



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA VIBRATORIO
AUTOMATIZADO MEDIANTE UNA INTERFAZ HMI PARA EL
ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA GRANULAR A TRAVÉS DE
INESTABILIDADES HIDRODINÁMICAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

MILDRED KORINA JARAMILLO VÁSQUEZ

ISRAEL ALEXIS MARCATOMA LÓPEZ

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA VIBRATORIO
AUTOMATIZADO MEDIANTE UNA INTERFAZ HMI PARA EL
ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA GRANULAR A TRAVÉS DE
INESTABILIDADES HIDRODINÁMICAS

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

MILDRED KORINA JARAMILLO VÁSQUEZ

ISRAEL ALEXIS MARCATOMA LÓPEZ

DIRECTOR: Ing. MARCO ANTONIO VITERI

Riobamba - Ecuador

2023

© 2023, Mildred Korina Jaramillo Vásquez; Israel Alexis Marcatoma López.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

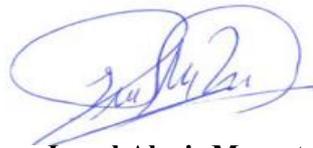
Nosotros, Mildred Korina Jaramillo Vásquez y Israel Alexis Marcatoma López, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de abril de 2023.



Mildred Korina Jaramillo Vásquez
1400653646



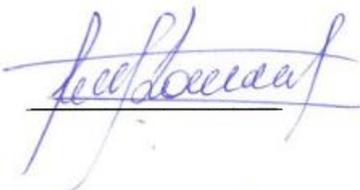
Israel Alexis Marcatoma López
0605118330

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA INGENIERÍA ELECTRONICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Técnico, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA VIBRATORIO AUTOMATIZADO MEDIANTE UNA INTERFAZ HMI PARA EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA GRANULAR A TRAVÉS DE INESTABILIDADES HIDRODINÁMICAS”, realizado por los señores: **MILDRED KORINA JARAMILLO VÁSQUEZ** y **ISRAEL ALEXIS MARCATOMA LÓPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Paul Patricio Romero Riera. PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-04-20
Ing. Marco Vinicio Viteri Barrera DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-04-20
Ing. Diego Guillermo Barba Maggi ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-04-20

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios por todo lo que soy, A mi familia, por ser mi motivación, mi soporte y por apoyo que me han brindado en el proceso de mi formación personal y académica; pero de manera especial a mis padres Darwin y Fernanda, ya que gracias a su esfuerzo estoy cumpliendo una meta más en mi vida profesional, también por formarme como una persona con valores y enseñarme a ser una persona honesta y justa. A mis hermanos Damián, Fernando y Gael por brindarme su confianza y estar presentes en mi vida. Finalmente, a mi abuelito Toribio, gracias por darme tu bendición y por la confianza brindada, por el amor que me han brindado a lo largo de mi vida, gracias a Uds. estoy cumpliendo este logro.

Mildred Korina Jaramillo Vásquez

A Dios por darme unos padres ejemplares que me educaron con grandes valores para afrontar la vida. A mi madre que gracias a su amor, esfuerzo y sacrificio pude culminar mi objetivo profesional. A mis hermanos y familia que han sido mi motivación para mi formación como persona y como profesional.

Israel Alexis Marcatoma López

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por ser quienes me han enseñado el significado del amor, perseverancia, constancia, y la confianza en mí misma. A la escuela Superior Politécnica del Chimborazo por darme la oportunidad de ser parte de ella, a los docentes han estado presente durante mi formación académica, al Ing. Marco Viteri, tutor del trabajo de titulación, por transmitir sus conocimientos y el tiempo que empleo en la elaboración de este proyecto de integración curricular, al Ing. Diego Barba asesor de la tesis, por sus consejos y sugerencias.

Mildred Korina Jaramillo Vásquez

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme dado la oportunidad de ser parte de esta reconocida institución y así lograr culminar un gran sueño. A los docentes que han guiado nuestra formación académica. A mi director de Tesis Ing. Marco Viteri, al Ing. Diego Barba, Asesor de Tesis; por sus acertadas orientaciones y sugerencias para que la presente investigación llegue a su culminación; gracias por compartir sus amplios conocimientos y experiencias con nosotros.

A Dios por darme salud, vida y fuerza en cada momento. A mi madre por ser el pilar fundamental en todo este proceso y acompañarme en cada momento, dándome la fortaleza para seguir adelante. A mi padre por haber estado siempre pendiente de los pasos que me han tomado alcanzar este logro. A mis hermanos por ofrecerme su apoyo incondicional. A mis amigos y familia por todo el aliento brindado y confianza depositada.

Israel Alexis Marcatoma López

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
SUMARY.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1. <i>Sistematización del problema</i>	3
1.3. Justificación Teórica.....	4
1.4. Justificación aplicativa.....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	7
1.6. Metodología.....	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Sistemas vibratorios.....	8
2.1.1. <i>Vibración</i>	8
2.1.2. <i>Tipos de vibración</i>	8
2.1.2.1. <i>Vibración libre</i>	9
2.1.2.2. <i>Vibración forzada</i>	9

2.1.2.3.	<i>Vibración amortiguada</i>	9
2.1.2.4.	<i>Vibración no amortiguada</i>	9
2.1.2.5.	<i>Otros tipos de vibración</i>	9
2.1.3.	<i>Tipos de excitación de vibraciones</i>	10
2.1.3.1.	<i>Aleatorias</i>	10
2.1.3.2.	<i>Pruebas con onda sinusoidal</i>	10
2.1.3.3.	<i>Prueba de barrido de onda sinusoidal</i>	10
2.1.4.	<i>Generadores de vibraciones</i>	11
2.1.4.1.	<i>Generadores Electrodinámicos</i>	11
2.1.4.2.	<i>Generadores Hidráulicos</i>	12
2.1.4.3.	<i>Generadores Mecánicos</i>	12
2.1.5.	<i>Estructuras antivibratorias</i>	13
2.1.6.	<i>Monitoreo de vibraciones</i>	14
2.1.7.	<i>Acelerómetros</i>	14
2.1.7.1.	<i>Capacitivos</i>	15
2.1.7.2.	<i>Piezoresistivos</i>	15
2.1.7.3.	<i>Piezoeléctricos</i>	16
2.2.	<i>Automatización</i>	16
2.2.1.	<i>Tipos de Automatización</i>	17
2.2.2.	<i>Niveles de Automatización</i>	17
2.2.2.1.	<i>Nivel elemental</i>	18
2.2.2.2.	<i>Nivel intermedio</i>	18
2.2.2.3.	<i>Tercer nivel</i>	18
2.2.2.4.	<i>Cuarto nivel</i>	20
2.2.3.	<i>Sistemas automatizados</i>	21
2.2.4.	<i>Modelo estructural de los sistemas automatizados</i>	22
2.2.5.	<i>Clasificación tecnológica</i>	22
2.2.5.1.	<i>Lógica cableada</i>	22
2.2.5.2.	<i>Lógica programada</i>	23

2.3.	Controlador Lógico programable.....	23
2.3.1.	<i>Controlador lógico programable</i>	23
2.3.2.	<i>Tipos de PLC.....</i>	24
2.4.	HMI	24
2.4.1.	<i>Tipos de HMI.....</i>	24
2.5.	IO-link.....	25
2.5.1.	<i>Arquitectura del sistema.....</i>	25
2.5.2.	<i>Sistemas de comunicación</i>	26
2.6.	Redes de comunicación industriales	26
2.6.1.	<i>Tipos de redes de comunicación industrial</i>	26
2.6.1.1.	<i>Comunicación serial.....</i>	27
2.6.1.2.	<i>Modbus</i>	27
2.7.	Estructura granular	28
2.8.	Inestabilidades hidrodinámicas	28
2.8.1.	<i>Inestabilidad de Bénard.....</i>	28
2.8.2.	<i>Inestabilidad de Faraday</i>	28
2.8.3.	<i>Inestabilidad de Rayleigh –Taylor (R-T).....</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1.	Requerimientos de sistema vibratorio.....	30
3.1.1.	<i>Requerimientos generales.....</i>	30
3.1.1.1.	<i>Requerimientos de la estructura antivibratoria.....</i>	31
3.1.1.2.	<i>Requerimientos del módulo de adquisición de datos.....</i>	31
3.1.1.3.	<i>Requerimientos del módulo de actuación y generación</i>	31
3.1.1.4.	<i>Requerimientos del módulo de control y visualización</i>	31
3.1.2.	<i>Elementos de la estructura antivibratoria</i>	32
3.1.3.	<i>Hardware módulo de adquisición de datos</i>	32
3.1.4.	<i>Hardware módulo actuación y generación.</i>	33

3.1.5.	<i>Elementos de hardware módulo de control y visualización</i>	33
3.2.	Concepción de la arquitectura	34
3.3.	Diseño de los módulos del sistema vibratorio	35
3.3.1.	<i>Módulo de adquisición de datos</i>	35
3.3.2.	<i>Módulo de actuación y generación</i>	36
3.3.3.	<i>Módulo de control y visualización</i>	37
3.4.	Diseño estructural del sistema vibratorio	38
3.4.1.	<i>Diseño estructura antivibratoria</i>	38
3.4.1.1.	<i>Estructura inferior</i>	39
3.4.1.2.	<i>Estructura superior</i>	40
3.4.1.3.	<i>Superficies</i>	42
3.4.2.	<i>Diseño estructural de la base del módulo de control y visualización</i>	43
3.4.3.	<i>Diseño estructural módulo de generación</i>	44
3.5.	Diseño eléctrico y de control	46
3.5.1.	<i>Dimensionamiento del sistema de protección</i>	46
3.5.1.1.	<i>Consumo de corriente para el módulo de adquisición de datos</i>	46
3.5.1.2.	<i>Consumo de corriente para el módulo de actuación y generación</i>	46
3.5.1.3.	<i>Consumo de corriente para el módulo de control y visualización</i>	47
3.5.2.	<i>Dimensionamiento de los conductores eléctricos</i>	47
3.5.3.	<i>Selección de los componentes de eléctricos y electrónicos del sistema</i>	47
3.5.3.1.	<i>Vibrador resonante</i>	48
3.5.3.2.	<i>PLC Schneider TM221CE24T</i>	48
3.5.3.3.	<i>Maestro IO-link</i>	49
3.5.3.4.	<i>Sensor de vibración VVB001</i>	50
3.5.3.5.	<i>HMI Wecon PI3070I-N</i>	51
3.5.3.6.	<i>Arduino uno</i>	52
3.5.3.7.	<i>DAC MCP4725</i>	53
3.5.3.8.	<i>Potenciómetro digital X9C103</i>	54
3.5.3.9.	<i>Modulo ethernet ENC28J60</i>	55

3.5.3.10.	<i>Amplificador TPA 3116D2</i>	56
3.5.3.11.	<i>Amplificador TDA7498</i>	57
3.5.3.12.	<i>Fuente conmutada de 24 V DC</i>	58
3.5.4.	<i>Esquema de conexiones</i>	58
3.5.4.1.	<i>Esquema de conexiones del módulo de control de visualización</i>	59
3.5.4.2.	<i>Esquema de conexiones del módulo de adquisición de datos</i>	63
3.5.4.3.	<i>Esquema de conexiones del módulo de actuación y generación</i>	64
3.6.	Programación y estructura del proceso.	67
3.6.1.	<i>Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema</i>	67
3.6.2.	<i>Programación del módulo de actuación y generación</i>	68
3.6.2.1.	<i>Software de programación</i>	68
3.6.2.2.	<i>Programación Arduino UNO</i>	68
3.7.	Programación del módulo de control y visualización.	71
3.7.1.	<i>Programación del PLC</i>	71
3.7.1.1.	<i>Software de programación</i>	71
3.7.1.2.	<i>Configuración de las señales de entradas, salidas y memorias</i>	72
3.7.1.3.	<i>Configuración de los objetos de red y software</i>	72
3.7.1.4.	<i>Programación ladder</i>	73
3.7.2.	<i>Diseño HMI</i>	79
3.7.2.1.	<i>Arquitectura</i>	79
3.7.2.2.	<i>Colores usados</i>	80
3.7.2.3.	<i>Implementación pantallas HMI</i>	80
3.8.	Configuración de la red	84

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	85
4.1.	Implementación y acondicionamiento del sistema vibratorio	85
4.2.	Caracterización del módulo de actuación y generación	86
4.2.1.	<i>Validación del módulo de generación</i>	86

4.3.	Caracterización del módulo de adquisición de datos.....	87
4.3.1.	<i>Validación del sensor de vibración.....</i>	87
4.3.2.	<i>Estabilidad del sensor de vibración.....</i>	90
4.3.2.1.	<i>Estabilidad sensor de vibración con frecuencia de 26 Hz.....</i>	90
4.3.2.2.	<i>Estabilidad sensor de vibración con frecuencia de 34 Hz.....</i>	91
4.3.2.3.	<i>Estabilidad sensor de vibración con frecuencia de 45 Hz.....</i>	92
4.4.	Comparación entre módulo de generación y generador de funciones	93
4.5.	Pruebas en el equipo con una capa de liquido.....	95
4.6.	Caracterización de la comunicación entre módulos.....	99
4.6.1.	<i>Pruebas de conectividad PC-PLC.....</i>	99
4.6.2.	<i>Pruebas de conectividad PC- HMI.....</i>	101
4.6.3.	<i>Pruebas de conectividad PC- maestro I0- Link.....</i>	102
4.6.4.	<i>Pruebas de conectividad PC- Módulo generación</i>	103
4.7.	Evaluación económica.....	105

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
5.1.	Conclusiones	106
5.2.	Recomendaciones	107

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Elementos de la estructura antivibratoria.....	32
Tabla 2-3:	Hardware módulo de adquisición de datos.	32
Tabla 3-3:	Hardware módulo de actuación y generación.	33
Tabla 4-3:	Hardware módulo de control y visualización.	33
Tabla 5-3:	Medidas estructura antivibratoria parte inferior.....	40
Tabla 6-3:	Medidas estructura antivibratoria parte superior.....	42
Tabla 7-3:	Medidas superficies estructura antivibratoria.	43
Tabla 8-3:	Medidas estructura antivibratoria.....	44
Tabla 9-3:	Medidas de la caja del módulo de generación y actuación.	46
Tabla 10-3:	Consumo de los elementos del módulo de adquisición de datos.	46
Tabla 11-3:	Consumo de los elementos del módulo de actuación y generación.	47
Tabla 12-3:	Consumo de los elementos del módulo de actuación y generación.	47
Tabla 13-3:	Características técnicas y específicas de PLC TM221CE24T.	49
Tabla 14-3:	Características técnicas y específicas del maestro IO-Link AL1342.....	50
Tabla 15-3:	Características técnicas y específicas del sensor de Vibración VVB001.....	51
Tabla 16-3:	Características técnicas y específicas del HMI PI3070I-N.	52
Tabla 17-3:	Características técnicas y específicas del Arduino uno.....	53
Tabla 18-3:	Características técnicas y específicas del DAC MCP4725.	54
Tabla 19-3:	Características técnicas y específicas del Potenciómetro digital X9C103.....	55
Tabla 20-3:	Características técnicas y específicas del módulo ethernet ENC28J603.	56
Tabla 21-3:	Características técnicas y específicas del Amplificador TPA3116D2.	57
Tabla 22-3:	Características técnicas y específicas del Amplificador TDA7498.	57
Tabla 23-3:	Principales características de la fuente de 24V en DC.....	58
Tabla 24-3:	Elementos del esquema de conexión del módulo de control y visualización.	59
Tabla 25-3:	Elementos del esquema de conexión del módulo de Adquisición de datos.	63
Tabla 26-3:	Conexión del módulo ENC28J60 con el Arduino UNO.....	64
Tabla 27-3:	Conexión de pines del Potenciómetro digital X9C103 con el Arduino UNO.	65
Tabla 28-3:	Asignación de entradas, memorias y salidas del PLC.....	72
Tabla 29-3:	Asignación de objetos de red y software.	72
Tabla 30-3:	Colores empleados para el HMI.....	80
Tabla 31-3:	Dirección IP de los dispositivos.....	84
Tabla 1-4:	Análisis error absoluto y error relativo análisis de frecuencia.	87
Tabla 2-4:	Análisis error absoluto y error relativo análisis de aceleración.	88
Tabla 3-4:	Prueba de estabilidad sensor VVB001 a 26 Hz.	91
Tabla 4-4:	Prueba de estabilidad sensor VVB001 a 34 Hz.	91

Tabla 5-4:	Prueba de estabilidad sensor VVB001 a 45 Hz.	92
Tabla 6-4:	Análisis comparativo entre el módulo de generación y generador de funciones.	93
Tabla 7-4:	Frecuencias de vibración, aceleraciones reducidas G, longitudes de onda l_{prom} y error de medición.	97
Tabla 8-4:	Longitud de Onda en función de los valores de frecuencia Teóricos de capilaridad.....	98
Tabla 9-4:	Resultados del test ping PC-PLC Schneider.	100
Tabla 10-4:	Resultados del test ping PC-HMI.....	101
Tabla 11-4:	Resultados del test ping PC-MAESTRO IO Link.....	103
Tabla 12-4:	Resultados del test ping PC-Módulo de generación.	104
Tabla 13-4:	Lista de precios.	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Esquema de generador electrodinámico.....	11
Ilustración 2-2:	Diagrama esquemático de típico generador mecánico de vibración.	12
Ilustración 3-2:	Masa de desequilibrio giratorio.....	13
Ilustración 4-2:	Esquema de un acelerómetro.....	15
Ilustración 5-2:	Esquema de un sensor capacitivo.....	15
Ilustración 6-2:	Acelerómetro piezoeléctrico.	16
Ilustración 7-2:	Estructura del control centralizado.....	19
Ilustración 8-2:	Estructura del control multicapa.	19
Ilustración 9-2:	Estructura del control distribuido.....	20
Ilustración 10-2:	Modelo estructural de un sistema automatizado.	22
Ilustración 11-2:	Arquitectura de un sistema IO-link.	25
Ilustración 12-2:	Asignación de pines IO-link.....	26
Ilustración 1-3:	Concepción de la arquitectura general del sistema.....	34
Ilustración 2-3:	Diagrama de bloques módulo de adquisición de datos.	36
Ilustración 3-3:	Diagrama de bloques módulo de actuación y generación.	36
Ilustración 4-3:	Diagrama de bloques módulo de control y visualización.....	37
Ilustración 5-3:	Diseño estructura antivibratoria.	38
Ilustración 6-3:	Estructura inferior antivibratoria.	39
Ilustración 7-3:	Diseño de la parte inferior de la estructura antivibratoria.	40
Ilustración 8-3:	Estructura superior anti vibratoria.	41
Ilustración 9-3:	Diseño de la parte superior estructura anti vibratoria.....	41
Ilustración 10-3:	Superficies de la estructura vibratoria.....	42
Ilustración 11-3:	Estructura anti vibratoria con las superficies colocadas en los niveles.....	43
Ilustración 12-3:	Plano estructural de la base del módulo de control y visualización.	44
Ilustración 13-3:	Diseño caja del módulo de generación.....	45
Ilustración 14-3:	Medidas caja del módulo de generación.	45
Ilustración 15-3:	Vibrador resonante.	48
Ilustración 16-3:	PLC Schneider TM221CE24T.....	49
Ilustración 17-3:	Maestro IO-link AL1342.....	50
Ilustración 18-3:	Sensor de vibracionVVB001.....	51
Ilustración 19-3:	HMI Wecon PI3070I-N.....	52
Ilustración 20-3:	Arduino uno.	53
Ilustración 21-3:	DAC-MCP4725.....	54
Ilustración 22-3:	Potenciómetro digital X9C103.....	55
Ilustración 23-3:	Módulo ethernet ENC28J60.....	55

