23
#define MOTHERBOARD 33

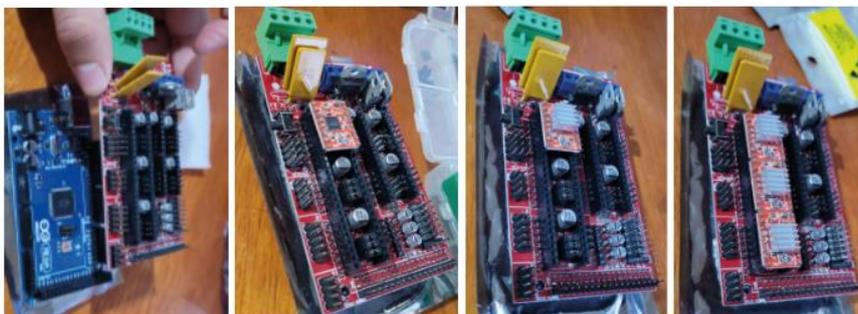
//// Thermistor settings:
<

```

Nota. Para la configuración y parámetros se ha empleado la tarjeta Ramps 1.4 debido a su disponibilidad y facilidad de uso con el programa pronterface.

Figura 85

Arduino Mega y Ramps 1.4 para calibración de motores nema

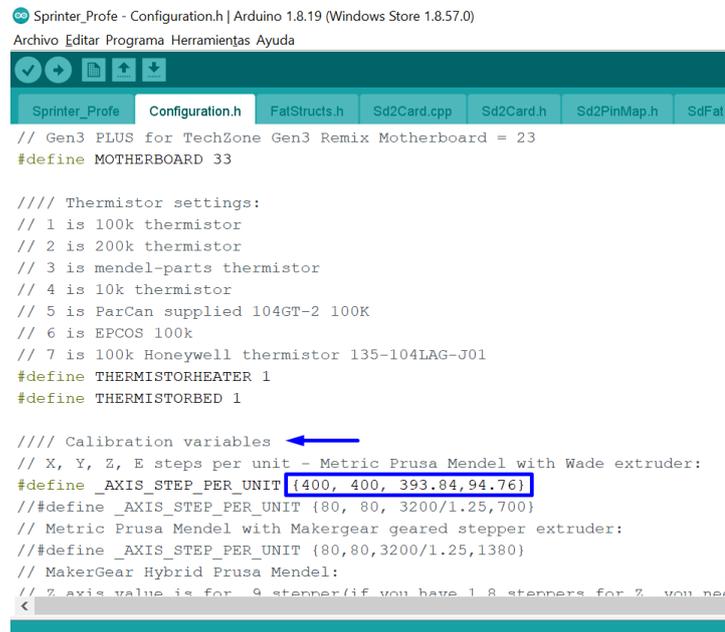


Nota. Correcta colocación de Arduino Mega, shield ramps 1.4, controladores y disipadores de calor para efectuar la calibración de los motores nema 17.

Por consiguiente, en el apartado de calibración de variables y posicionándose en los valores de pasos que deben realizar los motores para ejecutar cierto movimiento en milímetros (step/mm).

Figura 86

Valores modificables - step/unity



```

Sprinter_Profe - Configuration.h | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Sprinter_Profe Configuration.h FatStructs.h Sd2Card.cpp Sd2Card.h Sd2PinMap.h SdFat.h

// Gen3 PLUS for TechZone Gen3 Remix Motherboard = 23
#define MOTHERBOARD 33

//// Thermistor settings:
// 1 is 100k thermistor
// 2 is 200k thermistor
// 3 is mendel-parts thermistor
// 4 is 10k thermistor
// 5 is ParCan supplied 104GT-2 100K
// 6 is EPCOS 100k
// 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01
#define THERMISTORHEATER 1
#define THERMISTORBED 1

//// Calibration variables ←
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with Wade extruder:
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {400, 400, 393.84, 94.76}
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25, 700}
// Metric Prusa Mendel with Makergear geared stepper extruder:
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25, 1380}
// MakerGear Hybrid Prusa Mendel:
// Z axis value is for 9 stepper (if you have 1.8 steppers for Z you need
<

```

Nota. Los valores iniciales como se muestra en la imagen no son los recomendables a la hora de usarlo por primera vez ya que puede ejecutar movimientos extremadamente bruscos o sobrepasar los límites del robot.

Debido a que es la primera configuración, se fijan valores bajos para los motores X, Y y Z, es decir para este caso el motor X, moverá el eslabón horizontal superior del robot, el motor Y moverá el eslabón vertical del robot y el motor Z mueve todo el robot desde su propio eje de manera rotacional.

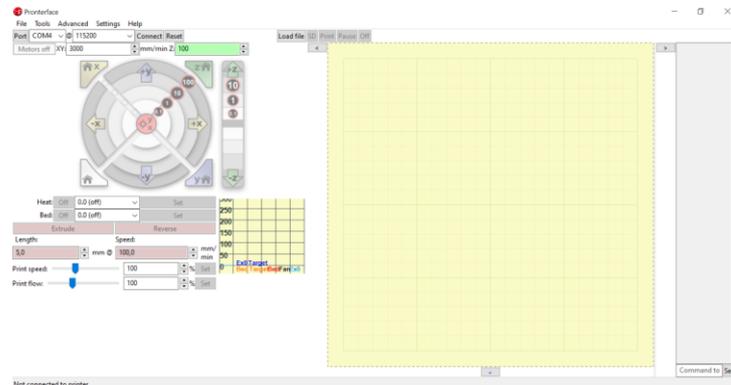
Con un valor de 20 steps/unity para cada motor, se carga el programa a Arduino y se procede a trabajar con el pronterface.

PronterFace

Se accede al programa y se dispone de la siguiente interfaz:

Figura 87

Interfaz de control PronterFace

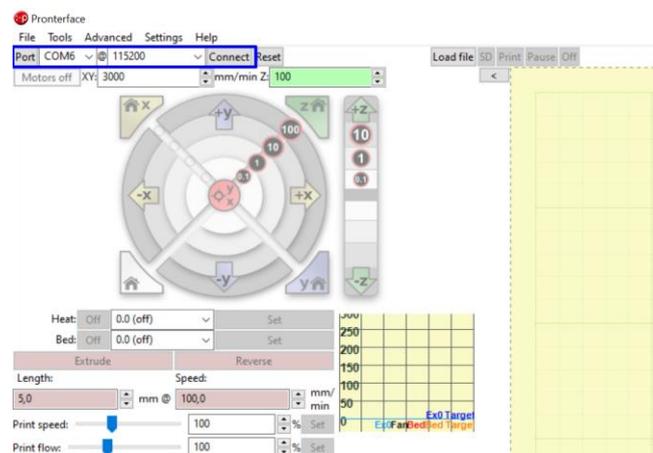


Nota. El programa PronterFace es sencillo de usar, funciona mediante la rueda de dirección y facilita la lectura de pasos del motor.

Para usar este programa es necesario seleccionar el puerto en el que el Arduino se encuentra conectado, para este caso el COM 6 y también la velocidad de comunicación, ya que se ha hecho uso de un Arduino mega, su comunicación será de 115200 baudios y se procede a conectar.

Figura 88

PronterFace - Conexión a Arduino

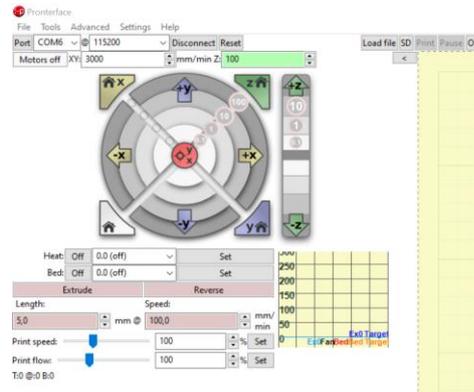


Nota. Ya que se está calibrando con ramps 1.4 la conexión es a 115200 baudios.

La mejor forma de verificar que se ha conectado es identificando que la interfaz se ve más colorida y de igual forma en la opción de connect ahora nos marca disconnect.