Ilustración 24-3:	Amplificador de audio TPA3116D2.	56
Ilustración 25-3:	Amplificador TDA7498.	57
Ilustración 26-3:	Fuente de 24 VDC.	58
Ilustración 27-3:	Esquema de conexiones módulo de control y visualización.	59
Ilustración 28-3:	Esquemático de la distribución interna del gabinete.	60
Ilustración 29-3:	Esquemático de la distribución externa del gabinete.	61
Ilustración 30-3:	Implementación interna del módulo de control y visualización.	62
Ilustración 31-3:	Implementación externa del módulo de control y visualización.	62
Ilustración 32-3:	Esquema de conexiones módulo de adquisición de datos.	63
Ilustración 33-3:	Esquema de conexión del módulo generación y actuación.	65
Ilustración 34-3:	PBC del módulo de generación y actuación.	66
Ilustración 35-3:	Implementación de la placa del módulo de generación y actuación.	66
Ilustración 36-3:	Diagrama de flujo del funcionamiento general.	67
Ilustración 37-3:	Diagrama de flujo del módulo de actuación y generación.	69
Ilustración 38-3:	Ladder para el inicio y paro del proceso.	73
Ilustración 39-3:	Ladder etapa de sensado, transmisión de datos.	74
Ilustración 40-3:	Ladder bloques de las operaciones de la etapa de sensado.	75
Ilustración 41-3:	Ladder bloques de la etapa de generación y visualización de la frecuencia.	76
Ilustración 42-3:	Ladder etapa de regulación del voltaje.	77
Ilustración 43-3:	Ladder etapa de regulación del voltaje.	78
Ilustración 44-3:	Ladder etapa de los indicadores y salidas.	79
Ilustración 45-3:	Pantalla Principal HMI.	81
Ilustración 46-3:	Menú HMI.	81
Ilustración 47-3:	Pantalla manual HMI.	82
Ilustración 48-3:	Pantalla automática HMI.	83
Ilustración 49-3:	Pantalla de información de los integrantes del grupo de investigación.	83
Ilustración 50-3:	Configuración de la red.	84
Ilustración 1-4:	Sistema vibratorio automatizado.	85
Ilustración 2-4:	Toma de muestras entre el HMI y el Osciloscopio.	86
Ilustración 3-4:	Imágenes capturadas en una cámara de 4K de resolución y en un ambiente aislado de luz. En un rango de frecuencias desde 40 a 80 Hz.	96
Ilustración 4-4:	Visualización del análisis y procesamiento de imagen utilizando las funciones “Plot Profile” y “Polar Transform” para una frecuencia de 60 Hz y una aceleración de 6.80 m/s ²	97
Ilustración 5-4:	Longitudes de onda en función de la frecuencia de vibración f. Puntos: longitud de ondas en la superficie libre del líquido λ_w . La línea continua muestra la relación de dispersión para ondas capilares armónicas. Las barras	

	de error cuantifican las fluctuaciones en diferentes posiciones radiales. El error de medición producido es del 5%.....	99
Ilustracion 6-4:	Test commando Ping PC-PLC.	100
Ilustracion 7-4:	Test comando Ping PC-PLC.	101
Ilustracion 8-4:	Test comando Ping PC-Maestro IO-Link.....	102
Ilustracion 9-4:	Test comando Ping PC-módulo de generación	104

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PLC	Controlador Lógico Programable.
HMI	Interfaz Humano Máquina.
VDC	Voltaje en Corriente Continua.
VCA	Voltaje en Corriente Alterna.
IP	Internet Protocol.
TCP	Protocolo de control de transmisión.
Ms	Milisegundos.
Mm	Milímetros.
V	Volts
A	Amperios

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Hoja de datos PLC TM221CE24T.
- Anexo B:** Hoja de datos maestro IO-Link AL1342.
- Anexo C:** Hoja de datos sensor de vibración.
- Anexo D:** Hoja de datos HMI.
- Anexo E:** Hoja de datos arduino.
- Anexo F:** Hoja de datos DAC MCP4725.
- Anexo G:** Hoja de datos potenciómetro digital.
- Anexo H:** Hoja de datos módulo ethernet ENC28J60.
- Anexo I:** Programación modulo de generación.
- Anexo J:** Programación PLC

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo la implementación de un sistema automatizado mediante una interfaz humano máquina (HMI) para el estudio de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas en el laboratorio de investigación del Grupo de Investigación e Innovación Científica y Tecnológica (GIICYT) de la facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El sistema está compuesto por una estructura antivibratoria, así como por tres módulos. La estructura antivibratoria fue construida con aluminio estructurado, para brindar resistencia y estabilidad a las vibraciones generadas por el vibrador. El módulo de adquisición de datos está compuesto por un maestro IO-link y un sensor de vibración que es el encargado de recibir las señales producidas por el vibrador. En el módulo de generación y actuación se utilizó un Arduino Uno, un convertidor digital-analógico que genera la señal sinusoidal, un potenciómetro digital y un amplificador que activa al vibrador. El módulo de control y visualización incluye un controlador lógico programable (PLC) y un HMI que activan a los módulos mencionados con anterioridad, controlando las magnitudes como frecuencia y amplitud que intervienen en el sistema vibratorio, todos los elementos que conforman el sistema se comunican entre sí por medio del protocolo de comunicación MODBUS TCP/IP. Para la validación del sistema vibratorio se realizaron pruebas de generación de las ondas sinusoidales y las pruebas del sensado para verificar el correcto funcionamiento del sistema. Adicionalmente, para los distintos módulos se realizó pruebas de conectividad y pérdida de datos, donde se determinó que no existe pérdida de los paquetes enviados entre los distintos elementos. Finalmente, se llevó a cabo un experimento empleando agua destilada para confirmar la formación de anillos generados por el sistema vibratorio automatizado, basándose en investigaciones previas realizadas. Se concluye que se logró implementar el sistema vibratorio automatizado.

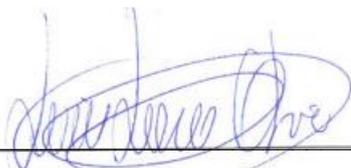
Palabras clave: <SISTEMA VIBRATORIO>, <PROTOCOLO MODBUS TCP/IP>, <ARDUINO>, < CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, < INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)>, <SENSOR DE VIBRACIÓN>, <MAESTRO IO-LINK (HARDWARE)>.



SUMMARY

The objective of this present graduate research was to implement an automated system through a human-machine interface (HMI) for the study of the granular structure through hydrodynamic instabilities in the research laboratory of the Scientific and Technological Research and Innovation Group of the Faculty of Computer Science and Electronics at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The system is made up of an anti-vibration structure as well as three modules. The anti-vibration structure was built with structured aluminum to provide resistance and stability to the vibrations generated by the vibrator. The data acquisition module is made up of an IO-link master and a vibration sensor that is responsible for receiving the signals produced by the vibrator. The generation and actuation module uses an Arduino Uno, a digital-to-analog converter that generates the sinusoidal signal, a digital potentiometer, and an amplifier that activates the vibrator. The control and visualization module includes a programmable logic controller (PLC) and an HMI that activate the modules mentioned above, controlling the magnitudes, such as frequency and amplitude, that intervene in the vibratory system; all the elements that make up the system communicate with each other through the MODBUS TCP/IP communication protocol. To validate the vibratory system, sinusoidal wave generation tests, and sensing tests were performed to verify that the system is operating correctly. Additionally, connectivity and packet loss tests were conducted for the different modules, where it was determined that there was no packet loss sent between the different elements. Finally, based on previous research, an experiment was carried out using distilled water to confirm the formation of rings generated by the automated vibratory system. It is concluded that the automated vibratory system was successfully implemented.

Keywords: <VIBRATORY SYSTEM>, <MODBUS TCP/IP PROTOCOL>, <ARDUINO>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>, <VIBRATION SENSOR>, <IO-LINK MASTER (HARDWARE)>.



Lenin Iván Lara Olivo

0602546103

INTRODUCCIÓN

El presente documento, muestra el proceso de implementación de un sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI para el estudio de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas, parte del grupo de investigación GIICYT, que pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

El trabajo de integración curricular se encuentra dividido en cuatro capítulos: en el primer capítulo se mencionan los fundamentos teóricos como punto de partida para el desarrollo del tema planteado, incluyendo antecedentes, definición y planteamiento del problema, justificación teórica, justificación de la aplicación y objetivos a alcanzar en el desarrollo de este trabajo de integración curricular.

El capítulo dos corresponde al Marco Teórico donde se realiza una revisión bibliográfica, basado en los requerimientos y temas desglosados de la presente investigación. En el tercer capítulo se especifica el Marco Metodológico en el cual se analizan los requerimientos técnicos para el desarrollo del sistema vibratorio automatizado, y diagramas de bloques de los módulos que integran este sistema vibratorio automatizado.

Seguidamente se elabora un diagnóstico técnico y de conectividad de los módulos de control y visualización, adquisición de datos y del módulo de actuación y generación. Por consiguiente, se describen los diferentes componentes y dispositivos seleccionados para utilizarse. También se detalla la elaboración del diseño de la estructura antivibratoria en donde se alojará el módulo de adquisición de datos y el vibrador sonoro y del diseño de la base del panel de control eléctrico.

Además, se presenta el esquema de conexiones de los elementos de los módulos antes mencionados, se aborda puntos clave para el desarrollo físico de la placa PCB del módulo de actuación y generación, y se detalla el diseño del software para dicho modulo, así como su diagrama de flujo. Este capítulo finaliza detallando la programación del controlador lógico programable, su diagrama leader, así como sus configuraciones. Finalmente, en el capítulo cuatro se presentan los resultados del proceso de adquisición de datos de vibración, control y visualización de las magnitudes físicas y del proceso de actuación y generación de la señal de vibración.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

El presente capítulo se analiza y detalla el origen de problema, así como también la justificación teórica y aplicativa que motivaron al planteamiento, los objetivos generales y específicos que se pretenden alcanzar con la realización del trabajo de integración curricular.

1.1. Antecedentes

Desde la década de 1890 hasta la década de 1950, se desarrollaron e implementaron muchos sistemas de vibración basados en las necesidades de la industria, para estudiar y resolver problemas en estructuras afectadas por sismos (Severn, VStoten and Tagawa, 2012).

En el año de 1930 apareció una nueva generación de sistemas de vibración donde un péndulo golpea una plataforma sustentada por un resorte para crear movimiento, creando un pico inicial de alta aceleración, seguido de aceleraciones y frecuencias variables en la plataforma (Jacobsen, 1930, pp. 160-1995). Con este modelo de sistema vibratorio se realizaron diferentes avances en el estudio de suelos y cimentaciones.

Los sistemas vibratorios también se han usado para estudiar el comportamiento de una estructura granular sometida a una inestabilidad hidrodinámica conocida como inestabilidad de Faraday, donde se estudió dicha inestabilidad en líquidos sometidos a vibración vertical (Faraday, 1831). Wright y Saylor estudiaron de manera experimental patrones provocados por la inestabilidad de Faraday sometidas a diferentes frecuencias de vibración, esto por medio de partículas de talco suspendidas en agua desionizada. De igual manera Saylor y Kinard estudiaron numéricamente el diseño experimental de Wright y Saylor (Saylor and Kinard, 2005).

Así mismo en el campo de la investigación sobre el análisis del control activo de las vibraciones, se describe los métodos más importantes de implementación, como sistemas adaptativos y no adaptativos que incluyen algoritmos adaptativos; tales como estructuras de control realimentados e híbridos. Además, se indican las principales aplicaciones y direcciones para futuras investigaciones (Miljković, 2009).

En los últimos años se han elaborado sistemas vibratorios, mencionando entre ellos el trabajo generado por (Chen et al., 2014) que utiliza sistemas vibrados para localizar partículas flotantes con

la ayuda de patrones estacionarios en la superficie libre del líquido. Igualmente, Jorge Eduardo Cárdenas diseña un prototipo de pruebas de uso académico para el estudio de las vibraciones mecánicas (Cárdenas, 2011). Han incluido cierto grado de importancia en los progresos de la medicina, por ejemplo, para estudiar el comportamiento de un sistema electromagnético que induce vibraciones forzadas para disminuir los efectos no deseados en la realización de mastografías a bordo de unidades médicas móviles (Pérez et al., 2013).

Además, han surgido estudios respecto a este tema como el que propone Martino, R. al estudiar la condición crítica para el inicio del movimiento de los granos, impulsada por el flujo oscilatorio de la capa límite inducido por las ondas de Faraday en una celda de Hele-Shaw, experimentalmente para varios valores de frecuencia forzada y aceleración, así como partículas de distintos diámetros (Martino et al., 2020).

En la Universidad de Buenos Aires, Diego Guillermo Barba diseña una mesa anti vibratoria para su estudio sobre la dinámica de suspensión de partículas concentradas sometidas a vibraciones mecánicas, donde su construcción impidió que las vibraciones generadas por el oscilador no se disiparan sobre la mesa. Utiliza un vibrador electromagnético, generador de señales, un amplificador y un acelerómetro ADXL325 tipo capacitivo para generar las vibraciones necesarias para el sometimiento de suspensiones de partículas en su estudio. Así mismo, los estudios en el ensamblado de partículas microscópicas en arreglos estructurados o películas han cobrado gran interés debido a su potencial en el desarrollo y manufactura de nuevos materiales funcionales avanzados, y en aplicaciones biológicas y biomédicas. En particular, recientemente se destacan los estudios en formación de estructuras peliculares por sedimentación de partículas en películas líquidas sometidas a vibración mecánica (Barba Maggi et al., 2020).

1.2. Planteamiento del problema

¿Cómo Implementar un sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI para el estudio de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas?

1.2.1. Sistematización del problema

- ¿Cuál es el estado del arte de los diferentes sistemas automatizados y sistemas vibratorios?
- ¿Cuál es el diseño del sistema vibratorio y la interfaz HMI de monitoreo de las magnitudes físicas que intervienen en el dispositivo diseñado?
- ¿Cómo construir el sistema vibratorio con materiales y equipos adecuados en función al diseño elaborado?

- ¿Cómo controlar el sistema vibratorio, automatizando las magnitudes físicas que interviene en el sistema vibratorio por medio de la interfaz de monitoreo HMI?
- ¿Cómo elaborar las pruebas que nos permitan verificar el correcto funcionamiento del sistema implementado?

1.3. Justificación Teórica

El proyecto de investigación sobre el control de estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas busca generar estudios científicos enfocados en los granulares sumergidos, en Ecuador no existe ningún organismo que este exclusivamente dedicado a esta área que se encuentra orientada a la producción de nuevos materiales con base líquida y partículas no solubles, esto hace que Ecuador dependa de grandes potencias para la adquisición de este tipo de materiales funcionales (MPCEIP,2022).

Desde hace tiempo las estructuras granulares han sido tema de estudio debido a las características que presentan, normalmente las estructuras granulares son tratadas como suspensiones granulares como en el trabajo de Ancy, C, donde menciona que en las suspensiones granulares hay varios contactos entre partículas, específicamente continuas interacciones físicas que surgen de un contacto lubricado o de contacto sólido friccional (Ancy, Coussot and Evesque, 1999).

En la actualidad las estructuras granulares están inmersas en productos elaborados en diversas áreas de la industria como la de manufactura, farmacéutica, entre otras. La composición de partículas sólidas macroscópicas impregnadas en una fase fluida comprende una estructura granular. Cada elemento que compone dicha estructura recibe el nombre de granos y en ocasiones tienen comportamientos de sólidos, líquidos o gases, esto ocurre cuando los agregados tienen poca o ninguna porosidad debido a un exceso como el caso de las partículas del fluido sobre las partículas sólidas en el desarrollo de floculación (FAO, 1977).

En estudios recientes respecto al ensamblado de partículas en patrones estructurados vienen siendo de gran interés en la manufactura de nuevos materiales funcionales que poseen aplicaciones biológicas y biomédicas. Cabe mencionar que de estos estudios resalta el trabajo de realizado por Phillips con aplicaciones óptimas (Phillips et al, 2016), cristales fotónicos (Hufziger, Zrimsek and Asher, 2018), materiales mecánicos con estructuras livianas con alta resistividad (Yin et al., 2012). En cuanto a las aplicaciones biomédicas y lo relacionado con la salud, se encuentra la orientación de estudios en la ingeniería de tejidos (Serpooshan et al., 2017), y en la regeneración de huesos (Khoshroo et al., 2017). En Ecuador, al generar procesos para la obtención de nuevos

materiales funcionales va a ser estratégico para poder independizarnos de las grandes potencias mundiales.

Algunos de los trabajos más aproximados a lo que se pretende realizar en el proyecto, con la utilización de sistemas vibratorios, se encuentra desarrollado por Eduardo Cárdenas quién ha diseñado un prototipo de pruebas para el estudio de las vibraciones mecánicas (Cárdenas, 2011), otro trabajo desarrollado para disminuir los efectos no deseados en la realización de mastografías a bordo de unidades médicas móviles (Pérez. C, 2013).

Un gran referente es el trabajo realizado por Diego Barba en la universidad de Buenos Aires al diseñar una mesa anti vibratoria para el estudio del comportamiento de la estructura granular sometida a inestabilidades hidrodinámicas (Barba Maggi, 2020). Es por ello que la elaboración de estudios y ensayos respecto a temas como estructuras granulares e inestabilidades hidrodinámicas son de gran importancia debido al creciente desarrollo tecnológico en el cual se ha expuesto el mundo en los últimos años y con la aparición de nuevos componentes e instrumentos industriales que hace posible el control más eficiente de ciertos procesos que anteriormente se hacían de forma manual, y surge la necesidad de automatizar ciertos procedimientos y así poder obtener todo tipo de datos del proceso (Moreno, Ballesteros and Sánchez, 2012).

Actualmente los sistemas vibratorios disponibles en el mercado son demasiado costosos para aplicaciones a pequeña escala, el interés principal se determina por la constante movilización y manipulación de los productos industriales ya que gran parte de estos son procesados, transportados y almacenados para su comercialización, por ello se considera que el trabajo de investigación propuesto por el grupo de investigadores pertenecientes a la ESPOCH y UNACH una vez que sea ejecutado, será de gran importancia para la comunidad científica nacional e internacional, ya que es una temática poco explorada a nivel mundial.

1.4. Justificación aplicativa

En el presente trabajo de titulación se propone implementar un sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI para el proyecto de investigación sobre el control de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas el cual va a estar compuesto por cuatro módulos fundamentales: *Estructura anti vibratoria*, *Módulo de adquisición de datos*, *Módulo de control y visualización*, *Módulo de acondicionamiento y actuador*.

La estructura anti vibratoria está compuesta por dos partes: la primera una mesa antivibratoria en el cual las vibraciones producidas no se disipen está, sino que la energía siempre se disipe de

forma vertical en el recipiente contenedor que se utilizará en la experimentación y la segunda que es una recámara asilada para la realización del experimento.

El módulo de adquisición de datos se encuentra conformado por un maestro *IO-Link* y un sensor de vibración que es el encargado de transmitir y recibir la información de la señal sensada en tiempo real.

El módulo de actuación y generación es el encargado de generar la señal para la activación del vibrador de tipo sonoro, el cual va a producir las vibraciones, y está acoplado al recipiente contenedor de la muestra.

El módulo de control y visualización compuesto por un PLC que sería el encargado de emitir diferentes órdenes de los elementos de actuación y a su vez de recibir los datos generados por el módulo de adquisición para posteriormente ser visualizado en una interfaz HMI en tiempo real.

Los módulos mencionados anteriormente estarán en la capacidad de establecer una comunicación Modbus TCP utilizando un switch como intermediario, que a su vez va a estar conectado por cables ethernet. Por lo tanto, para realizar un estudio adecuado y óptimo del control de una estructura granular sometida a inestabilidades hidrodinámicas se ha dado la importancia de Implementar un sistema vibratorio automatizado eficiente que genere vibraciones y atenúe al mínimo las mismas al que está siendo sometido, en este caso la vibración vertical producida por un vibrador.

También es de importancia, la integración de un control mediante una interfaz HMI, el cual detectará y controlará las magnitudes físicas producidas por el sistema vibratorio. Las magnitudes físicas que intervienen dentro del origen de las vibraciones obedecen parámetros establecidos por el usuario a través del HMI, lo que requiere que los valores de las magnitudes de salida cumplan con lo solicitado.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Implementar un sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI para el estudio de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte de los diferentes sistemas automatizados y sistemas vibratorios.
- Diseñar un sistema vibratorio y el interfaz HMI de monitoreo de las magnitudes físicas que intervienen en el dispositivo diseñado.
- Construir el sistema vibratorio con materiales y equipos adecuados en función al diseño elaborado.
- Controlar el sistema vibratorio, automatizando las magnitudes físicas que interviene en el sistema vibratorio por medio de la interfaz de monitoreo HMI.
- Elaborar pruebas que permitan verificar el correcto funcionamiento del sistema implementado.

1.6. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo de integración curricular es necesario hacer uso de manera combinada de las siguientes técnicas y métodos de investigación:

Los métodos teóricos donde se realiza una revisión documental, para conocer el estudio de avances tecnológicos, libros, revistas y cualquier otro tipo de información relacionada a la construcción e implementación de un sistema vibratorio; sistematización para aplicar toda la información recolectada y lograr establecer los requerimientos del sistema propuesto; análisis y síntesis donde se evalúa los resultados obtenidos del desarrollo y las pruebas realizadas para así poder llegar a las conclusiones y recomendaciones.

Los métodos empíricos a emplearse es la experimentación utilizada para la comprobación de los diferentes módulos que intervienen en el sistema; la medición dónde se realiza la evaluación de las diferentes magnitudes y variables durante la implementación del sistema; observación utilizada para la validación de la implantación y diseño del trabajo de integración curricular.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo muestra los aspectos teóricos que intervienen, empieza por los sistemas vibratorios, conceptos de automatización, PLCs, HMI, tipos de comunicación, estructuras granulares e inestabilidades hidrodinámicas. A continuación, se especifica lo antes mencionado.

2.1. Sistemas vibratorios

Un sistema vibratorio es un conjunto de componentes o elementos que se encuentran relacionados entre sí, estos adquieren un desplazamiento oscilatorio en el tiempo, puede ser armónico o no y que posee la aptitud de resguardar y transformar las energías cinéticas y potencial (White, 2010).

Un dispositivo móvil que produce movimientos vibratorios mecánicos se puede considerar un sistema vibratorio. Especialmente diseñados para realizar ciertos armónicos en un rango determinado o fuerza de excitación dependiente del tiempo y desplazamiento dado un intervalo de frecuencias. Existen tres tipos de sistemas vibratorios: libres, forzados y auto excitados (Dukkipati, 2012).

2.1.1. Vibración

La vibración puede verse como un movimiento oscilante o repetitivo de un cuerpo sobre su posición de equilibrio. La posición de equilibrio es la posición que se alcanza cuando la fuerza que actúa sobre ella es nula, llamada vibración de cuerpo completo, lo que significa que todas las partes o proporciones del cuerpo se desplazan en una misma dirección en un momento dado (White, 2010).

La vibración es un fenómeno físico donde se produce una transformación de energía cinética en energía elástica y viceversa en torno a un punto de equilibrio. Puede definirse partiendo de un movimiento armónico simple (Gómez Urrea. 2019).

2.1.2. Tipos de vibración

En la manera que se presenta la vibración puede clasificarse de varias maneras según la excitación a la que es sometida el sistema, según las fuerzas disipativas y por la frecuencia. A continuación, se especifica brevemente las más importantes.

2.1.2.1. Vibración libre

Cuando un sistema auto excitado vibra después una perturbación o alteración inicial y sin presencia de una fuerza externa, a las vibraciones restantes son conocidas como vibración libre. La vibración libre es el movimiento periódico de un sistema después de que se ha movido desde su posición estática o de reposo por medio de una acción de fuerzas como la fricción, los resortes y el peso de una masa (Seto, 1970).

2.1.2.2. Vibración forzada

La vibración se da principalmente cuando las vibraciones del sistema se disipan, esto cuando las fuerzas resistivas no han sido despreciables y se caracteriza por una disminución en la amplitud y la energía mecánica con el tiempo (Seto, 1970).

2.1.2.3. Vibración amortiguada

La reducción en la amplitud originada por fuerzas disipativas se lo conoce como amortiguamiento, es por eso que la vibración no amortiguada es la energía que no se disipa por agentes físicos externos como la fricción durante la oscilación (Rao, 2012). La pérdida o desgaste de la energía en las vibraciones es análoga al amortiguamiento, este suceso puede ser observado en el comportamiento interno del elemento físico conocido como amortiguador (Meirovitch, 1986).

2.1.2.4. Vibración no amortiguada

Existen otros tipos de clasificaciones que pueden ser consideradas como tales: vibración simple o de tono puro cuando las oscilaciones vibratorias se caracterizan por la acción de una sola frecuencia, y la vibración compuesta tiene varias frecuencias que componen el movimiento oscilatorio. Así también, la vibración periódica, donde el movimiento de oscilación termina un patrón en un intervalo de tiempo con períodos idénticos consecutivos y a su contraparte la vibración no periódica. Además, de vibración lineal que se denomina al movimiento vibratorio y se pueden analizar mediante ecuaciones diferenciales y vibración no lineal (Gómez Urrea, 2019).

2.1.2.5. Otros tipos de vibración

Las pruebas de choque son en ocasiones ejecutadas usando específicamente máquinas de pruebas, pero mayormente son ejecutadas usando comúnmente máquinas que pueden producir transitorios con un espectro de respuesta de choque deseado (Harris, Piersol and Paez, 2009).

2.1.3. Tipos de excitación de vibraciones

Las pruebas de choque son en ocasiones ejecutadas usando específicamente máquinas de pruebas, pero mayormente son ejecutadas usando comúnmente máquinas que pueden producir transitorios con un espectro de respuesta de choque deseado (Harris, Piersol and Paez, 2009).

2.1.3.1. Aleatorias

Las excitaciones aleatorias son usadas para simular vibraciones aleatorias en aquellas pruebas cuando se necesita de una representación precisa del entorno, específicamente, evaluación, confiabilidad y algunas pruebas de evaluación. Las máquinas de pruebas aleatorias más utilizadas producen una vibración casi gaussiana. Si el entorno real es aleatorio, pero no gaussiano, una simulación gaussiana suele ser aceptable, ya que la respuesta del equipo expuesto al entorno será casi gaussiana en sus frecuencias de resonancia, suponiendo que la respuesta del equipo sea lineal; esto es porque las resonancias del equipo constituyen operaciones de filtrado de banda estrecha que suprimen las desviaciones de la forma gaussiana en la respuesta vibratoria del equipo (Harris, Piersol and Paez, 2009).

2.1.3.2. Pruebas con onda sinusoidal

Las excitaciones con onda sinusoidal son usadas para reproducir las vibraciones periódicas de frecuencia fija producidas por máquinas rotativas de velocidad constante y motores alternos. En ocasiones este tipo de excitaciones se superponen a excitaciones aleatorias en situaciones donde el entorno de vibración implica a ambos tipos de excitación. Las excitaciones de onda sinusoidal fijadas secuencialmente en las frecuencias de resonancia de un elemento son en ocasiones empleadas en pruebas de desarrollo, para pruebas de durabilidad o para evaluar la resistencia de fatiga de equipos (Harris, Piersol and Paez, 2009).

2.1.3.3. Prueba de barrido de onda sinusoidal

Son creadas variando continuamente la frecuencia de una onda sinusoidal en forma lineal o logarítmica. Dichas excitaciones se utilizan para simular los ambientes de vibración producidos por máquinas rotativas de velocidad constante y motores alternos. La idea primordial es hacer el escaneo sea lo suficientemente lenta para dejar que el equipo puesto a prueba alcance una respuesta casi total a la par que la excitación de onda sinusoidal barrida transcurre por cada una de las frecuencias de resonancia. Se emplean en pruebas de desarrollo para identificar frecuencias de resonancia y, en ocasiones, para estimar la frecuencia (Harris, Piersol and Paez, 2009).

2.1.4. Generadores de vibraciones

Los generadores de vibración más utilizados en varias aplicaciones son tres: generadores electrodinámicos, generadores hidráulicos y generadores mecánicos (Anekar et al. 2014).

2.1.4.1. Generadores Electrodinámicos

Este tipo de generador cumple los requerimientos de un calibrador ideal que provee una aceleración de salida invariable a un amplio intervalo de frecuencias que van desde 1 Hz a 10,000 Hz y puede generar fuerzas de hasta 2000 N. Si se requiere de una frecuencia mayor, por lo general se utiliza más de un excitador (Harris, Piersol and Paez, 2009).

Utiliza un campo magnético desarrollado a partir de un electroimán o de un imán permanente, generando vibraciones cuando se le envía una corriente eléctrica por una bobina ubicada en el interior del campo magnético. La magnitud de la fuerza o aceleración varía cuando una corriente alterna que fluye a través de la bobina varía armónicamente en función del tiempo. Por lo tanto, se dice que la cantidad de energía producida depende de la corriente máxima. Al emplear una alimentación a la bobina con corriente directa, se produce una fuerza constante (Harris, Piersol and Paez, 2009). En la ilustración 1-2 se presenta el esquema de un generador electrodinámico.

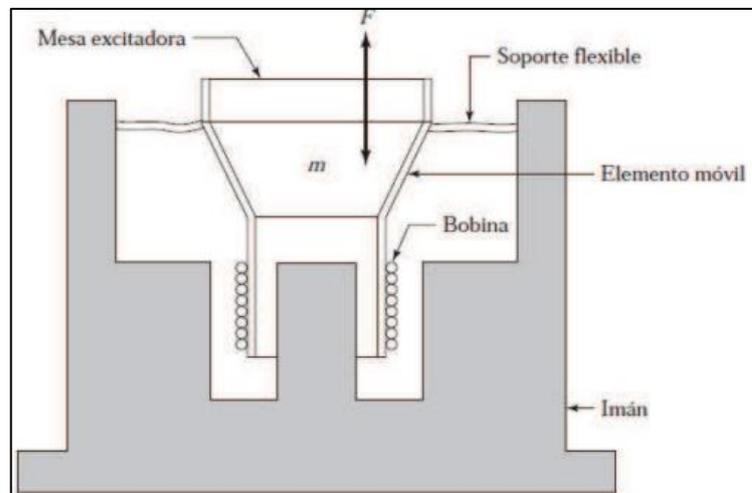


Ilustración 1-2: Esquema de generador electrodinámico.

Fuente: (Harris, Piersol y Paez, 2009).

El generador electrodinámico consta de una base que produce el campo magnético y la parte móvil que puede ser una celda o recipiente para albergar estructuras granulares, para este caso. Un laboratorio nacional estándar tiene un generador de vibraciones hecho a la medida con baja frecuencia hasta un límite de 20 MHz (Morkovin, 1964). Esta máquina utiliza un cojinete de aire especial, control electroóptico en tiempo real y una base adecuada.

2.1.4.2. Generadores Hidráulicos

Por su naturaleza, este tipo de generadores se utilizan en aplicaciones de baja frecuencia que requieren alta potencia y baja velocidad., como lo puede ser en movimientos sísmicos o terremotos. El rango va desde los 0 Hz hasta los 1000 Hz aproximadamente (Harris, Piersol and Paez, 2009). En la ilustración 2-2 se observa el diagrama típico de un generador.

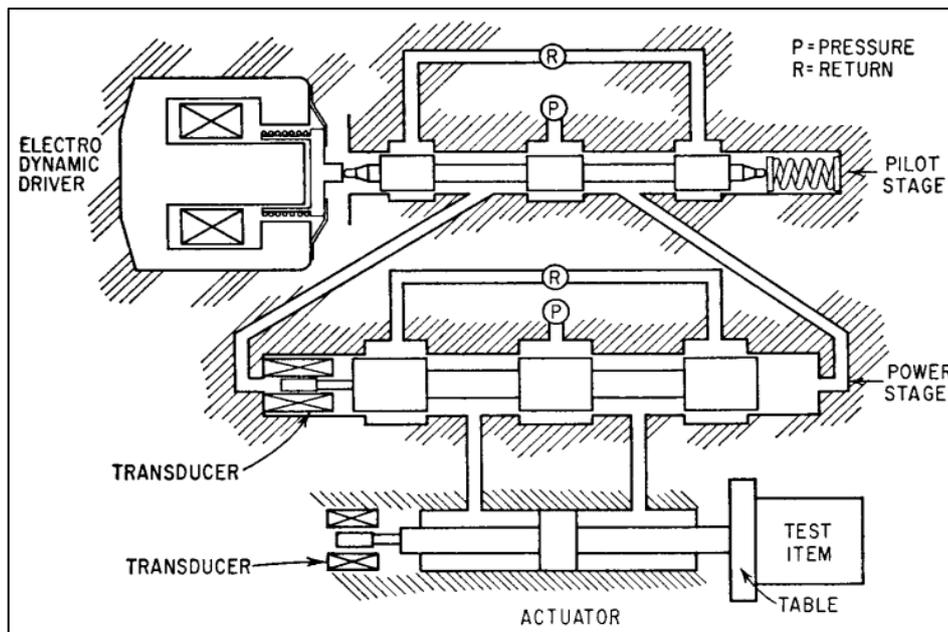


Ilustración 2-2: Diagrama esquemático de típico generador mecánico de vibración.

Fuente: (Harris, Piersol y Paez, 2009).

2.1.4.3. Generadores Mecánicos

Los movimientos mecánicos rectilíneos pueden ser generados por un sistema de generación mecánica. Su rango de frecuencia es poca y menos de 100 Hz y para su carga menos que 700 N. No son utilizados para aplicaciones con una alta calidad de calibración de transductores, debido a sus apreciables distorsiones de ondas y ruido de fondo.

Este tipo de generador posee una masa excéntrica montada sobre un eje rotatorio para generar vibraciones como se puede observar en la ilustración 3-2. Utiliza el término *desequilibrio giratorio* que es el producto de la masa y la distancia desde su centro al eje de rotación. La fuerza de desequilibrio se conoce partiendo de la resultante de la fuerza hacia el resultante del desequilibrio. Estos generadores poseen de uno o más *desequilibrios giratorios* unidos directamente a una mesa vibratoria. El *desequilibrio giratorio* y la mesa son sujetadas por la base o marco con resortes. Por lo tanto, el *desequilibrio giratorio* genera una fuerza oscilante que impulsa a la mesa (Harris, Piersol and Paez, 2009).

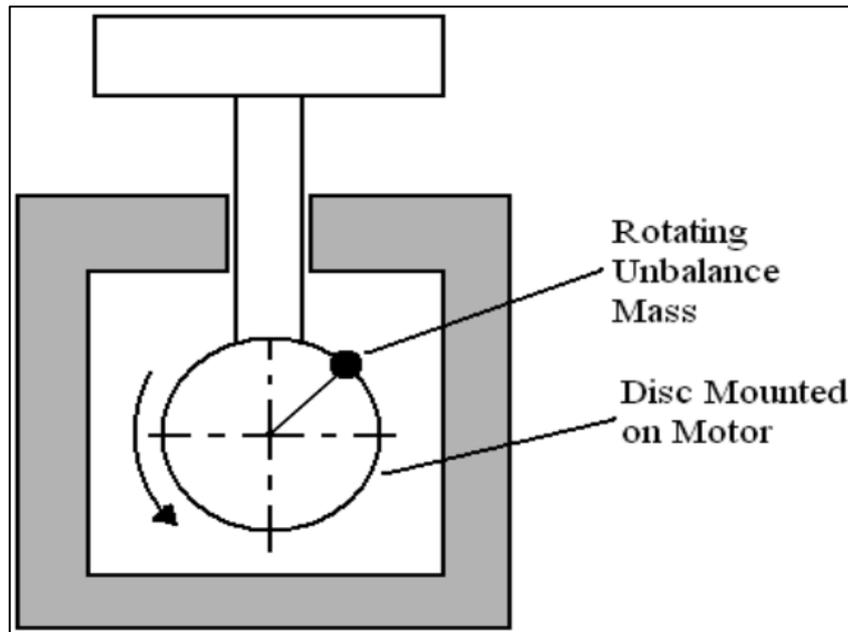


Ilustración 3-2: Masa de desequilibrio giratorio.