Figura 89

PronterFace - Conexión Exitosa

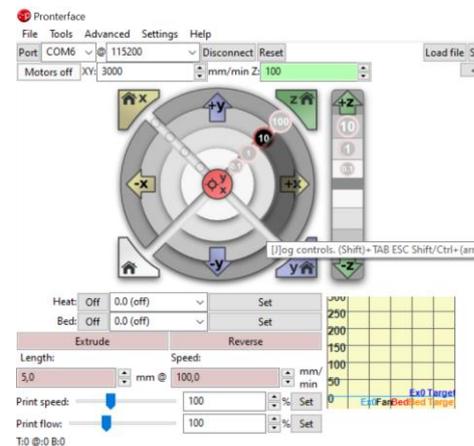


Nota. La conexión entre Arduino y PronterFace al poner el puerto y los baudios correctos se ejecuta instantáneamente y se identifica por sus colores vivos en la rueda de dirección.

Dando clic en el botón de +X 10, se debe comprobar que el movimiento que realiza el robot en ese eslabón sea de 10 y ya que no es un movimiento lineal sino rotacional tomaremos ese valor de 10 en grados.

Figura 90

PronterFace - Movimiento +X 10, +Y 10, +Z 10



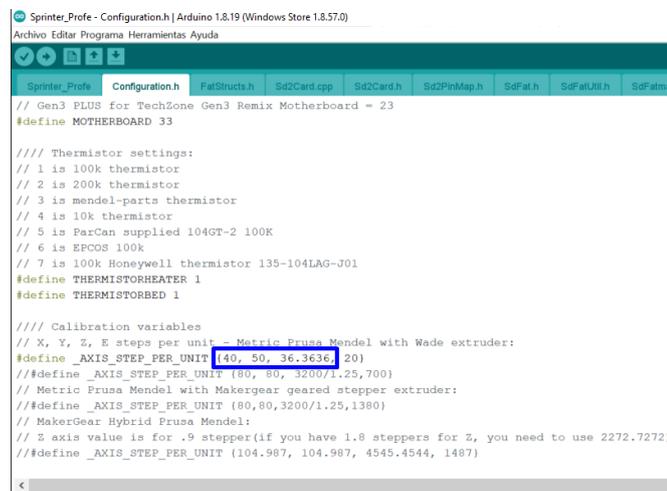
Nota. Los movimientos ejecutados son incrementales de diez en diez con la finalidad de poder medir correctamente para identificar cuáles son los parámetros correctos.

Al presionar el botón el robot ejecuta el movimiento y al fijar 20 como primer parámetro de movimiento por pasos produjo un movimiento de 5 grados por ende el valor ideal para que se genere un movimiento de 10 grados es de 40 pasos.

Se realiza el mismo procedimiento tanto para los motores Y y Z, empleando reglas de tres para obtener los valores idóneos y finalmente se obtiene que para el motor Y es necesario fijar 50 pasos para Y mientras que para el motor Z es necesario fijar 36.3636 pasos, de esta forma al decirle que genere un movimiento de 10 grados en cualquiera motor se obtiene ese mismo valor.

Figura 91

Step/Unity correctos para funcionamiento



```

Sprinter_Profe - Configuration.h | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Sprinter_Profe Configuration.h FarStructs.h Sd2Card.cpp Sd2Card.h Sd2PinMap.h SdFat.h SdFatUtil.h SdFatMain

// Gen3 PLUS for TechZone Gen3 Remix Motherboard = 23
#define MOTHERBOARD 33

//// Thermistor settings:
// 1 is 100k thermistor
// 2 is 200k thermistor
// 3 is mendel-parts thermistor
// 4 is 10k thermistor
// 5 is ParCan supplied 104GT-2 100K
// 6 is EPCOS 100k
// 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01
#define THERMISTORHEATER 1
#define THERMISTORBED 1

//// Calibration variables
// X, Y, Z, E steps per unit - Matrix Frusa Mendel with Wade extruder:
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {40, 50, 36.3636, 20}
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25, 700}
// Metric Frusa Mendel with MakerGear geared stepper extruder:
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25, 1380}
// MakerGear Hybrid Frusa Mendel:
// Z axis value is for .9 stepper (if you have 1.8 steppers for Z, you need to use 2272.7272)
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {104.987, 104.987, 4545.4544, 1487}

```

Nota. Finalmente, los valores correctos de pasos por unidad unitaria de grado del robot son en el motor y eslabón X de 40, en el motor y eslabón Y de 50 mientras que en el motor y eslabón Z de 36.3636.

Interfaz de Funcionamiento

Con el propósito de que el robot disponga de una interfaz amigable y fácil de entender para el usuario, en la cual se pueda manipular al robot según la necesidad de la aplicación, se ha optado por integrar el programa UGS (Universal G-code Sender) el cual es de código abierto y gratis, permitiendo al usuario realizar movimientos en el robot de forma manual o automática mediante las diferentes opciones que el mismo ofrece.

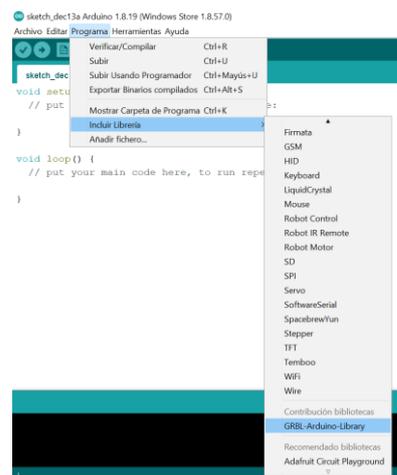
GRBL

Para usar el Universal G-code Sender es necesario integrar una librería a Arduino la cual permita reconocer los diferentes parámetros e indicaciones que el software comunica, para ello se incluye la librería GRBL (la cual se descarga de github).

GRBL se ha identificado como un firmware capaz de interactuar y funcionar adecuadamente con Arduino UNO, con un procesador Atmega328.

Figura 92

Incluir librería en Arduino

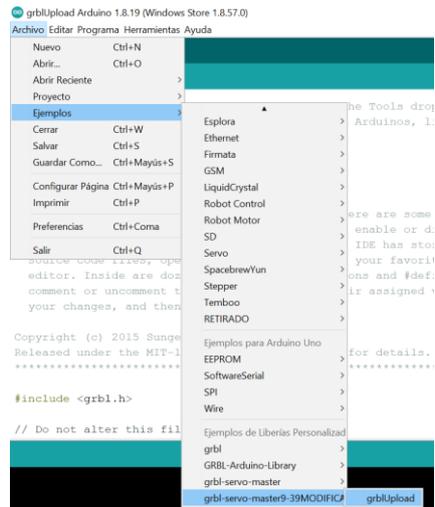


Nota. Para incluir la librería a Arduino de esta forma es necesario tenerla descargada en formato .zip y se añadirá sin problema alguno.

Resulta sencillo integrar GRBL a Arduino ya que se debe de cargar un ejemplo que dispone la librería a la placa de control Atmega328 y funcionara sin ningún problema.

Figura 93

Cargar GRBL a Arduino

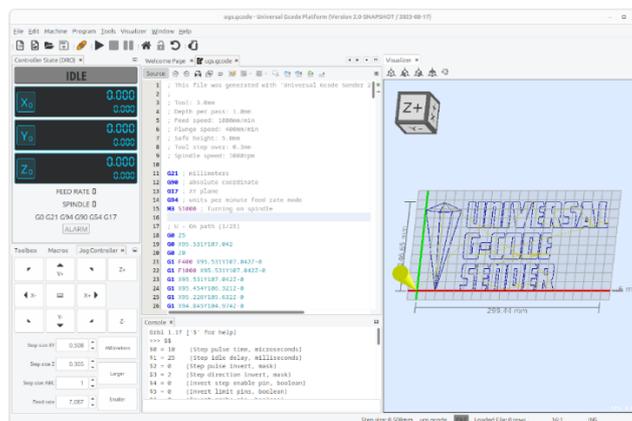


Nota. El único ejemplo de la librería es el que permite el funcionamiento del GRBL en Arduino.

Universal G-Code Sender

Esta interfaz gratuita permite una libre interacción con código G, como brinda GRBL, permitiendo a los usuarios trabajar de manera rápida y con el menor número de conflictos en su instalación.