Fuente: (Anekar et al, 2014).

La fuerza de desequilibrio se transmite a través de rodamientos de forma directa a la masa de la mesa, lo que causa un movimiento vibratorio de modo que la fuerza no actúa contra la base. Como características adicionales tenemos que el costo del generador mecánico es menor comparado a los otros tipos de generadores, no pueden ser usados en lugares expuestos a alta humedad y temperatura, utilizado solo para pequeñas aplicaciones (Harris, Piersol and Paez, 2009).

2.1.5. Estructuras antivibratorias

Hay varias formas de causar vibraciones deseadas o no deseadas, como en el movimiento desequilibrado de algunos tipos de maquinaria, turbulencia, movimientos sísmicos, las irregularidades en la superficie de la carretera o en la vía férrea, además de todo tipo de generador de vibraciones como el electrodinámico (Gómez Urrea, 2019).

Para reducir vibraciones no deseadas en máquinas o en estructuras de ensayo sensibles a estas o de ensayos se utilizan los denominados aisladores de vibración. El aislamiento de vibraciones es el nombre de un procedimiento que permite reducir los efectos negativos de cualquier tipo de vibración.

Un sistema de aislamiento de vibraciones puede pasivo o activo. Es pasivo cuando está formado por un elemento elástico que contiene rigidez y un elemento disipador de energía. Mientras que, es activo cuando implementa dentro de su grupo un servomecanismo que puede incluir un sensor,

un procesador de señal y un actuador. El sistema controla que exista cierta distancia entre el componente vibrante y un plano de referencia. A continuación, se describen algunos tipos de soportes flexibles o aisladores de vibraciones, tales como aisladores de elastómero, plásticos y metálicos (Gómez Urrea, 2019).

Los soportes de elastómero de antivibración brindan resistencia al ruido, golpes y vibraciones, aislando la maquinaria y protegiendo el medio ambiente. Se incluyen en varias aplicaciones debido a su fácil maleabilidad, esto permite tener mayor amortiguamiento interno que los soportes de muelles de metal, además pueden enlazarse a objetos metálicos adaptados para minimizar la conexión con estructuras aisladas. Mientras que los soportes de plástico, que poseen características parecidas a los elastómeros y soportes metálicos, tienen un rango máximo de temperatura que ronda los 29 °C, por lo que son menos utilizados, a pesar de su bajo coste y homogeneidad (Gómez Urrea, 2019).

2.1.6. Monitoreo de vibraciones

Se necesitan de transductores para medir las vibraciones, los cuales se tratan de un aparato que produce una señal eléctrica que es proporcional al movimiento vibratorio al cual está adherido. Para un correcto análisis de medición de vibración, el transductor no se puede agregar falsos componentes a la señal y debe producir una señal uniforme en todo el rango de frecuencias que se utilice. Los diferentes tipos de transductores responden a parámetros diferentes como: el sensor de proximidad que es sensible al desplazamiento, el sensor de velocidad y el acelerómetro sensible a la aceleración (White, 2010).

2.1.7. Acelerómetros

Los acelerómetros que proporcionan la medición directa de la aceleración son los transductores de mantenimiento predictivo y son los más utilizados en la actualidad debido a varias características que presentan, entre ellas, el costo relativamente bajo, capacidad de rango de alta frecuencia de aproximadamente de 2 a 10. 000 Hz (Berry, 2010).

Los acelerómetros son ampliamente utilizados en ingeniería ya que se utilizan generalmente para detectar las vibraciones en los sistemas, para aplicaciones de investigación y orientación. El acelerómetro es un dispositivo capaz de medir la aceleración, ya sea estática o dinámica; se puede medir la aceleración en uno, dos o tres ejes (Berry, 2010). Con el valor de esas tres componentes se puede calcular la magnitud de la aceleración en cualquier dirección espacial, tal como lo observamos en la ilustración 6-2.

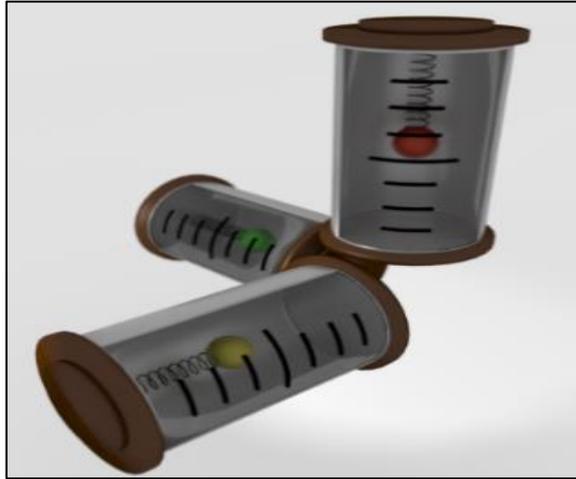


Ilustración 4-2: Esquema de un acelerómetro.

Fuente: (Sheldon, 2014).

2.1.7.1. Capacitivos

Este acelerómetro utiliza una tecnología llamada MEMS (*Microelectromechanical systems*) que son los sensores más comunes, baratos y pequeños. Se pueden producir de forma integrada en chips soldados en placas de silicio. Para su creación se emplean pequeños condensadores “basculantes”. Estos acelerómetros se construyen de tal forma que las placas empleadas en los condensadores permitan su movimiento proporcionalmente a las fuerzas externas. En la ilustración 5-2 se puede observar un acelerómetro capacitivo (Sheldon,2014).

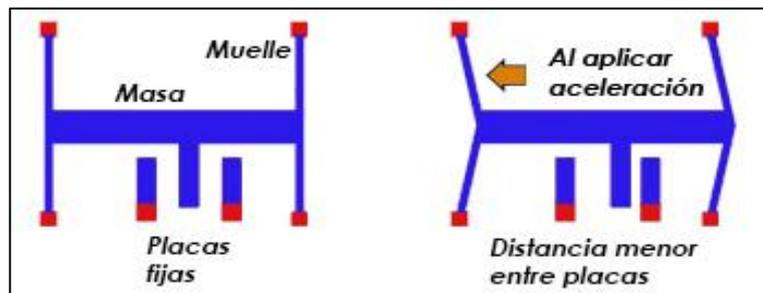


Ilustración 5-2: Esquema de un sensor capacitivo.

Fuente: (Sheldon, 2014).

2.1.7.2. Piezoresistivos

Un acelerómetro piezoresistivo a diferencia de los piezoeléctricos utiliza un sustrato en lugar de un cristal piezoeléctrico, en esta tecnología las fuerzas que ejerce la masa sobre el sustrato modifican su resistencia, la cual forma parte del circuito a través del puente Wheatstone se mide el amperaje. También existe la línea MEMS no amplificada, con salida directa desde el puente para que pueda sintonizarse externamente como un medidor de tensión global (Mecafenix, 2017). Se

caracterizan por tener un extenso rango de medición, gracias a lo cual están capacitados de realizar un registro de vibraciones con grandes amplitudes y frecuencias. Además, pueden registrar señales de cambio lento, ideales para el uso en sistemas de navegación inercial para poder realizar el cálculo de la velocidad y el desplazamiento. Aunque estos acelerómetros tienen dificultades para detectar o manifestar ciertas señales débiles y son más caros que los acelerómetros capacitivos MEMS (TEM Electronic Components, 2020).

2.1.7.3. Piezoeléctricos

El principio de operación o funcionamiento de este dispositivo posee su base fundamental en el efecto piezoeléctrico: una deformación física del material provoca una alteración en una estructura cristalina, de este modo variando las características eléctricas. Cuando los cristales piezoeléctricos se someten a una fuerza, producen una corriente eléctrica causada por cambios en su estructura cristalina (Urueña Orellana, 2021).

Este tipo de sensores es empleado para medir valores de vibración. Por ello son comúnmente empleados dentro de aplicaciones industriales en el diagnóstico de máquinas y equipos. Este dispositivo posee las características de alta sensibilidad y precisión, y se pueden utilizar para levantamientos sísmicos muy avanzados y precisos, así como pruebas de choque y destructivas en condiciones extremas (TEM Electronic Components, 2020). Se pueden identificar los componentes del interior del acelerómetro piezoeléctrico en la ilustración 6-2.

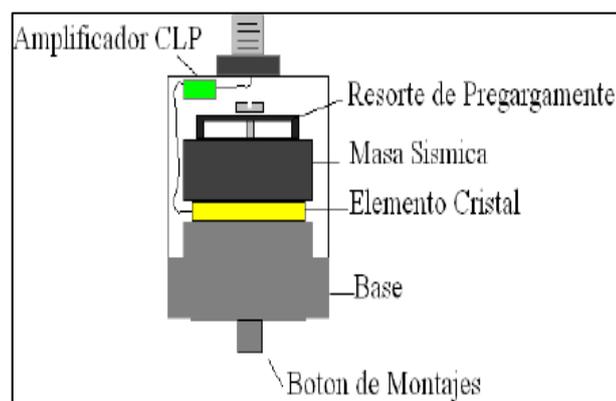


Ilustración 6-2: Acelerómetro piezoeléctrico.

Fuente: (Urueña Orellana, 2021)

2.2. Automatización

La automatización está basada prácticamente en la eliminación o la disminución de la colaboración humana en un proceso productivo, con la finalidad de poder operar y controlar un proceso con mayor eficiencia y calidad; a la automatización también define como el proceso de

mecanización de las actividades industriales que se utilizan para la reducción de la mano de obra (Bullón Vilchis, 2009). De igual manera, la automatización es el uso de un sistema el cual con la ayuda de elementos tecnológicos mediante órdenes de mando disminuyen a los operadores humanos utilizando los recursos necesarios sin malgastarlos, optimizando el tiempo y los esfuerzos requeridos en la producción (García Moreno, 2020).

2.2.1. Tipos de Automatización

Al momento de definir la automatización varios autores plantearon distintos tipos de automatización como:

- **Automatización fija:** produce una serie de productos en pequeñas cantidades y a bajo costo, lo que permite una fácil programación y la realización de distintas tareas; por lo que posee una gran flexibilidad, lo que genera grandes cantidades de información para ser procesada por la computadora (Nitzan and Rosen, 1976).
- **Automatización Flexible:** en este tipo de automatización la flexibilidad depende del diseño del producto, en donde la planificación consiste en una sucesión de decisiones que involucran varios procesos, de los cuales se distinguen por la orden de trabajo de cada máquina y su rutina de trabajo (Mirchandani, Eng Joo Lee and Vásquez, 1988).
- **Automatización Programable:** es utilizada en sistemas de producción donde el equipo de producción está diseñado para cambiar una orden o disposición de trabajo de diferentes productos. Es apropiado para la producción por lotes y no permite cambiar la composición del producto (Mandado, 2005).
- **Automatización Integrada:** como su nombre lo indica su objetivo principal es la de integrar los distintos tipos de automatización existentes en los sistemas o procesos de producción, ya que posee características como la reducción del tamaño de los lotes, la versatilidad del producto es en muchos casos mejor que la automatización flexible. Esto nos permite agilizar los tiempos de entrega de los productos (Mandado, 2005).

2.2.2. Niveles de Automatización

El grado de automatización del proceso depende básicamente de dos tipos de factores que son económicos y tecnológicos, por lo que podemos encontrar una serie muy amplia y variada, que dependerá de los objetivos propuestos a lograr (García Moreno,2020).

2.2.2.1. Nivel elemental

Este nivel se basa con a la asignación de tareas de vigilancia de los tiempos muertos, las funciones de seguridad a una maquina; se puede distinguir tres tipos de grados de automatización (García Moreno, 2020).

- **Modo operación de vigilancia:** también conocido como el monitoreo donde se realiza un bucle o un lazo abierto, que consiste en un dispositivo automatizado que mide variables, procesa esos datos y proporciona informes de mantenimiento diarios.
- **Modo operación guiado por el operador:** es una variación de un control superior, que difiere del modo operación de vigilancia, Consiste en una variación de un control superior, que difiere del modo de operación.
- **El modo operación de mando:** consiste en recibir y recopilar la información, procesarla, tomar decisiones e implementar las medidas de control sobre el proceso. Este tipo de operación corresponde a la estructura clásica de circuito cerrado.

2.2.2.2. Nivel intermedio

Este nivel hace referencia con la utilización de un conjunto de máquinas elementales o bien una maquina compleja, la cual ha sido un área clásica de la automatización industrial (García Moreno, 2020).

2.2.2.3. Tercer nivel

Se describe como un proceso completo donde interviene la comprobación y control de los elementos del proceso con otros aspectos como el seguimiento, la optimización, la gestión del mantenimiento, el control de calidad, y el control de producción. Para lograr estos objetivos, se evolucionó a partir de varias estructuras de automatización y control (García Moreno, 2020).

Control centralizado: el sistema se compone de de una computadora, una interfaz de proceso y una estación de operador. Esta arquitectura se aplicó tanto a procesos variables continuos como a procesos secuenciales, y más que esa arquitectura permitió realizar aplicaciones industriales combinando variables continuas y secuenciales (García Moreno, 2020).

Facilita el flujo de información, pero se enfoca en la confiabilidad del sistema centralizado dependiendo de la confiabilidad de la computadora, de modo que en el caso se produzca un fallo de la computadora, todo el sistema permanece desatendido (García Moreno, 2020).

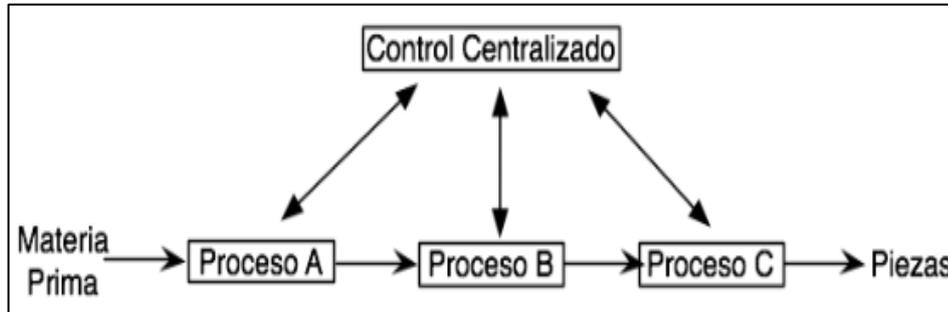


Ilustración 7-2: Estructura del control centralizado.

Fuente: (García Moreno, 2020).

Control Multicapa: se considera que consta de dos niveles. El nivel más bajo está compuesto de controles locales para inspeccionar y controlar los bucles o subprocessos específicos en el sistema. Se ocupan de las tareas de gestión de tiempo crítico. El nivel superior consiste en una computadora central que monitorea y genera comandos para los controladores locales. En caso de falla de la computadora central, se garantiza el control de las variables del proceso (García Moreno, 2020).

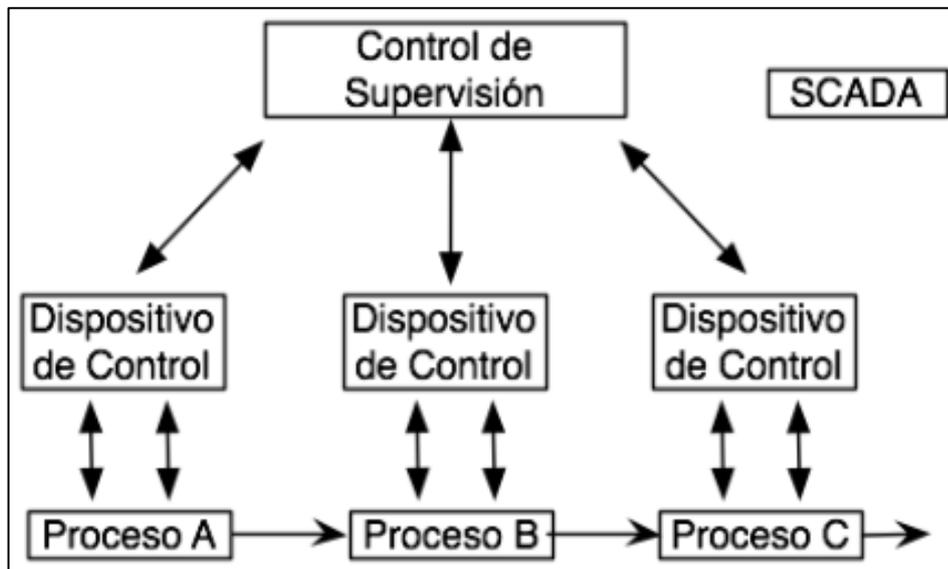


Ilustración 8-2: Estructura del control multicapa.

Fuente: (García Moreno, 2020).

Control jerárquico: esta estructura puede verse como resultado de la Ampliación de los conceptos de control y tareas de control multinivel a los conceptos y tareas de planificación y

gestión empresarial correspondientes a los niveles más altos de la jerarquía de control (García Moreno,2020).

Control distribuido: la gestión distribuida requiere otras consideraciones distintas a la estructura del control multicapa como la existencia de varias unidades de gestión y producción que realizan las mismas tareas o en algún caso de interrupción o carga de trabajo, todas o parte de las tareas pueden transferirse a otras unidades (García Moreno,2020).

Este tipo de control posee ventajas e inconvenientes; por un lado, la idea de eludir las unidades problemáticas permite evitar la congestión innecesaria del sistema, pero requiere que las diferentes islas de producción tengan una división dinámica de tareas, por lo que todavía necesita una alta capacidad para acceder a la comunicación y datos. Además, es imprescindible disponer de algoritmos inteligentes para la detección y diagnóstico de errores (García Moreno, 2020).

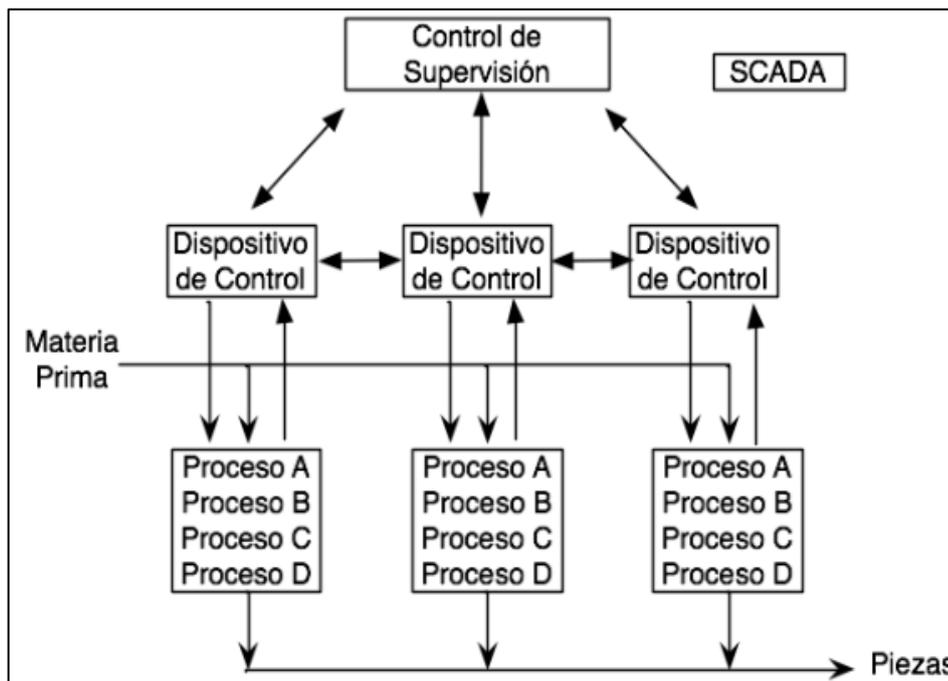


Ilustración 9-2: Estructura del control distribuido.

Fuente: (García Moreno, 2020).

2.2.2.4. Cuarto nivel

Es conocido como CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) donde conceptos como gestión empresarial, planificación, programación, se tratan de forma integrada en la producción. La implementación de CIM se lleva a cabo en una estrategia de automatización progresiva de arriba hacia abajo, que es teóricamente jerárquica y depende del nivel de tecnología que la empresa u organización productiva haya sido capaz de alcanzar (SEIKA, 2020).

- **Nivel 0:** está compuesto por los dispositivos físicos, subprocesos y máquinas que realizan en general operaciones básicas de producción necesarias para la industria, incluidos, actuadores, sensores y dispositivos que transfieren señales entre sí mismos y los controles forman parte del nivel base para realizar cualquier proceso automatizado posterior (Autycom, 2019).
- **Nivel 1:** el propósito de este nivel es controlar procesos secuenciales utilizando computadoras especializadas como PLC que también son conocidos como controladores lógicos programables que aceptan señales de entrada y salida, junto con un procesador y una memoria que procesan datos o software descargados (ATEC, 2020).
- **Nivel 2:** en este nivel el SCADA se usa para administrar, monitorear y recuperar datos desde una ubicación única usando bases de datos SQL o NoSQL. Estamos hablando de una tecnología que combina las capas anteriores para acceder a la información y controlar los sistemas desde un "lugar único" que puede monitorear y controlar sin problemas múltiples sistemas, generalmente agregando una interfaz gráfica de usuario o una interfaz de usuario al dispositivo de control que trabaja de forma remota (SDI, 2022).
- **Nivel 3:** este nivel es el conocido nivel de planificación donde se utiliza un sistema de gestión informático MES, ideal para monitorear todos los procesos de producción de una fábrica, o industria supervisando todo desde las materias primas hasta el producto terminado, y también corregir posibles errores que se puedan producir durante el proceso (SEAS,2022).
- **Nivel 4:** es nivel superior denominado Nivel de Gestión, se encuentra un tipo de software de gestión llamado ERP que permite controlar y administrar todas las operaciones que se desarrollan en la planta o fabrica, Al referirnos a ERP, estamos hablando de un conjunto de tecnologías, sistemas de gestión empresarial que informan todo lo que sucede en la industria. Además, nos permite mantener un proceso abierto y eficiente para que todos los equipos de la empresa o industria estén en sintonía (SEIKA, 2020).

2.2.3. *Sistemas automatizados*

En los sistemas automatizados se reemplazan las tareas manuales de producción que realizan las personas por un grupo de elementos tecnológicos que buscan reducir los tiempos de producción para mejorar un producto, que cumpla con las regulaciones y estándares requeridos, que puedan competir con los mercados nacionales e internacionales, además que un sistema automatizado es diseñado para tareas peligrosas efectuadas habitualmente por los seres humanos, reduciendo así la incidencia de accidentes (García Moreno, 2020).

2.2.4. Modelo estructural de los sistemas automatizados

La estructura general de un Sistema Automatizado se clasifica en dos partes que son expresamente diferenciadas: primeramente la Parte Operativa que consta de un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, que es diseñada para poder realizar ciertas funciones de fabricación o producción, y por otro lado tenemos la parte de control que independiente de su implementación tecnológica es un dispositivo encargado de realizar la coordinación de los distintos operaciones que son necesarias para mantener la parte operativa bajo control (García Moreno, 2020).

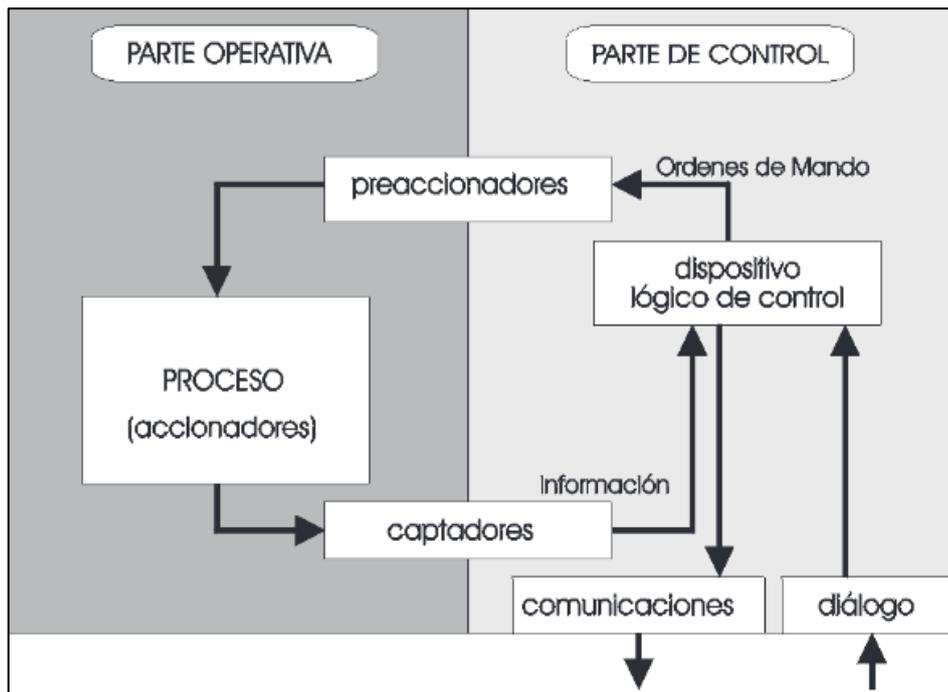


Ilustración 10-2: Modelo estructural de un sistema automatizado.

Fuente: (García Moreno, 2020).

2.2.5. Clasificación tecnológica

La clasificación tecnológica básicamente se puede establecer partiendo de dos conceptos principales: lógica cableada y lógica programada:

2.2.5.1. Lógica cableada

También es conocida como lógica de contactos, donde distintos tipos de elementos intervienen en su implementación, utiliza circuitos eléctricos, contactos eléctricos, relés eléctricos conectados según una secuencia lógica de control. Cualquier cambio que sea necesario en el circuito requiere cambiar todos los cables y elementos que lo acompañan. Este tipo de lógica se usa a menudo en instalaciones simples (Zapata, Topón-Visarrea and Tipán, 2021).

2.2.5.2. *Lógica programada*

La lógica programable es implementada mediante un software o programa que se ejecuta por medio de un microprocesador o PLC; Las instrucciones de este programa definen una función lógica que conecta entradas y salidas, este tipo de construcción sustituye a elementos de control como relés eléctricos, contactos auxiliares, temporizadores, contadores (Sanchis Llopis, Romero Pérez and Ariño Latorre 2010).

2.3. **Controlador Lógico programable**

El controlador lógico programable también es conocido PLC, es un dispositivo electrónico muy utilizado en la automatización industrial que controla la lógica operativa de las maquinas, fábricas y de los procesos industriales; este dispositivo procesa y recibe señales ya sean analógicas o digitales permitiendo implementar distintas estrategias de control (Industrias GSL, 2022).

2.3.1. *Controlador lógico programable*

La estructura del PLC se encuentra compuesta por distintos tipos de elementos que se detallan a continuación:

- **CPU.** - Es el elemento principal del PLC necesario para leer las entradas, ejecutar los comandos del programa de aplicación y controlar las salidas según sea lo necesario; un PLC usa los mismos microcontroladores y/o procesadores que las computadoras convencionales (Saldías, 2022).
- **Memoria.** - Este elemento es donde el PLC puede guardar o ejecutar los programas y datos, la memoria puede ser de carácter volátil o no volátil ya que existen diferentes tipos como las RAM, ROM, PROM, EPROM y EEPROM. Todas las mencionadas con anterioridad tienen su función y cumplen con su respectivo rol en la ejecución de la operación del PLC (Electricistas, 2022).
- **Dispositivos de programación y comunicaciones.** - Estos elementos son de gran importancia ya que son los encargados de permitir la comunicación del PLC con otros dispositivos como redes de control, pantallas, otros PLC (SEIKA, 2019).
- **Fuente de alimentación.** - Proporciona o genera toda la energía necesaria para la CPU y otras tarjetas, la fuente de alimentación actúa como un controlador, que puede o no estar

integrado en el dispositivo. Una vez instalado, sólo debe conectarse a la red eléctrica de lo contrario, se requiere una fuente de energía, generalmente 24 V (AUTRACEN, 2021).

- **Sistema de entradas y salidas.** - Se divide en dos partes: el módulo de entrada que facilita la conexión a diferentes actuadores y señales para aplicaciones específicas y el módulo de salida que coordina las salidas de señal, que pueden ser digitales. Los PLC activan o activan una salida aplicando un voltaje a un elemento utilizado en un circuito (Siema, 2021).

2.3.2. Tipos de PLC

La clasificación más conocida de un PLC se encuentra basada en la estructura de sus componentes como se los describe a continuación.

- **Compacto:** este tipo de controlador lógico es conocido como PLC compacto a los contiene todos sus elementos en un mismo módulo, además no requiere de módulos adicionales, sin embargo, este tipo de PLC puede expandir algunos elementos como los módulos de entrada/salida y otros complementarios (Echeverría, 2015).
- **Modulares:** Son conocidos por su diseño de gran adaptabilidad, este tipo de PLC está integrado por un grupo los elementos separados que puede ser armado e implementado dependiendo de los requerimientos que el usuario necesite (Echeverría, 2015).

2.4. HMI

Es un tipo de instrumento o dispositivo que nos permite una interfaz humano-máquina, es adecuado para sistemas de automatización de procesos industriales ya que nos permite desarrollar aplicaciones gráficas ya que normalmente manejan su propio lenguaje de programación; su interfaz de usuario consta de software y hardware que se pueden utilizar para convertir las acciones del usuario en señales para que la máquina obtenga el resultado óptimo. Normalmente los HMI se encuentran montados en su propio panel de control (ACE, 2015).

2.4.1. Tipos de HMI

Las interfaces HMI pueden ser representadas de distintas formas, desde pantallas de máquinas y computadoras hasta pantallas táctiles y dispositivos inteligentes. Independientemente de su forma o condición, su propósito es proporcionar información procesos de producción y desarrollo de rendimiento de una máquina (Atvise, 2021).

- **Terminal Operador:** un terminal de operador que consta de un dispositivo construido típicamente para su instalación en entornos agresivos donde sólo puede tener pantallas numéricas, alfanuméricas o gráficas; también pueden tener una pantalla táctil (Edimar, 2020).
- **Pc + software:** esta opción de HMI está basada en una computadora donde se ha descargado e incorporado el software apropiado para el monitoreo y control de las máquinas, cualquier PC con las llamadas computadoras personales o industriales que son necesarias para los ambientes agresivos, PC de panel instaladas en gabinetes que dan la impresión de una terminal de operador (Edimar, 2020).

2.5. IO-link

IO-link es una conexión bidireccional utilizada para la transmisión de señales y potencia en todo tipo de redes y buses de campo. Este tipo de conexión está basado en el estándar internacional IEC 61131-9 para conexiones de dispositivos como sensores y actuadores que soportan tecnología IO-link y se encuentran conectados a un maestro (Banner Engineering, 2017).

2.5.1. Arquitectura del sistema

El sistema IO-link se compone por un maestro y dispositivos IO-link que puede ser uno o varios, también contiene una herramienta para lograr parametrizar y configurar el sistema IO-link llamado LR-DIVICE (Mapro, 2019).

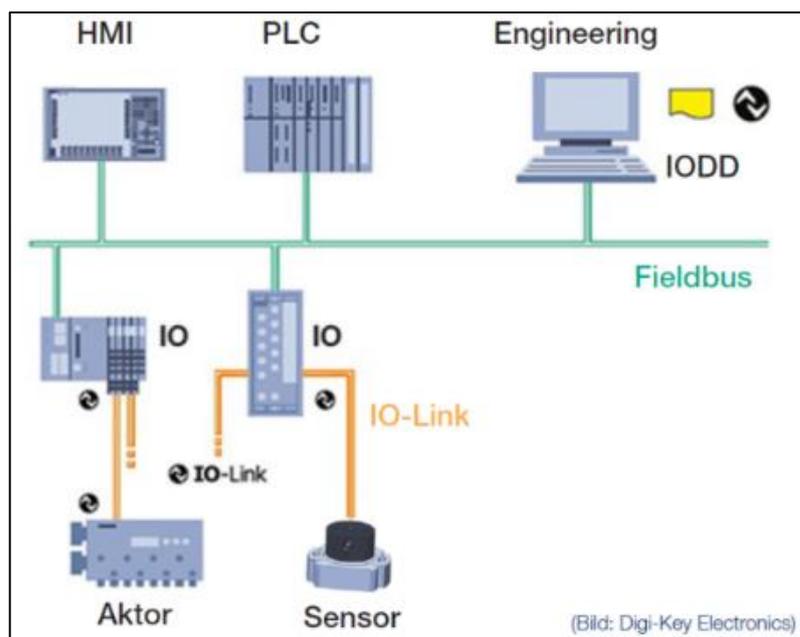


Ilustración 11-2: Arquitectura de un sistema IO-link.

Fuente: (Mapro, 2019).

El maestro IO-Link es el intérprete entre los dispositivos IO-link y el PLC. Tanto la arquitectura de la máquina como la arquitectura del host están diseñadas de manera similar para combinar las dos arquitecturas (Uffelmann, Wienzek and Jahn, 2018).

2.5.2. *Sistemas de comunicación*

La comunicación de un sistema IO-link es bidireccional de punto a punto que transmite y recibe datos, para establecer la conexión se utiliza un conector M12, según el estándar internacional IEC 61131-9 la asignación y configuración de los pines se la puede observar en la ilustración 14-2 (Sick, 2018).

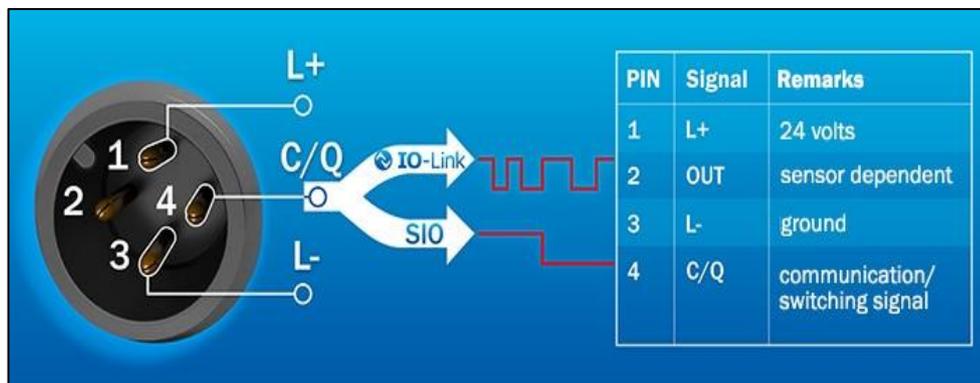


Ilustración 12-2: Asignación de pines IO-link

Fuente: (Sick, 2018).

2.6. **Redes de comunicación industriales**

Desde la aparición de la industria y los controladores lógicos programables más conocidos como PLCs, se considera a una red de comunicación como el intercambio de la información entre diferentes partes, donde se reciben, procesan y transfieren datos entre distintos dispositivos del sistema (Universidad de valencia, 2019).

2.6.1. *Tipos de redes de comunicación industrial*

Existen distintos tipos de comunicación industrial que están diseñadas para interconectar diferentes dispositivos, también son llamados protocolos de comunicación, los cuales son un conjunto de normas para la comunicación de los dispositivos, entre los más importantes se encuentran:

2.6.1.1. Comunicación serial

La comunicación serial es un protocolo de comunicación entre dispositivos que se encuentra en cualquier dispositivo, ya que la mayoría de estos contienen puertos seriales, este tipo de comunicación permite el envío y recepción de datos en formato ASCII y se implementa basándose en los estándares de protocolos como RS232, RS422 y RS485.

La comunicación serie RS-232 está diseñada para admitir tanto transmisores como receptores, proporcionando comunicación entre el controlador y la CPU, la longitud máxima del cable es de 15 metros. La comunicación en serie RS422 y RS485 están diseñadas para realizar una comunicación entre muchos controladores y un CPU. Estos últimos se encuentran limitados como en el caso de RS422 que posee una longitud máxima de 500 metros, mientras que el RS485 es de 200 metros máximos de longitud (IBM, 2020).