Figura 94

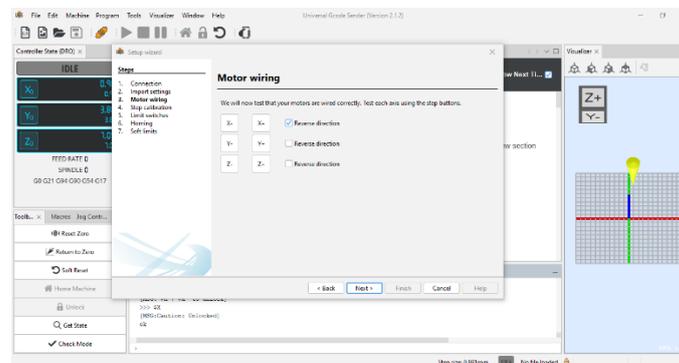
Universal G-Code Sender

Nota. La interfaz que permitirá gestionar el movimiento del robot es Universal G-Code Sender mediante la comunicación serial a Arduino. Tomado de (Winder, 2024).

Al trabajar con esta interfaz es necesario configurar varios parámetros, desde la correcta conexión de los motores que permitan moverse en la dirección correcta al sistema, calibrar los pasos, finales de carrera y el home, por lo que una vez conectado será necesario verificar conexiones como se aprecia a continuación:

Figura 95

UGS - Conexión de Motores

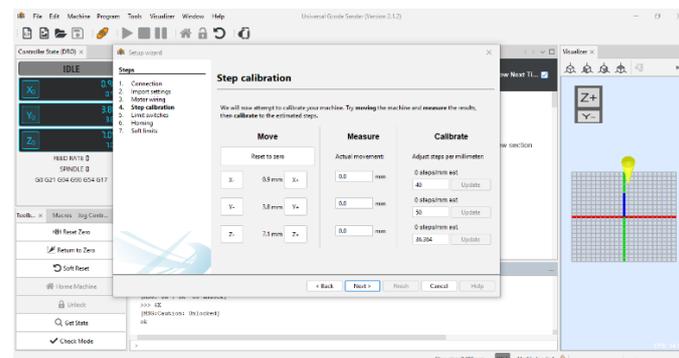


Nota. Si la conexión es correcta se puede continuar normalmente, pero si el motor gira en sentido contrario se tiene la opción de invertir el sentido de giro.

Y debido a que previamente con el uso de PronterFace se logró identificar los pasos necesarios para ejecutar un correcto movimiento, solo es necesario cargarlos al programa para que pueda trabajar sin inconvenientes:

Figura 96

UGS - Calibración de Pasos

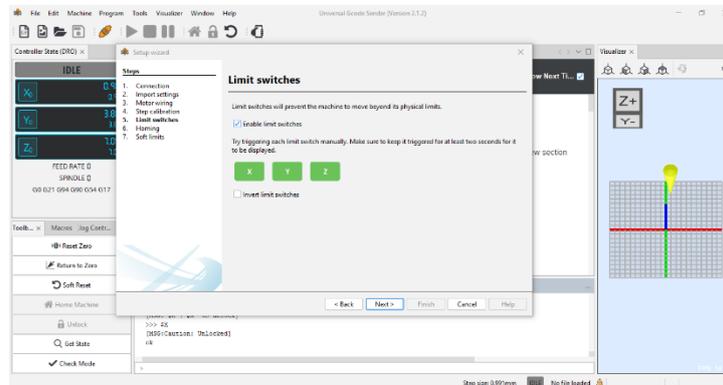


Nota. Debido a que posteriormente ya encontramos los pasos correctos en el PronterFace, solo es necesario fijarlos y continuar.

Al tener conexiones que permita identificar los finales de carrera ha sido necesario realizar su correcta detección:

Figura 97

UGS - Limit Switches



Nota. Si se dispone de finales de carrera es necesario verificar su correcta activación.

Y finalmente los diferentes parámetros de configuración que el GRBL requiere para el funcionamiento integral en base a los requerimientos de los motores, se puede implementar el siguiente:

Figura 98

Parámetros para funcionamiento GRBL - Motor

```

$12 = 0.002      (Arc tolerance, millimeters)
$13 = 0          (Report in inches, boolean)
$20 = 0          (Soft limits enable, boolean)
$21 = 0          (Hard limits enable, boolean)
$22 = 0          (Homing cycle enable, boolean)
$23 = 0          (Homing direction invert, mask)
$24 = 25.000    (Homing locate feed rate, mm/min)
$25 = 500.000   (Homing search seek rate, mm/min)
$26 = 250       (Homing switch debounce delay, milliseconds)
$27 = 1.000     (Homing switch pull-off distance, millimeters)
$30 = 1000      (Maximum spindle speed, RPM)
$31 = 0         (Minimum spindle speed, RPM)
$32 = 0         (Laser-mode enable, boolean)

$100 = 40.000   (X-axis travel resolution, step/mm)
$101 = 50.000   (Y-axis travel resolution, step/mm)
$102 = 36.364   (Z-axis travel resolution, step/mm)
$110 = 500.000  (X-axis maximum rate, mm/min)
$111 = 500.000  (Y-axis maximum rate, mm/min)
$112 = 500.000  (Z-axis maximum rate, mm/min)
$120 = 50.000   (X-axis acceleration, mm/sec^2)
$121 = 50.000   (Y-axis acceleration, mm/sec^2)
$122 = 50.000   (Z-axis acceleration, mm/sec^2)
$130 = 200.000  (X-axis maximum travel, millimeters)
$131 = 200.000  (Y-axis maximum travel, millimeters)
$132 = 200.000  (Z-axis maximum travel, millimeters)

```

Nota. Los parámetros configurados son acordes a pruebas de funcionamiento y datos de placa del fabricante para no superar su capacidad.

Controlador del Robot

Para el ensamble de este es sumamente sencillo, se empieza por disponer de las dos tarjetas principales, Arduino UNO y Shield CNC para Arduino UNO.

Es necesario colocar jumpers en cada uno de los pines que modifican los pasos del motor, tanto para X, Y, Z permitiendo una mayor resolución.

Figura 99

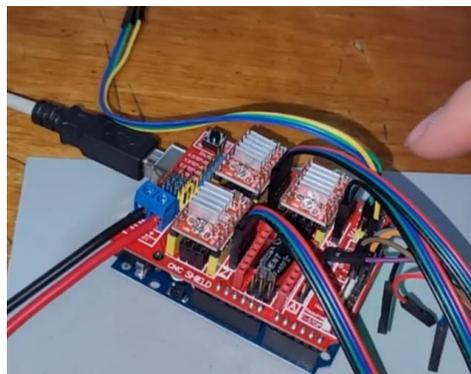
Arduino UNO y Shield CNC - Implementación



Nota. La compatibilidad de ambas tarjetas es solo posicionando una sobre la otra.

Figura 100

Conexiones, Drivers, Alimentación y Control de Shield CNC



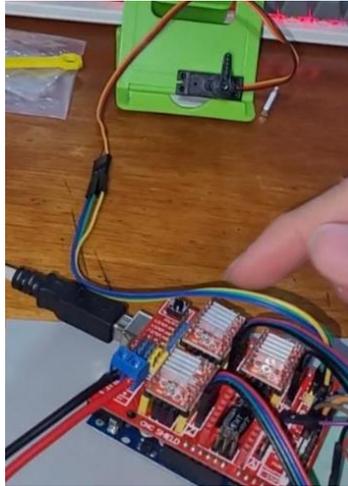
Nota. Este es el esquema final en el cual se conecta la alimentación de 12 voltios, motores nema junto a cada controlador y un micro servo en el pin Z+.

Ya armada la parte de los controladores, resulta importante explicar que la conexión de los motores nema se puede variar ya que pueden funcionar en la posición en la que se

muestra conectados los cables en la **Figura 100** o invertirlos con la finalidad de cambiar el sentido de giro del motor, esto en base a las necesidades de las aplicaciones que se manifieste.