2.6.1.2. Modbus

Es un protocolo de comunicación basado en la arquitectura tipo maestro/esclavo o cliente/servidor, Su objetivo principal es el brindar una comunicación fiable y rápida entre distintos dispositivos. Este protocolo fue creado por MODICON en el año 1979, logrando convertirse en uno de los protocolos más importantes en la industria, ya que posee un protocolo que garantiza una rápida transmisión de datos, ya sean del mismo o de distinto fabricante (WAGO, 2020). Existen distintos tipos de modos operativos del Modbus entre ellos están:

- **Modbus TCP/IP:** este tipo de comunicación está basado en el modelo cliente-servidor, permitiendo un amplio número de conexiones de forma simultánea, con el único requisito de que cada dispositivo conectado se encuentre en el mismo intervalo de la dirección IP. Actualmente se utiliza ethernet con intermediario entre la comunicación e intercambio de datos entre los PLCs y dispositivos.
- **Modbus RTU:** basado en una comunicación maestro-esclavo, es uno de los dos modos de transmisión definidos en la especificación Modbus original, este tipo de protocolo se encuentra diseñado para usarse con dispositivos serie que admiten los protocolos RS232, RS485 y RS422. Su característica principal es que emplea una codificación binaria y una fuerte verificación de los errores CRC.

2.7. Estructura granular

La estructura granular se la conoce a todos los materiales que consisten en partículas sólidas macroscópicas, generalmente en una fase líquida (para donde ese líquido es un líquido, estos materiales se denominan materiales granulares húmedos o materiales latentes). Cada parte elemental de un material se llama grano y son partículas independientes y, en general, a veces se comportan como sólidos, líquidos o gases (Barba Maggi, 2020).

2.8. Inestabilidades hidrodinámicas

Existen varios tipos de inestabilidades hidrodinámicas que aparecen en la zona de separación entre dos fases (dos líquidos o un sólido y un líquido) denominada interfase. Este fenómeno puede ocurrir en sistemas miscibles o inmiscibles (Binda, 2018).

2.8.1. Inestabilidad de Bénard

Henry Bénard fue uno de los primeros científicos en poner en marcha el campo de la hidrodinámica (Bénard, 1901). Utilizando una delgada película de aceite de ballena junto a capa de granos sobre una placa que se calienta con vapor de agua por la parte inferior, Bénard demostró que el líquido más próximo a la placa horizontal, se dilata y, por tanto, su densidad disminuye hasta ser menor que la del fluido que está por encima, provocando que tienda a subir mientras que el fluido que se encuentra en la superficie, baje. El líquido sube por el centro del recipiente y el fluido desciende por los bordes (Torres Castro, 1999). Para ello, se necesita un mínimo de energía para superar el punto de desequilibrio, dando paso a las corrientes de Bénard (Pérez García, 2003).

2.8.2. Inestabilidad de Faraday

Al someter una capa de líquido dentro de una celda a vibraciones verticales se generan ondas de Faraday. Faraday fue quién observó este fenómeno por primera vez en 1831. Se caracteriza por su inestabilidad de tipo subarmónico y se genera una vez que la aceleración de dicho movimiento oscilatorio supera un cierto umbral a_c (Douady, 1990). Las condiciones que determinan la estabilidad o inestabilidad del sistema son la frecuencia y fuerza del movimiento oscilatorio que se accionan al mismo, además se incluye aspectos geométricos asociados con el molde de la celda y del espesor de la capa de líquido (Bechhoefer et al., 1995).

Con el estudio de observación realizado por Faraday, muchos autores se han sumergido en el estudio tanto analítico, como experimental. Benjamin y Ursell en 1954 realizaron el análisis numérico y teórico de estabilidad lineal. Ambos concluyeron que el movimiento oscilatorio en la

superficie libre aparece siempre ante la acción de un movimiento vibratorio, con una relación $n:2$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) entre la oscilación impuesta y las frecuencias naturales del sistema (Miño, 2008). Actualmente, D. Barba ha realizado un análisis tanto analítico como experimental sobre suspensiones concertadas sometidas a vibraciones mecánicas, presentándose así, el fenómeno de inestabilidad de Faraday, donde la película de líquido sobrenadante presenta dichas formas de ondas. Barba propone tres modelos experimentales, por sustratos de mallas metálicas de diferentes texturas, con un recipiente cilíndrico y observación cenital y finalmente un modelo en configuración cuasi-2D (Barba Maggi, 2020).

2.8.3. *Inestabilidad de Rayleigh –Taylor (R-T)*

Es una inestabilidad hidrodinámica y se ha venido estudiando desde finales del siglo XVIII (Rayleigh, 1883). Este tipo de inestabilidad se efectúa cuando un fluido de mayor densidad se sobrepone y desplaza a un fluido de menor densidad, ya sea miscible o inmiscible, bajo la acción del campo gravitatorio. Por lo tanto, se presenta un fenómeno denominado digitación cuando la interfase o línea de contacto entre fluidos pierde su estabilidad, provocando deformación en forma de dedos, y por ello a esta inestabilidad se la conoce también como digitación (Binda, 2018).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo busca implementar un sistema automatizado que permita controlar proceso mediante una interfaz HMI. En este capítulo se plantea los requerimientos necesarios para cumplir con el proceso solicitado, además se detalla el funcionamiento del proceso, considerando su funcionalidad a partir de los requerimientos planteados para cada módulo. Por otra parte, se presentan la concepción de la arquitectura, los diseños mecánicos, los diagramas esquemáticos de cada módulo, también se muestra los diseños eléctricos, donde se describe el dimensionamiento de los dispositivos de protección, la construcción de la mesa antivibratoria. Además, se especifica el esquema electrónico, la programación de la interfaz HMI y del controlador lógico programable (PLC), los diagramas de flujo y software empleados en el desarrollo, construcción e implementación de un sistema vibratorio automatizado.

3.1. Requerimientos de sistema vibratorio

Basándose en el estudio bibliográfico realizado en el capítulo anterior, se describen los requerimientos imprescindibles para la implementación del trabajo de titulación, con la descripción de la concepción del proceso, especificación de los requerimientos y finalmente los requerimientos técnicos para la implementación del sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI para el estudio del control de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas.

3.1.1. *Requerimientos generales*

- Es importante que todos los sistemas automatizados tengan un botón de emergencia que permita detener el funcionamiento del sistema en caso de situaciones peligrosas o condiciones de funcionamiento anormales (ISO 13850, 2015).
- Es esencial que posea un botón de inicio, paro que permita ponerlo en funcionamiento y detenerlo cuando sea necesario, además es importante que cuente con luces piloto (verde y rojo) que muestre el estado del proceso ya sea de modo activo o inactivo (ISO 13850, 2015).
- La alimentación del sistema electrónico debe contar con la debida protección resguardando de este modo a los dispositivos y elementos ante sobre descargas eléctricas desde la acometida.

3.1.1.1. Requerimientos de la estructura antivibratoria

- Se requiere diseñar y construir una estructura con materiales resistentes, que sean de fácil manejo.
- La estructura antivibratoria debe aislar y absorber eficientemente los movimientos oscilatorios provocados por el vibrador empleado para realizar las pruebas.
- Se requiere crear un espacio aislado en la superficie de la estructura para realizar pruebas experimentales del proyecto “Control de la estructura Granular a través de Inestabilidades Hidrodinámicas”.

3.1.1.2. Requerimientos del módulo de adquisición de datos

- Requiere de un dispositivo, el cual debe contar con el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP con el puerto RJ-45, que nos permita una transmisión fiable de datos y que posea una robusta carcasa para el uso en entornos industriales muy exigentes.
- Para la obtención de las señales se debe tener un sensor de vibración que posea un amplio rango operativo.
- Para garantizar una adquisición de datos fiables del sensado, se debe contar con la capacidad de enviar y recibir su información en tiempo real al módulo de control.

3.1.1.3. Requerimientos del módulo de actuación y generación

- Se requiere un generador de señales que sea capaz de producir señales del tipo sinusoidal con un rango de operación de 3 a 80 Hz.
- El generador de señales debe contar un puerto de comunicación Ethernet que permita la conexión Modbus TCP/IP, lo cual resulta crucial para la comunicación entre los distintos módulos que conforman el sistema vibratorio.
- Se requiere de un vibrador del tipo sonoro que posea un alto rango de funcionamiento que nos permita replicar y amplificar la señal sinusoidal creada por el generador de señales.

3.1.1.4. Requerimientos del módulo de control y visualización

- Requiere de un controlador lógico programable (PLC) marca Schneider, el cual es esencial para un adecuado control de los elementos del sistema.
- El PLC Schneider debe poseer un puerto de comunicación ethernet que permita la conexión a una red de control o monitoreo esencial para la recopilación de datos de los distintos módulos.
- Requiere de una pantalla HMI, el cual debe poseer un puerto de comunicación ethernet.

- Para realizar el control de las magnitudes que son esenciales para generación de las vibraciones, se debe realizar por medio de una interfaz HMI, donde el operador a cargo sea capaz de enviar órdenes al sistema.
- El diseño de la pantalla HMI debe ser basado en las necesidades del proceso, siendo capaz de monitorear las variables de vibración generadas por el vibrador.

3.1.2. Elementos de la estructura antivibratoria

A continuación, se muestra los elementos usados en el diseño, construcción e implementación de la estructura antivibratoria. Los elementos empleados en la instalación y personalización se muestra en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Elementos de la estructura antivibratoria.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
4	Perfiles de aluminio estructurado de 80x40 mm de 940 mm.	Aluminio	Para la base en la parte inferior de la estructura antivibratoria.
9	Perfiles de aluminio estructurado de 80x40 mm de 520 mm.	Aluminio	Para la construcción de los niveles de la estructura antivibratoria.
6	Perfiles de aluminio estructurado de 80x40 mm de 440 mm.	Aluminio	Para la construcción de los niveles de la estructura antivibratoria.
4	Perfiles de aluminio estructurado de 40x40 mm de 900 mm.	Aluminio	Para la base en la parte superior de la estructura antivibratoria.
4	Perfiles de aluminio estructurado de 40x40 mm de 520mm.	Aluminio	Para la base en la parte superior de la estructura antivibratoria.
2	Superficies de 600x600mm, cortes de esquina de 80x40 mm.	Madera	Para superficies del nivel 1y 2 de la estructura antivibratoria.
1	Superficies de 600x600mm, cortes de esquina de 40x40 mm.	Madera	Para la superficie del nivel 3 de la estructura antivibratoria donde se coloca el vibrador.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.1.3. Hardware módulo de adquisición de datos

A continuación, se muestra los elementos de hardware usados en el desarrollo del módulo de adquisición de datos. En la tabla 2-3 se muestra describe brevemente lo antes mencionado.

Tabla 2-3: Hardware módulo de adquisición de datos.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
1	Maestro IO-link AL1342.	Maestro	Maestro IO-Link con interfaz Modbus TCP.
1	Sensor VVB001.	Capacitivo	Para detectar las vibraciones.

1	Cable prolongador M12 recto macho M12 codo hembra.		Para comunicar el maestro IO-link y el sensor de vibración.
1	Conector macho recto M12 4 polos D-CODE IP67.		Para realizar la comunicación ethernet.
1	Cable conector hembra recto M12 4 pin 2M.		Para la alimentación eléctrica del maestro IO-link.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.1.4. *Hardware módulo actuación y generación.*

A continuación, se muestra los elementos de hardware usados en el desarrollo del módulo de actuación y generación. En la tabla 3-3 se muestra lo antes mencionado.

Tabla 3-3: Hardware módulo de actuación y generación.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
1	Arduino	UNO	Placa de microcontrolador para realizar la programación.
1	DAC MCP4725	Convertidor digital	Permite generar una señal sinusoidal.
1	Potenciómetro digital	X9C103	
1	Puerto ethernet	ENC28J60	
1	Amplificador de audio	TPA3116D2	
1	Amplificador de audio	XH M510	

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.1.5. *Elementos de hardware módulo de control y visualización*

A continuación, se muestra los elementos de hardware usados en el desarrollo del módulo de control y visualización. En la tabla 4-3 se muestra lo antes mencionado.

Tabla 4-3: Hardware módulo de control y visualización.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
1	PLC Schneider TM221CE24T	PLC	PLC con puerto ethernet.
1	HMI Wecon	HMI	Interfaz gráfica.
1	Interfaz de comunicación	Switch Ethernet	Para establecer la comunicación entre el tablero de control y los diferentes módulos.
5	Cable ethernet	RJ45	Para la comunicación entre los módulos.
3	Pulsadores		Para inicio, paro y reset del proceso de evaluación.
1	Pulsador Emergencia		Para detener el proceso en caso de presentar un posible fallo.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.2. Concepción de la arquitectura

El sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI consta de una la estructura antivibratoria y de tres módulos primordiales como: *adquisición de datos*, *control y visualización*, *actuación y generación*. En la ilustración 1-3 representa la concepción de la arquitectura.

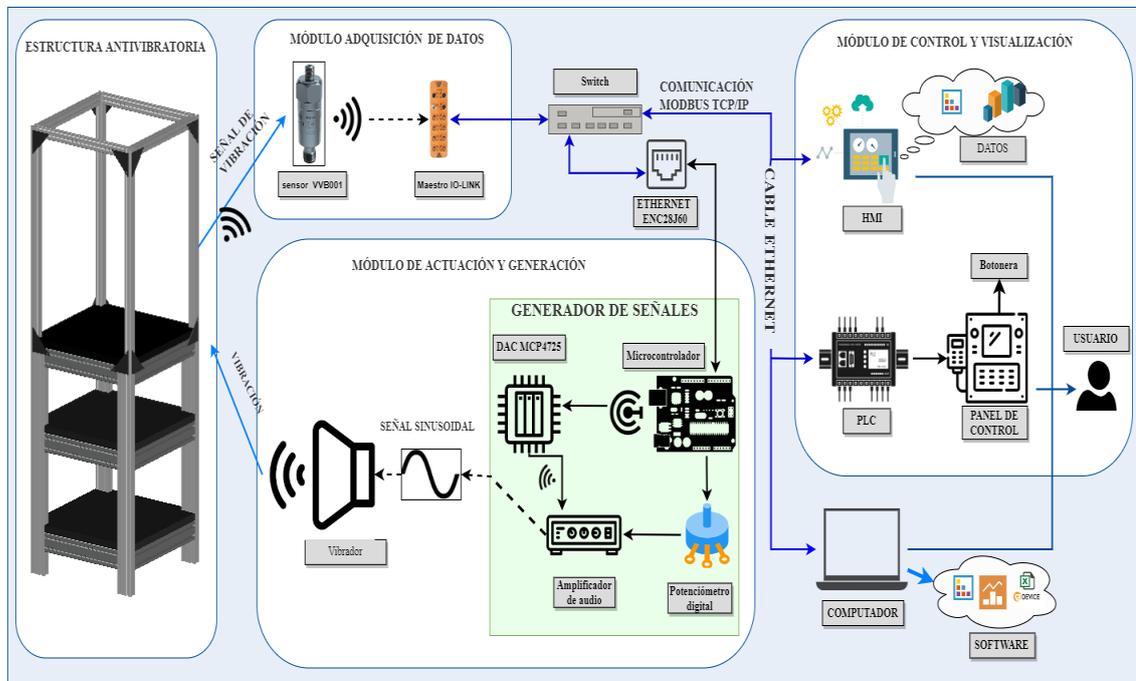


Ilustración 1-3: Concepción de la arquitectura general del sistema.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

- **La estructura antivibratoria** es donde van alojados los elementos de actuación y sensado, como el vibrador y sensor de vibración, respectivamente; el cual se encarga de absorber óptimamente las vibraciones verticales producidas por el vibrador, de forma que no afecte las pruebas experimentales que se van a realizar.
- **El módulo de adquisición de datos** consta de un maestro IO-Link que se encarga de recibir los datos del sensor de vibración que es el responsable de medir los valores de las variables de vibración como el movimiento oscilatorio que es producido por el vibrador, a su vez, es transmitido de manera fiable en tiempo real a través de un switch al controlador lógico programable (PLC) implementando una comunicación Modbus TCP/IP.
- **El módulo de control y visualización** es el encargado de controlar las magnitudes deseadas, generadas por el módulo de actuación y generación el cual envía la información al controlador lógico programable (PLC) y a su vez procesa las señales adquiridas por el

módulo de adquisición para ser visualizadas a través de la interfaz Hombre-Máquina (HMI), los datos que son monitoreados por el sensor; el operador varía según su necesidad el valor de frecuencia y voltaje; cabe mencionar que el módulo nombrado y descrito anteriormente puede establecer una comunicación Modbus TCP/IP con los módulos de adquisición, actuación y generación, considerando que existe un intermediario para su comunicación el cual es un switch que facilita a conexión en tiempo real de todos los módulos.

- **El módulo de actuación y generación** se encuentra integrado por un generador de señales y un elemento de actuación: el primero está creado a partir de una tarjeta de desarrollo programable, un convertidor digital análogo y un amplificador que conjuntamente son los encargados de generar la onda sinusoidal necesarios para el funcionamiento del sistema vibratorio; el segundo componente corresponde a un vibrador (de tipo sonoro) que recoge esta señal creada sinusoidalmente desde el generador de señales; a su vez este último también se encarga de transmitir la señal de control, las variables de frecuencia y voltaje al PLC para luego ser visualizadas en el HMI.

3.3. Diseño de los módulos del sistema vibratorio

A continuación, se procede a describir los diagramas de bloques correspondientes los diferentes módulos del sistema vibratorio.

3.3.1. Módulo de adquisición de datos

En la ilustración 2-3 se indica el diagrama de bloques del módulo de adquisición de datos, conformada por cuatro bloques, a continuación, se detalla cada uno de los bloques que conforman este módulo:

- **Bloque de alimentación:** proviene desde una fuente de voltaje continua de 24 V en corriente continua con una capacidad de 5 Amperios de corriente y que ha tomado la energía de la acometida de red pública de 110 V.
- **Bloque de adquisición de datos:** se compone por un sensor de vibración VVB001 usado para medir los movimientos oscilatorios transmitidos al recipiente que aloja el vibrador.
- **Bloque de procesamiento:** está compuesto un maestro IO-Link, el cual recibe los datos del sensor de vibración y se encarga de transmitir la información emitida.

- **Bloque de transmisión de información:** encargada de enviar los datos adquiridos a través de la comunicación Modbus TCP/IP.

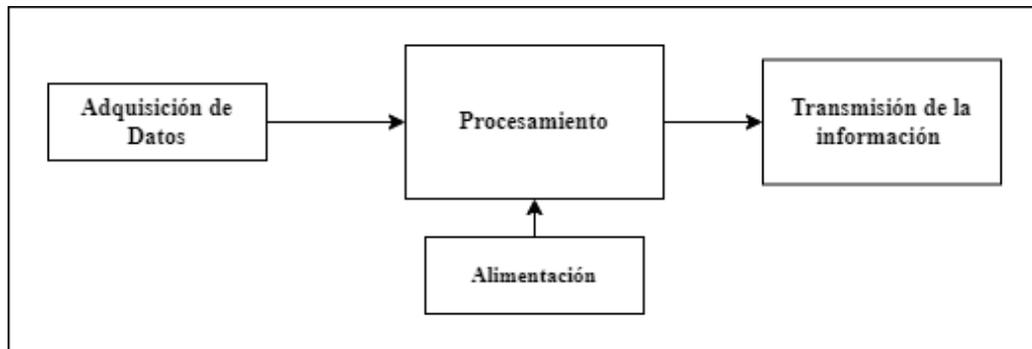


Ilustración 2-3: Diagrama de bloques módulo de adquisición de datos.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.3.2. Módulo de actuación y generación

La ilustración 3-3 representa la estructura por bloques del módulo de actuación y generación. a continuación, se detalla cada uno de los bloques que conforman este módulo:

- **Bloque de transmisión y recepción:** está compuesto por modulo ethernet ENC28J60 encargado de transmitir y recibir la información hacia del bloque de generación.
- **Bloque de generación:** posee distintos tipos de elementos como una tarjeta de desarrollo, DAC y un amplificador encargado de transmitir y generar señales sinusoidales hacia el actuador(vibrador), a su vez también recibe información y la procesa.
- **Bloque de la actuación:** contiene un vibrador que recibe la señal generada por los bloques descritos con anterioridad.

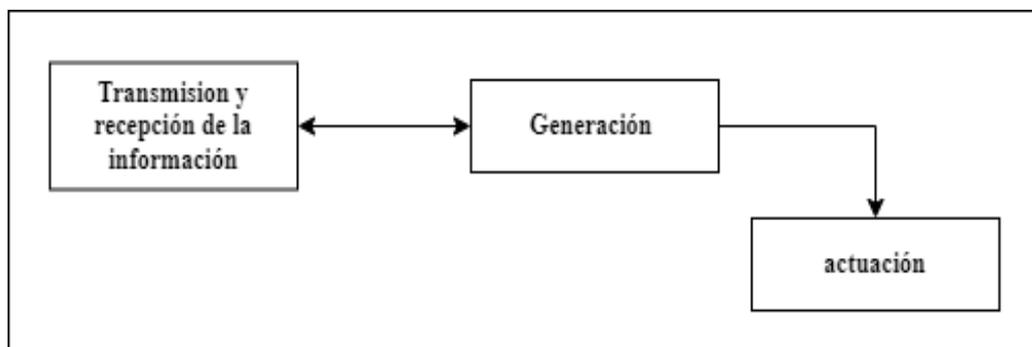


Ilustración 3-3: Diagrama de bloques módulo de actuación y generación.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.3.3. Módulo de control y visualización

La ilustración 4-3 representa la estructura por bloques del módulo de control y visualización que está conformada por distintos bloques que se detallan a continuación:

- **Bloque de transmisión de la información:** encargada de enviar y recibir los datos generados y adquiridos por los otros módulos descritos anteriormente, basado en la comunicación Modbus TCP/IP con cable ethernet.
- **Bloque de visualización de datos:** compuesto por una pantalla HMI que se encarga de visualizar los valores de los datos emitidos por el sensor de vibración, además por medio de este bloque se puede modificar la frecuencia, así como regular el voltaje.
- **Bloque de alimentación:** la energía eléctrica que utiliza el proceso es abastecida por la acometida de la red pública con un voltaje de 110 V, además, se incluye un elemento de protección (breaker) que soporta 20 Amperios y un convertidor de energía a corriente continua de 24 V y 5 A.
- **Bloque procesamiento:** se compone de un controlador PLC que procesa la información que recibe la información módulo de adquisición datos, y a su vez envía los datos requeridos por el usuario al módulo de actuación y generación para generar lo requerido.
- **Bloque botoneras:** compuesto por botones o pulsadores para controlar el proceso deseado, como inicio, paro y paro de emergencia.
- **Bloque de usuario:** compuesto por el operador o encargado de ocupar el sistema vibratorio.

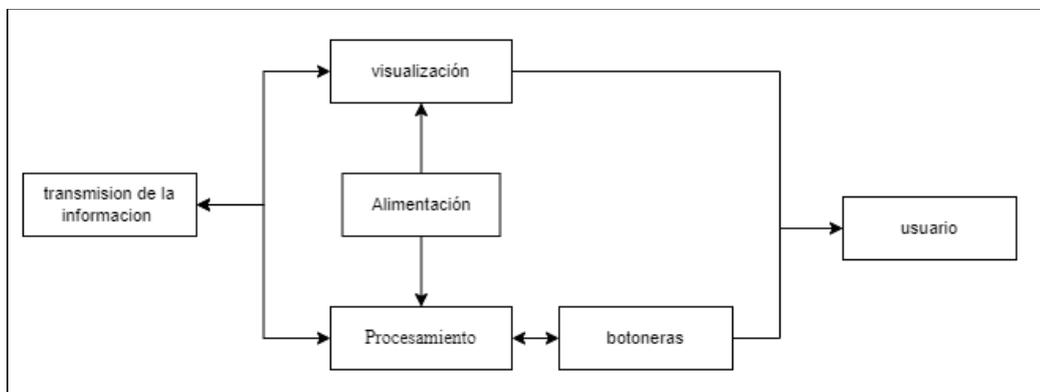


Ilustración 4-3: Diagrama de bloques módulo de control y visualización.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.4. Diseño estructural del sistema vibratorio

El diseño del sistema vibratorio se muestra en este apartado, ya que posee distintas estructuras diseñadas como la estructura antivibratoria y la estructura del panel de control para el módulo de control y visualización, estos diseños deben ser lo suficientemente robustos para soportar primeramente las vibraciones producidas por el vibrador sobre la estructura antivibratoria; la estructura del panel de control debe soportar el peso del gabinete que alojará todos los elementos que forman parte del panel de control eléctrico. Ambas estructuras deben proporcionar comodidad para los usuarios u operadores. Además, se muestra la representación mecánica en 3D, los cuales fueron diseñados en AutoCAD versión 2021.

3.4.1. Diseño estructura antivibratoria

En este apartado se muestra se detallará las medidas y dimensionamiento de los diseños elaborados para la estructura antivibratoria. En la ilustración 5-3 se muestra el diseño estructural antivibratorio utilizado para su posterior implementación.



Ilustración 5-3: Diseño estructura antivibratoria.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.4.1.1. Estructura inferior

La ilustración 6-3 muestra el diseño de la estructura inferior de la estructura antivibratoria, dividido en tres niveles para su posterior construcción física, utilizando perfiles de aluminio estructurado de 40x80 mm, pues es un material resistente, fácil de manejar y manipulable.



Ilustración 6-3: Estructura inferior antivibratoria.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la ilustración 7-3 se muestra el diseño estructural antivibratorio, que fue diseñado en 3D, las medidas del diseño inferior de la estructura anti vibratoria; al momento de elaborar el diseño se consideró los elementos que va a ensamblar sobre la estructura, así como también la manipulación que va a realizar el usuario u operador, en donde se consideró que el usuario tenga un fácil acceso a la estructura por todos sus lados. La base tiene una altura de 800 mm y un ancho de 600 mm, las medidas correspondientes se detallan en la tabla 5-3.

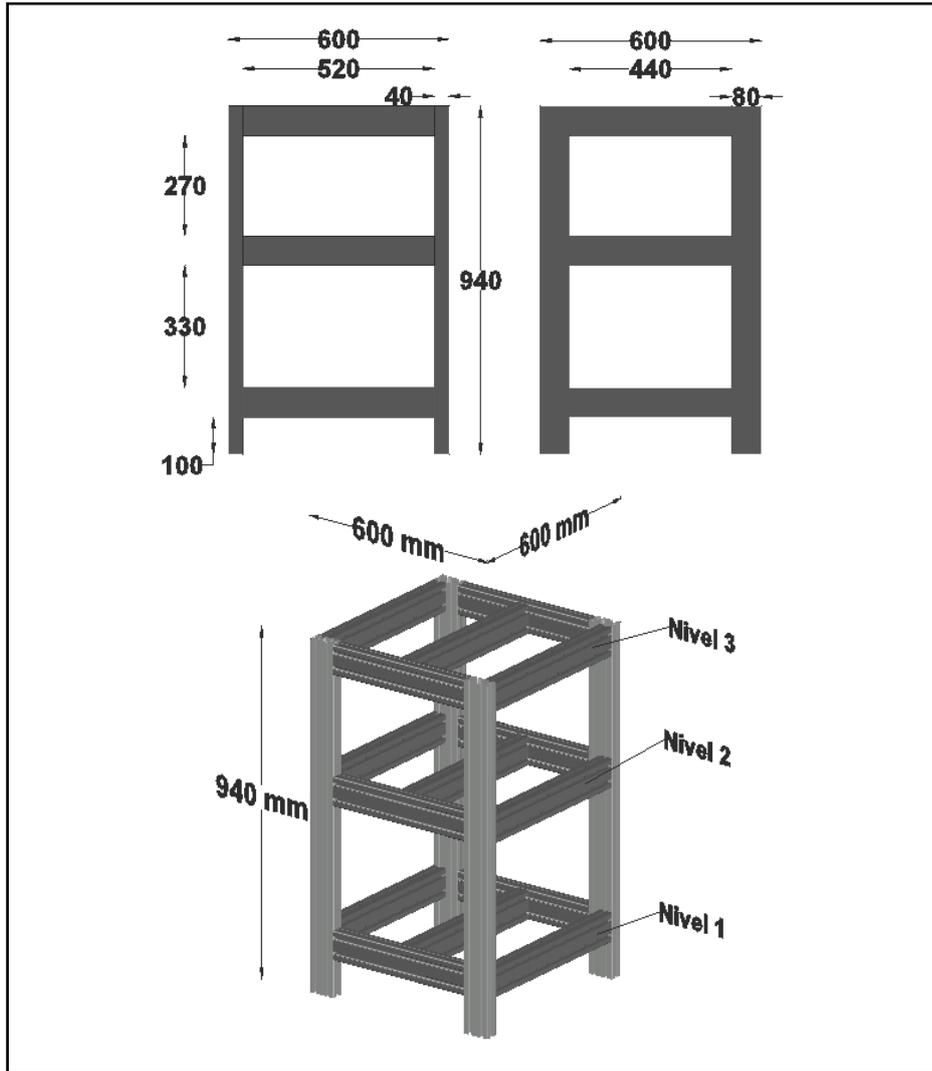


Ilustración 7-3: Diseño de la parte inferior de la estructura antivibratoria.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Tabla 5-3: Medidas estructura antivibratoria parte inferior.

Parámetros		Medidas
Estructura aluminio estructurado		
Tipo de material	Aluminio	40 mm de ancho x 80mm de largo
Largo		600 mm
Alto		940 mm
Ancho		600 mm

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.4.1.2. Estructura superior

De la misma manera, en la ilustración 8-3 se observa el diseño de la parte superior de la estructura que se realizó con aluminio estructurado de 40x40 mm. Los planos del diseño se realizaron tomando en consideración quede igual manera el fácil acceso que se debe

proporcionar al usuario y operador a los elementos de la parte inferior de la estructura antivibratorio.

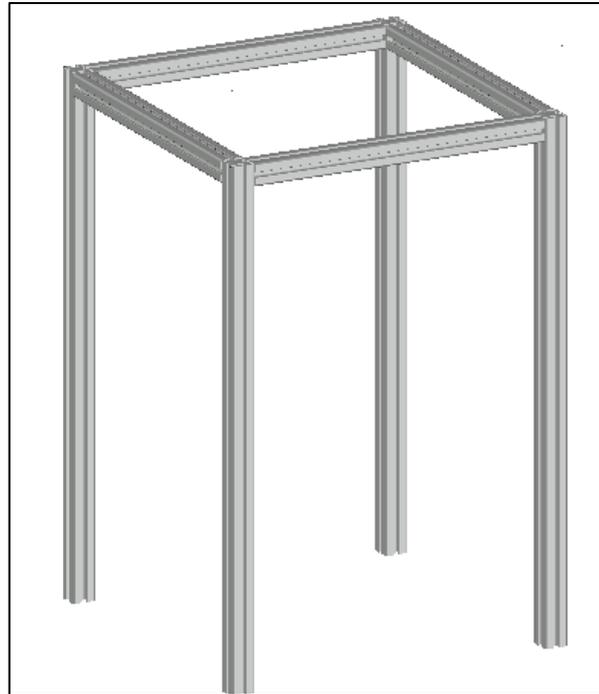


Ilustración 8-3: Estructura superior anti vibratoria.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la ilustración 9-3 se muestra el diseño con sus medidas de la parte superior de la estructura antivibratoria. En la tabla 6-3 se detallan las medidas correspondientes.

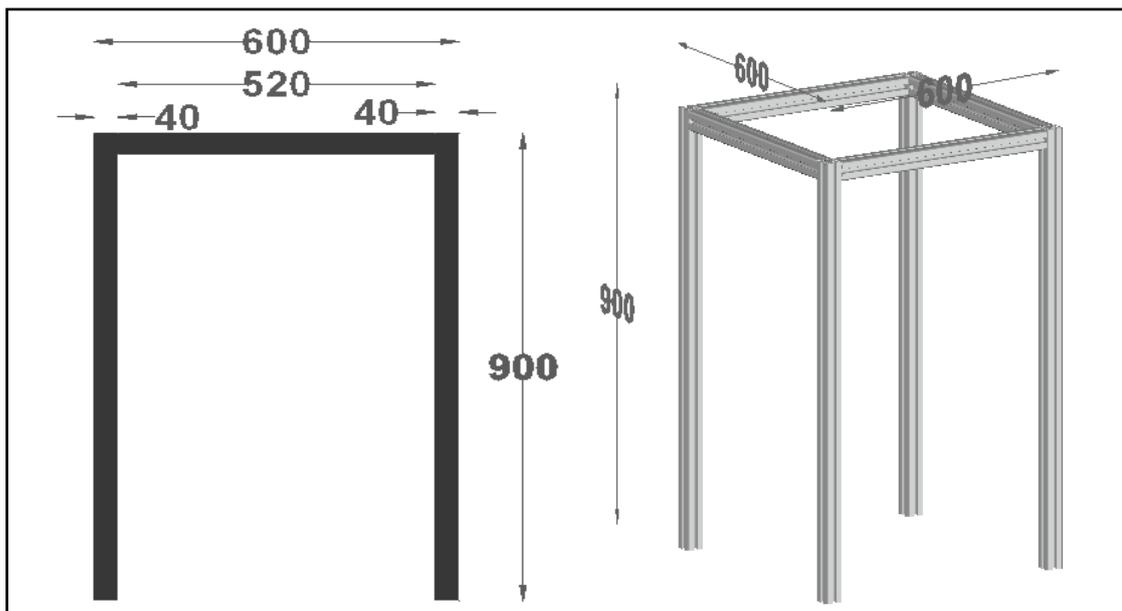


Ilustración 9-3: Diseño de la parte superior estructura anti vibratoria.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Tabla 6-3: Medidas estructura antivibratoria parte superior.

Parámetros		Medidas
Estructura aluminio estructurado		
Tipo de material	Aluminio	40 mm de ancho x 80mm de largo
Largo		600 mm
Alto		900 mm
Ancho		600 mm

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.4.1.3. Superficies

En la ilustración 10-3 se observa el diseño de las superficies divididas en 3 niveles, realizado en el software AutoCAD 2021, se utilizó madera de laurel para estas superficies, pues es un material resistente, fácil de manejar y manipulable; estas superficies son lo suficientemente robustas para soportar peso y el movimiento oscilatorio (vibraciones) emitidas por el vibrador sonoro.

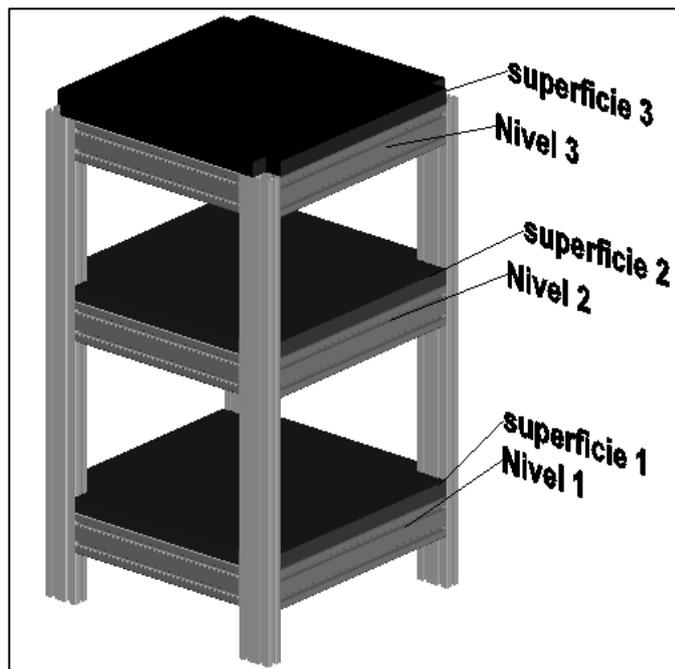


Ilustración 10-3: Superficies de la estructura vibratoria

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Las superficies que se muestra en la ilustración 11-3, se encuentran diseñadas en software antes mencionado, estas superficies son de gran importancia para la estructura antivibratoria ya que nos brinda una seguridad y robustes en los niveles 1 y 2 que son esenciales para su soporte mecánico, la superficie 3 es donde va a estar situado el elemento de actuación que es el vibrador del tipo sonoro. La base tiene una altura de 850 mm y un ancho de 1300 mm. Las medidas correspondientes se detallan en la tabla 7-3.