Figura 101

Shield CNC conexión con micro servo



Nota. Para el micro servo, cable marrón es a negativo (GND), cable rojo a positivo (+5V) y cable naranja la señal (PWM) en el Pin Z+ de los finales de carrera.

Es fundamental resaltar que el programa GRBL que se está empleando dispone de una configuración en la que se puede usar el Pin Z+ de los finales de carrera en el Shield CNC para Arduino uno como un generador de señal para controlar similar a un spindle o husillo, un micro servo motor que realizara la función de abrir o cerrar la garra del robot, esto introduciendo los comandos de programación en Código G, M03 Sxxx (siendo xxx valores entre 0 a 255 para efectuar un desplazamiento angular de 0 a 180 grados) y M05 para regresar directamente a los cero grados.

Banda Transportadora - Ensamble

Se necesita de ciertos materiales para poder empezar con el ensamble, para ello se requiere:

Tabla 53*Materiales - Ensamble de Banda Transportadora*

Materiales	Gráfica
Perfil CNC de Aluminio V Slot 2060	
Tuercas deslizantes M5 en T	
Tornillos M5 de 10mm CNC	
Rodamientos 688z	
Rodamientos F686zz	
Eje Acero plata o Acero 1.2210 M8	
Hexagonal M5 de 50mm	
Polea 2GT 20 dientes M5	
Polea 2GT 60 dientes M8	
Motor GA25-370 12V 130RPM	
Correa Cerrada 2GT 6mm de 200mm	

Nota. Se ocupa los mismos materiales para todas las bandas transportadoras y se sigue el mismo procedimiento.

Para empezar con el ensamble es necesario disponer de todos los elementos mecánicos y a su vez de las respectivas piezas impresas en 3D, se empieza con lo siguiente:

Figura 102

Perfil CNC V2060 y Tuercas deslizantes T M5



Nota. La longitud del perfil es en base a la necesidad de aplicación, en este caso 45 y 32 centímetros.

Se debe de introducir las tuercas deslizantes M5 con forma T en las ranuras laterales del perfil ya que aquí será donde se monten la mayoría de los elementos que integran la banda transportadora.

Figura 103

Ensamble de Banda Transportadora - Ejes Motrices



Nota. Los elementos impresos 3D han sido impresos con rellenos del 100% convirtiéndolos en piezas sólidas y resistentes.

Se toma el eje de acero plata junto con el eje impreso en 3D que tiene dos orificios m4 y se los encaja de forma que el eje con diámetro M8 sobresalga una pequeña distancia a un costado.

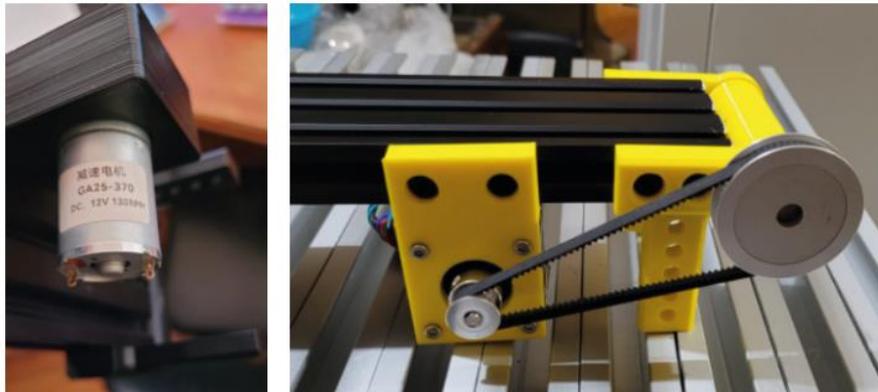
En los orificios del eje impreso se introducen prisioneros M4 para asegurar incluso la sujeción con el eje de acero.

De igual forma en las bases o patas de la banda transportadora, igualmente impresas en 3D, se introducen un rodamiento 688z en cada una y ya que estos disponen un orificio M8 se puede introducir sin problema el eje de acero plata.

Finalmente, en este punto ya con las patas y ejes montados, a un costado, en el eje sobresaliente se fija la polea dentada 2GT de 60 dientes. Además, es necesario colocar cinta antideslizante en el eje impreso en 3D para asegurar un mejor coeficiente de rozamiento con la correa que se montará a posterior.

Figura 104

Ensamble Banda transportadora - Transmisión de movimiento



Nota. En ambas bandas se ocupa la misma relación de poleas dentadas, el mismo motor y similitud de piezas impresas en 3D.

Se fija el motor GA25-370 de 12 voltios en su base impresa en 3D y se lo ajusta con tornillos a las tuercas T en el costado del perfil, en el motor de igual forma se coloca la polea dentada 2GT de 20 dientes y se la ajusta con sus respectivos prisioneros.

Se monta las patas y ejes con la polea de 60 dientes al perfil, se lo fija con tornillos y tuercas, se coloca la correa 2GT 6mm de 200mm y se ajusta la distancia adecuada para que exista una tensión adecuada y de esta forma queda montado el primer lado de la banda transportadora, el cual se encarga de transmitir el movimiento.

Figura 105

Ensamble Banda Transportadora - Contraparte



Nota. Es necesario tener extremo cuidado con los rodamientos a la hora de instalarlos, ya que al ejercer presión con golpes o acciones fuertes tienen a perder su funcionalidad y se estropean.

Para la contraparte de la banda transportadora en cambio insertaremos los rodamientos F686zz en el eje impreso en 3D, uno en cada extremo.

Con el perno hexagonal de M5 de 50mm lo introducimos por la parte externa de las patas y aseguramos con una tuerca.

Finalmente, todo eso se fija al perfil con los tornillos M5 y sus respectivas tuercas y de esta forma queda instalado la contraparte de la banda transportadora.

Figura 106

Ensamble Banda Transportadora - Sensores y Correa



Nota. El soporte de los sensores está diseñado para sensores de tipo industrial, ya sean fotoeléctricos, capacitivos o inductivos.

Una vez se dispone de la banda completamente armada, para montar los sensores es necesario haber introducido dos tuercas en el perfil y montar el soporte que sujetara al sensor.

Los sensores pueden ser ajustados a diferentes alturas según la necesidad del operador, permitiendo registrar elementos de mayor o menor tamaño.

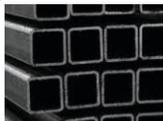
De igual forma se monta la correa de modo que quede tensa sobre la banda y se verifica que pase por su correspondiente lugar sin atorarse o descarrilarse.

Módulo Base - Ensamble

El módulo base comprende en si toda la mesa donde se va a montar el sistema, para su elaboración fue necesaria la adquisición igualmente de diversos materiales, especificados en la siguiente tabla:

Tabla 54

Lista de materiales - Ensamble Mesa

Material	Gráfica
Tubo cuadrado de 2mm de espesor, en acero al carbono fundido.	
Lámina de tol Negro en acero al carbono 1023.	
Perfil de aluminio para correderas.	
Pernos hexagonales M6 de 20mm.	
Ruedas locas	

Nota. Los materiales elegidos no se venden por pedazos, los perfiles y tubos cuadrados se los consigue en longitudes de 6 metros.

Para comenzar con el ensamble de la mesa, es necesario seguir los planos especificados en la **Figura 42** se corta los tubos cuadrados y se forma la estructura.

Figura 107

Ensamble Módulo Base - Cortes



Nota. Los tubos cuadrados tienen una medida de pulgada y media con espesor de 2 milímetros en acero negro fundido.

Es necesario cortar y soldar cada uno de los tubos cuadrados en base a las medidas previamente especificadas, formando la estructura de mesa necesaria.

Figura 108

Ensamble Módulo Base - Estructura y Soldadura

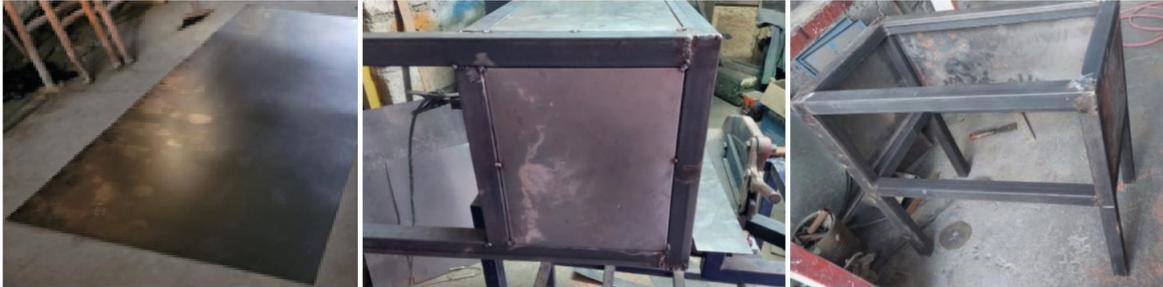


Nota. La soldadura ocupada para los tubos y para el tol es SMAW

Una vez se logra formar la estructura deseada y se ha soldado cada uno de las intersecciones se procede a cortar y doblar la lámina de Tol hasta formar las tapas del módulo.

Figura 109

Ensamble Módulo Base - Colocación del Tol



Nota. El tol recubre en su totalidad la mesa ya su vez servirá como lugares de montaje de elementos de control.

Para realizar los cortes del tol se lo realiza mediante sierra eléctrica para este tipo de metal y para lograr la forma deseada se ha usado una dobladora mecánica.

Figura 110

Ensamble Módulo Base – Estructura Mesa Finalizada



Nota. Módulo tipo gabinete con bisagras para acceso y cerradura de seguridad.

Una vez se finaliza la estructura, ya pulido, puesto bisagras de tambor y su respectiva cerradura queda un módulo similar a un gabinete y para tener un mejor acabado se lo trata con pintura al horno.

Figura 111

Ensamble Módulo Base - Perfiles de Aluminio



Nota. Se realiza los cortes de los perfiles de aluminio acorde a la medida de la mesa.

Es necesario fijar los perfiles de aluminio en la parte superior, ya que esto nos permitirá tener facilidad de colocación de elementos al armar la celda, para ello se realiza los huecos en el tubo cuadrado en la parte superior y mediante los tornillos hexagonales se los fija adecuadamente, llegando así a concluir el módulo base.

Tablero de Control - Ensamble

Se ha desarrollado un tablero de control en el gabinete del módulo base, este tablero cumple con las necesidades para un correcto funcionamiento a la hora de usar el módulo, para su ensamble se ha necesitado de varios materiales, pero el más importante de ellos, el que actúa como cerebro del sistema, el PLC LOGO V8.3.

En el ensamble, es necesario empezar por fijar los elementos externos de fácil acceso, esto es la botonera de encendido y apagado e indispensablemente el paro de emergencia para todo el sistema.

Figura 112

Tablero de Control - Ensamble - Elementos Externos

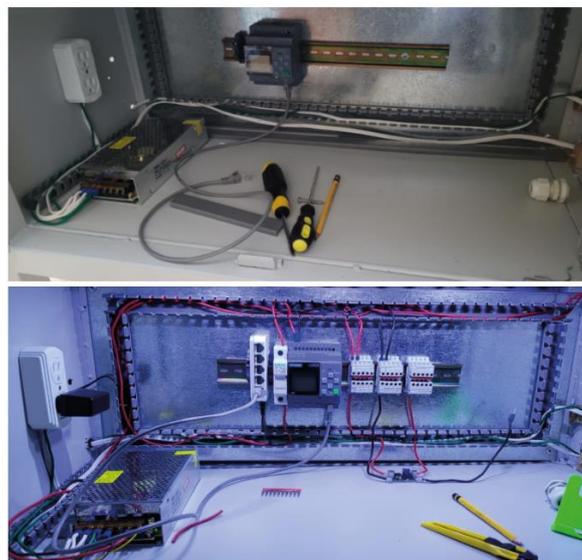


Nota. Debido a que en la botonera existe 120 voltios de corriente alterna, se ha empleado cable AWG 14.

El cableado empieza entrando por la botonera para luego encaminarse a una fuente de voltaje de 12 voltios a 15 amperios sin descuidar de que antes de alimentar cualquier elemento pasa por el paro de emergencia ya que funciona independientemente a todo lo demás.

Figura 113

Tablero de Control - Ensamble - PLC, Borneras, Switch y Protección



Nota. El PLC debe de tener una protección a su entrada de voltaje positivo, por ello se acopla un portafusibles con un fusible de 1 Amperios para su cuidado.

Una vez entra en la fuente los 120V AC se convierte a 12V DC se dirige al paro de emergencia y regresa al primer conjunto de borneras, se debe explicar que cada conjunto de borneras estan puenteadas con un equipotencial, es decir tanto por arriba como por abajo son el mismo bloque o punto de conexión.

El primer conjunto de borneras se alimenta con los 12 voltios DC de ahí se toma una salida hacia el portafusibles y de este se conecta a la entrada positiva del PLC.

El segundo conjunto de borneras consta de la parte negativa de la fuente de 12 voltios y de este conjunto se toma una salida a la entrada negativa del PLC.

Debido a que ciertos elementos funcionan con un voltaje mucho más bajo de 12 voltios, ocupando un máximo de 5 voltios, se ha empleado un módulo reductor LM2596 que tiene la capacidad de bajar el voltaje desde los 30 hasta los 3 voltios, con una corriente máxima de 3 amperios. Entra al módulo los 12 voltios y salen 5 voltios, es así que la salida positiva ingresa al tercer conjunto de borneras y la salida negativa ingresa al cuarto conjunto de borneras.

Como último punto se debe explicar que junto al PLC existe un Switch ethernet el cual se encarga de realizar la comunicación Modbus, del controlador lógico programable se conecta el cable de red al switch y de este se extiende un segundo cable de red que permitirá usarse desde fuera del tablero de control para programar el PLC con un software adecuado.

Todos estos elementos estan montados sobre un Riel Din y para todo el cableado se ha ocupado regletas ranuradas que conduzcan, resguarden y organice el sistema sin dejar cables innecesarios al descubierto.

Para evitar perforaciones en la parte posterior del tablero de control dejando imperfecciones en la parte externa del módulo, se ha implementado un segundo fondo con un tol de 1 milímetro empotrado en los tubos cuadrados.

Celda Robótica – Ensamble

Una vez todos los sistemas que componen la celda actúan en condiciones optimas, es necesario integrar todos estos elementos, para ello se ocupa los perfiles de aluminio como base y se los fija mediante tornillos y seguros, obteniendo como resultado:

Figura 114

Celda Robótica - Implementación



Nota. Para una mejor visualización se ha retirado la guarda que protege el sistema.

Validación de la Hipótesis

Con el propósito de verificar que el trabajo desarrollado cumple con un resultado optimo es necesario validar la hipótesis, la cual dice: ¿El diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos permitirá integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga?

Es así que para el desarrollo del método estadístico del Chi-Cuadrado que facilitara una validación o negación de la hipótesis se empieza por definir la hipótesis y la hipótesis nula.

Tabla 55

Planteamiento de Hipótesis (Hi) e Hipótesis Nula (Ho)

Hipótesis (Hi)	Hipótesis Nula (Ho)
El diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos permitirá integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.	El diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos no permitirá integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Nota. En base a los resultados estadísticos, se puede validar, negar o aceptar tanto Hi como Ho según diferentes pruebas de funcionamiento.

En base a las diferentes pruebas realizadas y las acciones efectuadas por cada uno de los componentes que integran la celda robótica se puede detallar los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 56

Pruebas de Funcionamiento

	Elemento	Pruebas	Funciona	No Funciona
1	Banda de Ingreso	15	15	0
2	Banda de Clasificación	15	15	0
3	Sensores	15	12	3
4	Actuadores Lineales	15	10	5
5	Robot Transportador	15	11	4
	Total	75	63	12

Nota. Las pruebas fueron realizadas con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del módulo para uso a posterior.

En base a los datos se aplica la fórmula de frecuencia esperada de la siguiente forma:

$$f_e = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

Donde sus variables son:

f_e = frecuencia esperada

N = Total de pruebas realizadas

T_j = Pruebas funcionales o no funcionales

T_i = Pruebas realizadas

Es así que se obtiene la frecuencia esperada tanto para las pruebas funcionales como para las pruebas no funcionales:

$$f_{e(\text{funcional})} = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

$$f_{e(\text{funcional})} = \frac{15 \times 63}{75}$$

$$f_{e(\text{funcional})} = 12.6$$

De igual forma se obtiene la frecuencia esperada no funcional:

$$f_{e(\text{no funcional})} = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

$$f_{e(\text{no funcional})} = \frac{15 \times 12}{75}$$

$$f_{e(\text{no funcional})} = 2.4$$

Una vez adquiridos los datos de frecuencia esperada se puede aplicar la formula correspondiente para obtener el cálculo del Chi-Cuadrado:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Donde sus variables son:

χ^2 = Chi-Cuadrado

f_e = Frecuencia esperada

f_o = Frecuencia absoluta

Para realizar el cálculo es necesario obtener cada uno de estos datos:

Tabla 57

Cálculo del Chi - Cuadrado

	Pruebas	f_o	f_e	$(f_o - f_e)$	$(f_o - f_e)^2$	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
1	Funciona	15	12.6	2.4	5.76	0.4571
2	Funciona	15	12.6	2.4	5.76	0.4571
3	Funciona	12	12.6	-0.6	0.36	0.0285
4	Funciona	10	12.6	-2.6	6.76	0.5365
5	Funciona	11	12.6	-1.6	2.56	0.2031
1	No Funciona	0	2.4	-2.4	5.76	2.4
2	No Funciona	0	2.4	-2.4	5.76	2.4
3	No Funciona	3	2.4	0.6	0.36	0.15
4	No Funciona	5	2.4	2.6	6.76	2.8166
5	No Funciona	4	2.4	1.6	2.56	1.0666
	TOTAL					10.5155

Nota. Es necesario sumar tanto los valores de chi cuadrado de las pruebas funcionales como de las no funcionales.

De esta forma tenemos que el chi cuadrado es:

$$\chi^2 = 10.515$$

Definimos los grados de libertad acorde a las filas y columnas que estamos analizando:

$$v = (\text{filas} - 1)(\text{columnas} - 1)$$

$$v = (5 - 1)(2 - 1)$$

$$v = 4$$

Estableciendo un margen de error del cinco por ciento y una vez obtenido el grado de libertad, se puede hacer referencia a la tabla y obtener que:

$$\alpha = 0.05$$

Haciendo referencia a la siguiente tabla de puntos porcentuales en la distribución del chi cuadrado, se tiene que:

Figura 115

Puntos porcentuales de la distribución χ^2

Tabla 6 (continúa)

$\chi^2_{0.100}$	$\chi^2_{0.050}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.010}$	$\chi^2_{0.005}$	gl
2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944	1
4.60517	5.99147	7.37776	9.21034	10.5966	2
6.25139	7.81473	9.34840	11.3449	12.8381	3
7.77944	9.48773	11.1433	13.2767	14.8602	4
9.23635	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496	5
10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476	6
12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777	7
13.3616	15.5073	17.5346	20.0902	21.9550	8
14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5893	9

Nota. Con un valor de 5% y grados de libertad igual a 4 se obtiene 9.48. Tomado de (Wackerly y otros, 2010).

De tal manera se debe de comparar el valor calculado como el teórico para validar o negar la hipótesis de la siguiente forma:

$$\text{Si } \chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{teorico}} \therefore \text{se descarta } H_0$$

$$\text{Si } \chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2_{\text{teorico}} \therefore \text{se descarta } H_1$$

Comparando los resultados se identifica que:

$$10.515 > 9.48773$$

Por tal motivo, se descarta la hipótesis nula H_0 dando paso y validando la hipótesis H_1 como se especifica en la **Tabla 55**.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La recopilación de información complementaria formo un papel fundamental del proyecto ya que esta permite acoplar directrices, normas, estado del arte y funciones que facilitan el desarrollo del trabajo tanto en el apartado mecánico, eléctrico o en su programación, ya que se ha hecho uso de documentación de código abierto y libre acceso que permite un análisis completo de variables que fueron integradas adecuadamente al proyecto.

Debido a la necesidad de mejorar la educación universitaria en varios centros de educación superior se ha conseguido bibliografía que ha resultado beneficiosa para el desarrollo del tema propuesto, varios ejemplos son los diversos módulos que ya se encuentran desarrollados en el Laboratorio de Mecatrónica de la ESPE o incluso módulos desarrollados por empresas de automatización industrial como Festo.

Al plantear el diseño mecánico para las funciones de transporte y clasificación en el módulo se integró un brazo robótico con las características de ser de fácil mantenimiento, lenguaje de programación e interfaz intuitiva pero este apartado no solo termina ahí ya que tambien se implementó bandas transportadoras de las cuales se obtuvo su valor de flexión máxima en diferentes puntos, sus condiciones para trabajo del eje motriz, la selección de su motor e incluso relaciones de engranes, sin descuidar además los actuadores lineales que cumplen la acción de clasificación.

Al desarrollar el módulo, las variables que más relevancia surgieron fue la integración del PLC como un sistema de control del entorno, ya que es el que gestiona cada uno de los elementos de la celda como lo son bandas, sensores y actuadores, mientras que la otra variable con más dificultad fue el control del Robot ya que este no dispone de una gestión realizada por el controlador lógico, sino es independiente y se lo comanda mediante un ordenador.

Durante el transcurso o desarrollo del proyecto, los diferentes elementos a implementar varían tanto del punto de vista eléctrico, mecánico o estructural, el más importante de cada uno sería el controlador lógico programable, motores a pasos para el movimiento del robot sin olvidar el diseño e integración de piezas impresas en 3D, sus respectivos controladores y finalmente tubos estructurados junto con perfiles para el montaje de la mesa y base donde se ensambló tanto el tablero de control como la celda.

El módulo integra varias normas ISO de seguridad para el funcionamiento y seguridad de los usuarios como llega a ser la más importante de todas, la ISO 10218-2 que dicta o desglosa directrices y parámetros tanto para el Lay Out, seguridad y prevención de riesgos a la hora de desarrollar una celda automatizada.

La programación que dicta el control de los diferentes sistemas que integran la celda van desde lenguaje Ladder o KOP para el PLC que gestiona todo el entorno y finalmente el robot que principalmente funciona con Código G utilizado en mecanismos CNC a través de control por Arduino y GRBL.

Al desarrollar las pruebas, los datos de registro proporcionados por los sensores capacitivos juegan un papel fundamental ya que son los ojos de la celda y dictan el funcionamiento o acción a realizar, permitiendo comprobar la correcta programación del módulo, su idóneo funcionamiento e integración entre los diferentes elementos que conforman la celda y su adecuada comunicación.

Recomendaciones

Algo importante a destacar y tener cuidado en el apartado de recolección de información complementaria o diferentes elementos que se busca integrar, ya sea documentación, archivos con acceso gratuito o de código abierto, siempre es necesario verificar su procedencia, las normas que ha estipulado su creador y más que nada verificar si existen temas de derechos de autor que se deben respetar.

Además, debido a que empresas de automatización industrial grandes que venden sistemas modulares de enseñanza para estudiantes universitarios ocupan esto como un negocio y no se dispone de documentación o especificaciones de desarrollo de los sistemas, en ocasiones es necesario contactar con los fabricantes si se desea obtener información acertada, por lo que es recomendable tomar bibliografía desarrollada por temas de investigación o escritos de titulación.

Se puede sugerir que, dentro del apartado de clasificación y transporte, al ser una celda automatizada siempre es beneficioso considerar varias opciones a la hora de seleccionar cual será el eje central de funcionamiento del sistema, ya que al tener de donde escoger y realizando las tablas de selección adecuadas, se puede optar por elegir la opción que mejor se acople a la necesidad del proyecto.

A la hora de trabajar con el PLC al tratarse del Logo 8.3 este brinda la facilidad de programación tanto en Ladder (KOP) como en diagrama de funciones (FUP), se puede trabajar en el que mejor habilidad se tenga ya que son un solo clic se puede pasar de un sistema al otro en caso de ser necesario.

Es importante resaltar que, al momento de adquirir elementos eléctricos, mecánicos o de programación, revisar la cantidad de veces que sea necesaria para asegurar que es lo que se necesita y se integrará adecuadamente en el desarrollo del proyecto, caso contrario a posterior es necesario sustituirlo llegando a causar pérdidas económicas innecesarias.

Se sugiere que a la hora de implementar normas ISO es necesario buscar la información de estas ya sea en manuales, webinar, proyectos de investigación o en referencias de empresas ya que si no se dispone de los recursos económicos para adquirirlas es casi imposible acceder a estos documentos y su precio no es nada accesible.

Al emplear Arduino y su Shield CNC para control del robot mediante GRBL es recomendable usar versiones superiores a la 0.9 para evitar problemas o conflictos en su compilación y de igual forma es preferible utilizar Arduino Uno antes que Nano o Mega ya que la mayoría de los programas se han probado y optimizado para reducir al mínimo la probabilidad de error al usar Arduino UNO.

Es esencial a la hora de trabajar con sensores identificar de que tipo son, ya sean PNP o NPN ya que algunos PLC no disponen de la capacidad de trabajar con las dos opciones, en el presente caso el Logo de Siemens si lo realiza, con sensores PNP funciona con señales normalmente abiertas, mientras que al ser NPN trabaja con señales normalmente cerradas, algo importante a considerar a la hora de realizar la programación.

Bibliografía

20sffactory. (2021). *20sffactory*. Community Robot Arm: <https://www.20sffactory.com>

Agila, C. (2013). *Diseño de un módulo didáctico para prácticas de neumática en el laboratorio de control industrial de la carrera de educación técnica de la facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación de la Universidad Central del Ecuador*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3359>

ALLDATASHEET. (2024). *JGA25-370 Datasheet (PDF) - List of Unclassified Manufacturers*. ALLDATASHEET.COM: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1567334/ETC2/JGA25-370.html>

APM Electronics. (2017). *APM Electronics*. Arduino Mega 2560.

Arduino. (20 de Noviembre de 2014). *¿Qué es Arduino?* Arduino: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

Arduino. (13 de Enero de 2024). *Arduino Uno*. Arduino.cl:
<https://arduino.cl/producto/arduino-uno/>

Aula21. (12 de Febrero de 2021). *Impresión 3D: todo lo que necesitas saber*. Aula21 Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-impresion-3d/>

AV Electronics. (2023). *AV Electronics*. Driver A4988:
<https://avelectronics.cc/producto/driver-a4988/>

Barrientos, A., Peñin, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *Fundamentos de Robótica* (Segunda ed.). Madrid, España: McGRAW-Hill/Interamericana.

Betancourt, D. (24 de Noviembre de 2018). *Ingenio Empresa*. Cómo hacer una matriz de priorización : <https://www.ingenioempresa.com/matriz-de-priorizacion/>

Boltronic. (2016). *¿Qué son las celdas robóticas?* Boltronic:

<https://blog.boltronic.com.mx/celdas-roboticas>

Borja, D., & Chicaiza, B. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO CON SOFTWARE Y HARDWARE LIBRE PARA LA SUPERVISIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS EN TIEMPO REAL PARA EL EMPAQUETADO DE PRODUCTOS*. Latacunga: ESPE Sede Latacunga.

C Tecnología para los negocios. (19 de Octubre de 2016). *Sistemas Ciberfísicos: la respuesta a las necesidades de la industria*. Cámara Valencia - C Tecnología para los negocios: <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/sistemas-ciberfisicos-la-respuesta-a-las-necesidades-de-la-sociedad-y-la-industria/>

Ceinmant. (13 de Junio de 2019). *Coefficiente de fricción en rodamientos*. Ceinmant Mantenimiento - Confiabilidad:

<https://www.ceinmant.com/?fbclid=IwAR0oEIVXcbuvjxVsfJLeELjeUwqwJtg844rVCpe2Q4LZ7ueRFeyoBDoqcQM>

Christoph, R., Muñoz, R., & Hernández, A. (Junio de 2016). *Manufactura Aditiva*. *Central America Journal - Realidad y Reflexión*.

<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2873/1/Manufactura%20aditiva.pdf>

Cimech3D. (23 de Agosto de 2022). *Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20×60 – Negro*.

Cimech3D: <https://www.cimech3d.cl/producto/perfil-aluminio-v-slot-20x60-negro/>

Cimech3D. (14 de Julio de 2023). *Cimech3D*. A4988, driver motor paso a paso:

<https://www.cimech3d.cl/producto/a4988-driver-motor-paso-a-paso/>

Cytron Technologies. (2023). *Cytron Marketplace*. Nema 17HS4401 Bipolar Stepper Motor:

<https://www.cytron.io/p-nema-17hs4401-bipolar-stepper-motor>

Das, D. (8 de Marzo de 2023). *Stepper Motor Control with A4988 Stepper Motor Driver and Arduino*. CircuitDesign: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interface-a4988-stepper-motor-driver-with-arduino>

DatasheetCafe. (15 de Abril de 2023). *DatasheetCafe*. 17HS4401 Datasheet: <https://www.datasheetcafe.com/17hs4401-datasheet-stepper-motor/>

Deloitte. (25 de Enero de 2018). *¿Qué es la Industria 4.0?* Deloitte.: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>

Dueñas, M. (20 de Noviembre de 2019). *Revoluciones Industriales* . LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/revoluciones-industriales-miguel-dueñas-arango/?originalSubdomain=es>

Electrotec Electrónica y Robótica. (3 de Marzo de 2017). *Marcas y Modelos de PLC más usados*. Automatización y Electricidad: https://www.facebook.com/AutomatizacionYElectricidad/photos/marcas-y-modelos-de-plc-más-usados/642641152606289/?paipv=0&eav=AfYt7zRBxOPDuJSPqr1GUBLkqte32uq5Fh-VJj-wSQSwL0Ljfw_h_qglusSD5YpgpSc&_rdr

eSUN. (2023). *eSUN*. PLA+: <https://www.esun3d.com/es/pla-pro-product/>

eSUN. (2023). *eSUN*. ePA: <https://www.esun3d.com/es/epa-product/>

eSUN. (2023). *eSUN*. ABS: <https://www.esun3d.com/es/abs-product/>

EUCHNER. (12 de Septiembre de 2022). *Seguridad en Celdas Robóticas ISO 10218-2*.

EUCHNER EN ESPAÑOL:

https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=t5VYQLB_7Ko

- Fainca-Group. (6 de Diciembre de 2021). *Soluciones de Ingeniería, Automatización Industrial Seguridad de Máquinas y Robótica en Ecuador*. Fainca Group CA.: <https://fainca-group.com/2021/12/06/robotica-en-ecuador/>
- Festo CO. (2018). *Formación técnica*. Festo: https://www.festo.com/co/es/e/educacion-id_3776/
- Figueiredo, F., & De Oro, P. (20 de Septiembre de 2016). *TODOPIC*. Tarjeta de potencia RAMPS (Repap Arduino Mega Pololu Shield): <https://www.todopic.com.ar/foros/index.php?topic=46782.0>
- García, D. (10 de Febrero de 2019). *Parámetros para seleccionar un robot industrial correcto*. infoPLC: <https://www.infopl.net/blogs-automatizacion/item/106121-9-parametros-seleccionar-robot-industrial>
- Gómez, A. (11 de Febrero de 2022). *Que es la manufactura aditiva?* CIDESI: <https://cidesi.com/site/que-es-la-manufactura-aditiva/>
- Green, J. (22 de November de 2021). *Grb1 v1.1 Configuration*. GitHub gnea/grbl: <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Configuration>
- Grupo Electrostore. (2019). *ES Electrostore*. COntrolado pololu DRV8825: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/controladores-de-motores/drv8825-controlador-de-motor-paso-a-paso-alta-corriente/>
- Guerrero, J. (21 de Septiembre de 2014). *Arduino Uno: Especificaciones y características*. PLUSELECTRIC: <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>
- Gultekin, H., Akturk, S., & Karasan, O. (2008). Scheduling in robotic cells: process flexibility and cell layout. *International Journal of Production Research - Taylor & Francis*, XLVI(8), 9. <https://doi.org/10.1080/00207540601100262>

Hiwonder. (2022). *Hiwonder* . Hiwonder MaxArm Open Source Robot Arm Powered by ESP32:

https://www.hiwonder.com/products/maxarm?_pos=1&_sid=da8f23a46&_ss=r&variant=40030418600023

Ingeniosos. (18 de Junio de 2023). *Criterios de Falla Rankine, Tresca y Von Mises*.

Ingeniosos - YouTube : <https://www.youtube.com/watch?v=9iBV3qF7WA4>

Interempresas. (16 de Mayo de 2017). *Festo: empresa familiar responsable y actor global en la digitalización*. Automatización en la Industria 4.0 - Interempresas:

<https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/186145-Festo-empresa-familiar-responsable-y-actor-global-en-la-digitalizacion.html>

Izaro. (2023). *Los sistemas ciberfísicos, claves en la industria 4.0*. IZARO Manufacturing

Technology: <https://www.izaro.com/los-sistemas-ciberfisicos-claves-en-la-industria-40/c-1652610657/>

Kruger, B. (30 de Agosto de 2015). *Arduino CNC Shield - 100% GRB Compatible*.

Protoneer.co.nz: <https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield/>

Lucas-Nülle . (2023). *Sistema mecatrónico industrial IMS*. Lucas-Nülle : [https://www.lucas-](https://www.lucas-nuelle.es/2273/apg/18692/Sistema-mecatr-nico-industrial-IMS:-La-nueva-generaci-n.htm)

[nuelle.es/2273/apg/18692/Sistema-mecatr-nico-industrial-IMS:-La-nueva-generaci-n.htm](https://www.lucas-nuelle.es/2273/apg/18692/Sistema-mecatr-nico-industrial-IMS:-La-nueva-generaci-n.htm)

Lucas-Nülle. (2018). *Acerca de Nosotros - Lucas-Nülle*. LN - Lucas-Nülle: [https://www.lucas-](https://www.lucas-nuelle.es/3486/La-Empresa/Acerca-de-nosotros.htm)

[nuelle.es/3486/La-Empresa/Acerca-de-nosotros.htm](https://www.lucas-nuelle.es/3486/La-Empresa/Acerca-de-nosotros.htm)

Maqmetal. (13 de Abril de 2021). *La célula robotizada: una nueva manera de trabajar*. MqM:

<https://maqmetal.com/celulas-robotizadas-industria/>

Mircescu, A. (19 de Septiembre de 2021). *GitHub*. Madl3x/x-scara:

<https://github.com/madl3x/x-scara>

Mora, M. (29 de Julio de 2022). *Criterio de von Mises*. Mecapedia:

http://www.mecapedia.uji.es/pages/criterio_de_von_Mises.html

Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales* (Quinta ed.). México: Pearson Educación.

Navarro, A. (2021). *Robot Industrial. Manual de Instalación* (Primera ed.). Madrid, España: Paraninfo.

Novatronic. (2023). *Novatronic*. ESP-WROOM-32 ESP32S WIFI Bluetooth:

<https://novatronicec.com/index.php/product/esp32-placa-de-desarrollo-v1/>

Novatronic. (2023). *Novatronic*. Servomotor Mg995 tower pro:

<https://novatronicec.com/index.php/product/servomotor-mg995-11kg/>

Novatronic. (2023). *Novatronic*. TB6600 Deiver de motor paso a paso:

<https://novatronicec.com/index.php/product/tb6600-driver-para-motor-paso-a-paso/>

Paucar, J. (3 de Diciembre de 2020). *La automatización avanza en el Ecuador*. ecomex360:

<https://www.e-comex.com/la-automatizacion-avanza-en-el-ecuador/>

Perfiles CNC Importadora. (2024). *Perfiles ranura V*. Perfiles CNC Importadores

Esestructuras, máquinas y accesorios CNC: <https://perfilescnc.com/categoria-producto/perfilesv>

Ponsa, P., & Granollers, A. (Junio de 2010). *Diseño y Automatización Industrial*.

ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/266501535_Disenio_Industrial_DISENO_Y_AUTOMATIZACION_INDUSTRIAL

Raspberry Pi Ltd. (2023). *Raspberry Pi*. Raspberry Pi 4:

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>

Reyes, F. (2011). *Robótica Control de Robots Manipuladores* (Primera ed.). México:

Alfaomega.

Robotics Annin. (2015). *AR ANNIN ROBOTICS*. Open source 6 axis robots:

<https://www.anninrobotics.com>

Rodríguez, P. (27 de Julio de 2022). *Ensayo de tracción*. Mecapedia:

http://www.mecapedia.uji.es/pages/ensayo_de_traccion.html

Saldias, A. (21 de Febrero de 2019). *¿Qué es un PLC? ¿Cómo funciona? ¿Para qué sirve?*

SRC Especialistas en regulación y control de temperatura: <https://srcsl.com/que-es-un-plc/>

Sanchez, J., Soto, B., Alejandro, M., Roque, E., & Zamacota, D. (2020). Elaboración de módulos didácticos de Control Electromecánico para Unidades de Aprendizaje de las carreras de Máquinas con Sistemas Automatizados y Aerodinámica. *Latin American Journal of Science Education*.

Sarabia, G. (23 de Octubre de 2015). *La vinculación universidad-empresa y sus canales de interacción desde la perspectiva de la academia, de la empresa y de las políticas públicas*. CienciaUAT: <https://www.redalyc.org/journal/4419/441944752002/html/>

Sarta, J. (31 de Enero de 2020). *Control de un PaP con el driver A4988*. Moviltronics:

<https://moviltronics.com/como-controlar-un-motor-pap-con-el-driver-a4988/>

Seguridad Industrial SA. (10 de Octubre de 2016). *Sistema de señalización simbologías y colores aplicados en seguridad industrial*. Seguridad Industrial:

<https://iutsi.wordpress.com/sistemadesenalizacion/>

SSDielect. (2024). *Shield V3 para Impresora CNC REPRAP 3D*. SSDielect:

<https://ssdielect.com/partes-para-cnc/1040-shield-v3-cnc-3d.html>

Stepper Online. (2023). *Stepperonline*. Serie E nema 23 bipolar: [https://www.omc-](https://www.omc-stepperonline.com/es/3pcs-serie-e-nema-23-bipolar-1-8deg-1-9nm-269oz-in-2-8a-3-2v-57x57x76mm-4-cables-3-23he30-2804s)

[stepperonline.com/es/3pcs-serie-e-nema-23-bipolar-1-8deg-1-9nm-269oz-in-2-8a-3-2v-57x57x76mm-4-cables-3-23he30-2804s](https://www.omc-stepperonline.com/es/3pcs-serie-e-nema-23-bipolar-1-8deg-1-9nm-269oz-in-2-8a-3-2v-57x57x76mm-4-cables-3-23he30-2804s)

- Tekniker. (2024). *Sistemas Ciber-físicos*. Tekniker Member of Basque Research & Technology Alliance: <https://www.tekniker.es/es/sistemas-ciber-fisicos>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta ed.). Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- UNIR. (24 de Agosto de 2022). *Los sistemas ciberfísicos son uno de los avances más claros de la Industria 4.0: los procesos físicos están ahora conectados entre sí y con ordenadores que los monitorizan y retroalimentan*. UNIR La Universidad en Internet: <https://www.unir.net/ingenieria/revista/sistemas-ciberfisicos/>
- UNIT Electronics. (2023). *CNC Shield V3 para Arduino Uno*. UNIT Electronics: <https://uelectronics.com/producto/cnc-shield-v3-para-arduino-uno/>
- Wackerly, D., Mendenhall, W., & Scheaffer, R. (2010). *Estadística Matemática con Aplicaciones* (Séptima ed.). México: Cengage Learning.
- Winder, W. (2024). *Universal G-Code Sender*. UGS Website: https://winder.github.io/ugs_website/
- Yacuzzi, E., & Martín, F. (2003). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS*. Universida del CEMA, Buenos Aires. Retrieved Mayo de 2019.

Anexos