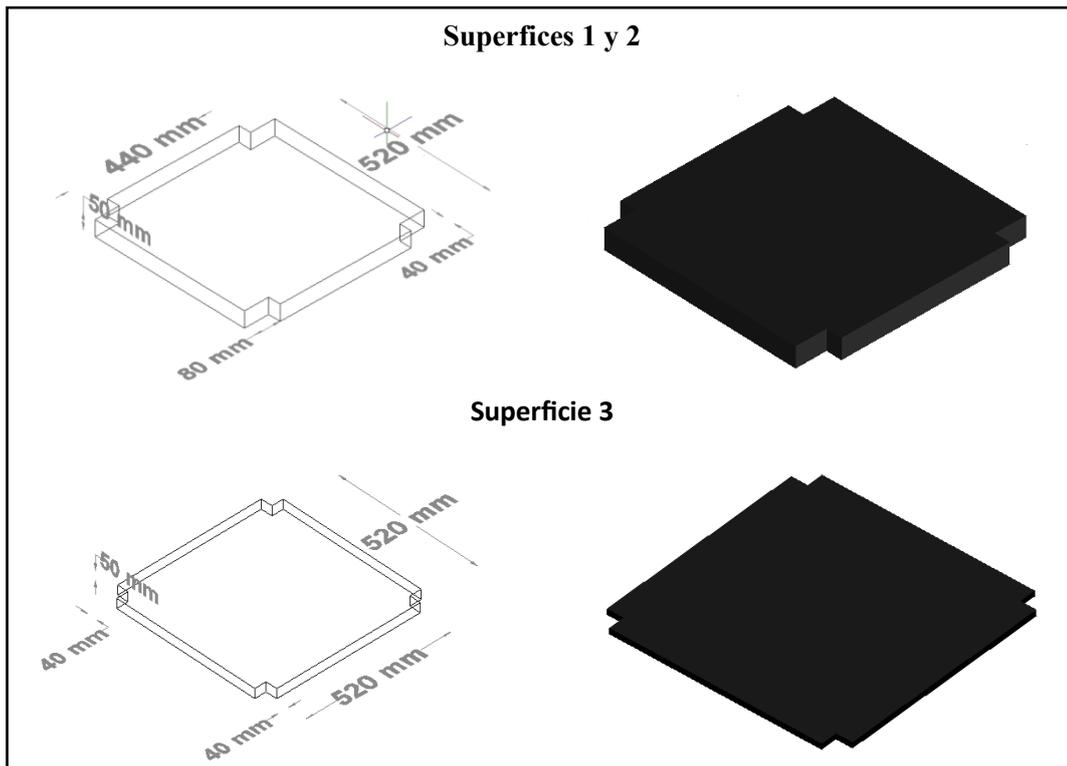


Ilustración 11-3: Estructura anti vibratoria con las superficies colocadas en los niveles

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Tabla 7-3: Medidas superficies estructura antivibratoria.

Parámetros	Medidas
Superficie 1 y 2	
Tipo de material	Madera
Largo	600 mm
Ancho	600 mm
Espesor	50 mm
Cortes esquina	80 x 40 mm
Superficie 3	
Tipo de material	Madera
Largo	600 mm
Ancho	600 mm
Espesor	50 mm
Cortes esquina	40 x 40 mm

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.4.2. Diseño estructural de la base del módulo de control y visualización

Al momento de crear el diseño que se muestra en la ilustración 12-3, hay que considerar las medidas de los elementos que se va a ensamblar sobre ella, como el panel de control eléctrico que va a contener los módulos de *control* y *visualización*, el diseño se realizó con tubos rectangulares

de hierro negro de 50 mm de largo por 25 mm de ancho y con un espesor de 0.9 con una altura total de 1680 mm por un ancho de 500 mm. En la tabla 8-3 se detallan las medidas del diseño estructural del pedestal, que fue diseñado en 3D.

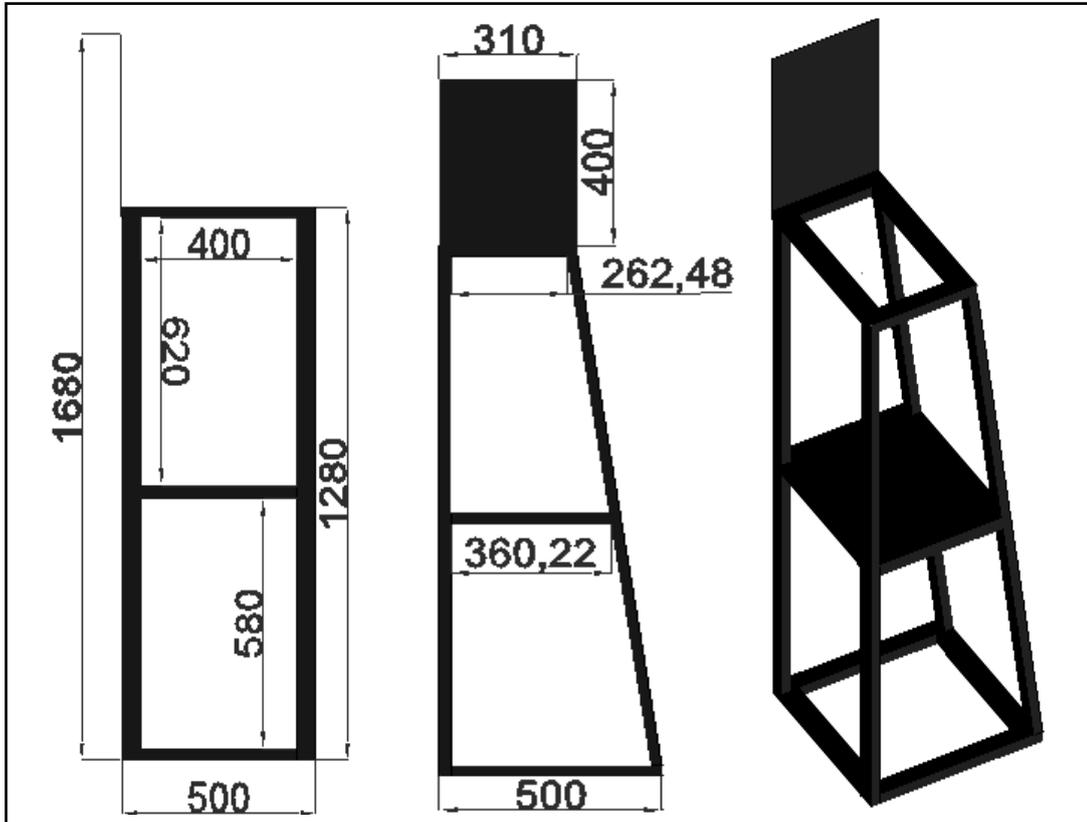


Ilustración 12-3:Plano estructural de la base del módulo de control y visualización.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Tabla 8-3: Medidas estructura antivibratoria.

Parámetros		Medidas
Estructura base		
Tipo de material	Hierro Negro	25 mm de ancho x 50mm de largo x 0,9 mm de espesor
Largo		500 mm
Alto		1680 mm
Ancho		500 mm

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.4.3. *Diseño estructural módulo de generación*

Al momento de crear el diseño que se muestra en la ilustración 13-3, hay que considerar las medidas de los elementos que se va a colocar dentro de ella, como la placa PCB que contiene los elementos que lo conforman, el diseño se realizó con planchas rectangulares de aluminio.



Ilustración 13-3: Diseño caja del módulo de generación.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la ilustración 14-3, se muestra el diseño con las medidas correspondientes de la caja del módulo de generación y actuación, En la tabla 9-3 se detallan las medidas correspondientes.

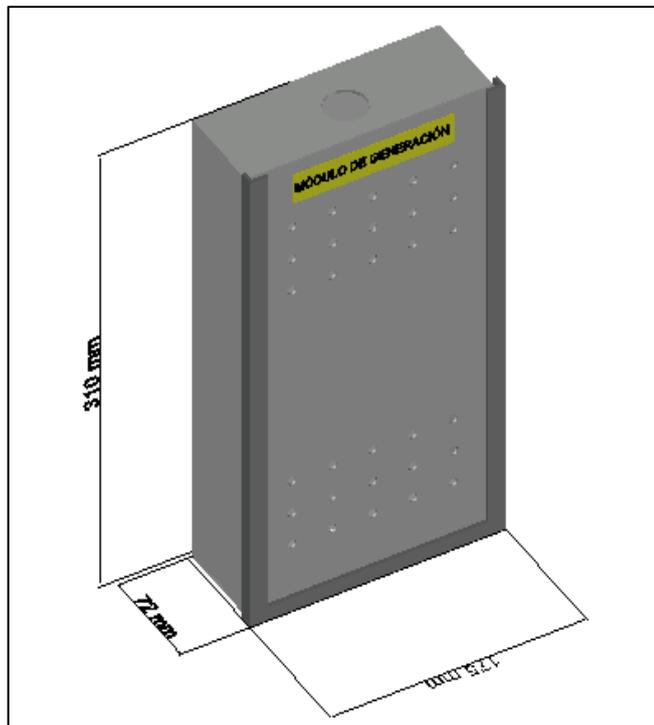


Ilustración 14-3: Medidas caja del módulo de generación.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023

Tabla 9-3: Medidas de la caja del módulo de generación y actuación.

Parámetros	Medidas
Tipo: Aluminio.	
Largo	175 mm
Alto	310 mm
Ancho	72 mm

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5. Diseño eléctrico y de control

En esta sección se describirá los dimensionamientos de los dispositivos de protección, el cable que se utilizará, la selección de los elementos eléctricos y electrónicos y finalmente los diagramas eléctricos del módulo de evaluación y selección.

3.5.1. Dimensionamiento del sistema de protección

Se deben considerar dispositivos de protección para proteger el circuito de posibles fallos que generen cortocircuitos. El breaker es utilizado como un interruptor para prevenir distintos fallos que se puedan producir en módulos de *adquisición de datos*, *accionamiento y generación*, *control* y *visualización*. Los tamaños de estos componentes se basan en la disipación de potencia total del circuito. En total, se instalarán un dispositivo de protección para los tres módulos descritos con anterioridad que se encontrara ubicado en el módulo de control y visualización.

3.5.1.1. Consumo de corriente para el módulo de adquisición de datos

El módulo de adquisición consta de una carga donde se encuentra todos los dispositivos que conforman este módulo. En la tabla 10-3 se describe las corrientes nominales de cada elemento.

Tabla 10-3: Consumo de los elementos del módulo de adquisición de datos.

Cantidad	Elemento	Corriente nominal Total
1	Maestro IO-link	200 mA
Total		200 mA

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.1.2. Consumo de corriente para el módulo de actuación y generación

El módulo de actuación y generación de datos consta de una carga donde se encuentra todos los dispositivos que conforman este módulo. En la tabla 11-3 se describe las corrientes nominales de cada elemento instalado.

Tabla 11-3: Consumo de los elementos del módulo de actuación y generación.

Cantidad	Elemento	Corriente nominal total
1	Amplificador de audio TPA3116D2	1500 mA
1	Amplificador de audio 7498	1700 mA
Total		3200 mA

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.1.3. Consumo de corriente para el módulo de control y visualización

El módulo de control y visualización consta de una carga donde se encuentra todos los dispositivos lo conforman. En la tabla 12-3 se describe las corrientes nominadas de cada elemento instalado.

Tabla 12-3: Consumo de los elementos del módulo de actuación y generación.

Cantidad	Elemento	Corriente nominal total
1	Plc schneider	200 mA
1	HMI Wecon	2000 mA
2	Pulsadores (inicio, paro)	20 mA
2	Indicadores (verde, rojo)	20 mA
1	Pulsador de emergencia	10 mA
Total		2250 mA

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.2. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Para el dimensionamiento del cableado del eléctrico de los módulos se consideran las corrientes de consumo de los elementos eléctricos y electrónicos que son alimentados con una corriente continua de 24 VDC. En función de esta corriente se seleccionaron conductores de cobre tipo TFF de calibre 18 AWG para conectar las líneas de fase y neutro de la fuente de alimentación. Para el cableado de cada uno de los elementos de los módulos, se utilizó conductores de cobre flexible tipo TFF de calibre 22 AWG (Iza et al., 2018, p. 9).

3.5.3. Selección de los componentes de eléctricos y electrónicos del sistema

A continuación, se detallan los elementos utilizados para la implementación del sistema vibratorio, una descripción, características y especificaciones técnicas de funcionamiento más importantes.

3.5.3.1. Vibrador resonante

El vibrador resonante es de la marca Samco, este elemento sonoro es una bocina modelo L0AA24A00004, transforma una señal eléctrica en una onda oscilante, ideal para ensayos de vibración y montajes pequeños, posee una impedancia de 9.5 ohm, cuyo rango de potencia de salida máxima es del 100 watt, el diámetro de este vibrador es de 25 cm. En la ilustración 15-3 se muestra el vibrador resonante (Raymond, 2015).



Ilustración 15-3: Vibrador resonante.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.2. PLC Schneider TM221CE24T

El controlador lógico programable es de la marca Schneider Electric, este controlador posee 24 E/S lógicas y se suministra con 24V CC. Incluye los borneras para conectar las E/S, otra bornera de tornillo para la conexión la fuente de alimentación, y un puerto ethernet para su comunicación (Schneider electric, 2021), como se muestra en la ilustración 16-3.



Ilustración 16-3: PLC Schneider TM221CE24T.

Fuente: (Schneider electric, 2022).

A continuación, en la tabla 13-3 se describe las características principales del PLC TM221CE24T. Para más información consulte el Anexo A.

Tabla 13-3: Características técnicas y específicas de PLC TM221CE24T.

Descripción	Características
Voltaje de alimentación	+24 V DC
Número de E/S Digitales	24
Tipo de salida digital	Transistor
Número de salidas discretas	10 transistor 2 salida rápida
Tensión a la salida	24 V CC
Corriente a la salida	0.5 A

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.3. Maestro IO-link

En la ilustración 17-3 se observa el maestro IO-link AL1342 con interfaz Modbus TCP, este instrumento compacta la conexión de distintos dispositivos sean estos actuadores o sensores. Posee un total de 16 entradas y salidas configurables, además de puertos con conexiones para 8 dispositivos Io-link, posee una carcasa robusta ideal para entornos industriales (IFM,2021).

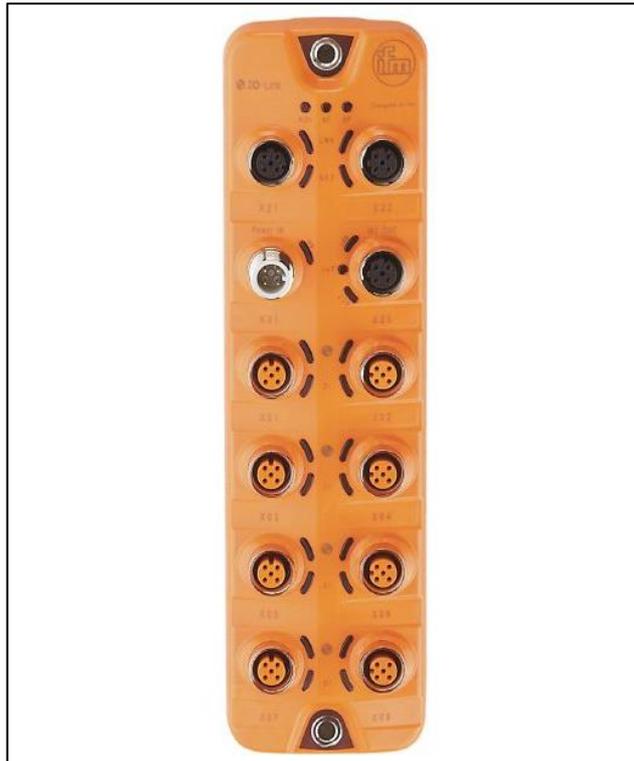


Ilustración 17-3: Maestro IO-link AL1342.

Fuente: (ifm,2022).

A continuación, en la tabla 14-3 se describe las características principales del maestro IO-Link 1342. Para más información consulte el Anexo B.

Tabla 14-3: Características técnicas y específicas del maestro IO-Link AL1342.

Descripción	Características
Voltaje de alimentación	+24 V DC
Corriente máxima por cada salida	300 mA
Número de entradas	16
Número de salidas	8
Interfaz de comunicación	Ethernet; IO-Link

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.4. Sensor de vibración VVB001

El sensor de vibración observado en la ilustración 18-3; es un detector de vibraciones con interfaz IO-link que analiza y registra de manera intermitente diversos valores que intervienen en el proceso de vibración, además de proporcionar datos brutos de aceleración, proporciona un amplio grado de protección en entornos industriales muy exigentes (IFM,2021).



Ilustración 18-3: Sensor de vibración VVB001.

Fuente: (ifm,2022).

A continuación, en la tabla 15-3 se describe las características principales del sensor de vibración VVB001. Para más información consulte el Anexo C.

Tabla 15-3: Características técnicas y específicas del sensor de Vibración VVB001.

Descripción	Característica
Rangos de Frecuencia	2...10000 Hz
Principio de medición	Capacitivo
Rango de vibraciones V-RMS	0...45 mm/s
Rango de vibraciones A-RMS	0...490.33 m/s ²
alimentación	18 a 30 V DC
Consumo de Corriente	<50 mA

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.5. HMI Wecon PI3070I-N

En la ilustración 19-3 se muestra el HMI de la marca WECON modelo PI3070I-N, este tipo de dispositivo es de alto rendimiento, compatible con diversas marcas de PLC, posee una pantalla táctil, una resolución de pantalla de 800x480 LCD, con puerto ethernet es utilizado para visualizar los datos y la información operativa en tiempo real.



Ilustración 19-3: HMI Wecon PI3070I-N.

Fuente: (Himelco, 2020).

A continuación, en la tabla 16-3 se describe las características principales del HMI PI3070I-N. Para más información consulte el Anexo D.

Tabla 16-3: Características técnicas y específicas del HMI PI3070I-N.

Descripción	Característica
Tamaño	PI3070i-N
Tensión de Alimentación	24 V DC
Potencia	< 8 W
Rango de entrada	12 a 28 V DC
memoria	128 MB
Resolución	800*480

Realizado por: Jaramillo K; Marcotoma I, 2023.

3.5.3.6. Arduino uno

Arduino uno es una tarjeta de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328P, este elemento es de las más utilizadas en distintos proyectos ya que está basada y fundamentada en un hardware y software libre, de fácil acceso para los usuarios, posee 32KB de memoria flash para almacenamiento de códigos, tiene 14 pines de E/S digital de los cuales 6 pueden ser utilizados como PWM, 6 entradas analógicas, conexión USB, véase en la ilustración 20-3 (Arduino, 2019).



Ilustración 20-3: Arduino uno.

Fuente: (arduino,2019).

A continuación, en la tabla 17-3 se describe las características principales del Arduino uno. Para más información revise el Anexo E.

Tabla 17-3: Características técnicas y específicas del Arduino uno.

Descripción	Característica
Microcontrolador	AtMEGA328
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada	7 a 12 V
Rango de entrada	12 a 28 V DC
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin	50 mA

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.7. DAC MCP4725

En la ilustración 21-3 se muestra un convertor digital a analógico que genera una señal analógica partiendo de una señal digital, esto permite agregar o añadir una salida analógica real a un microcontrolador para poder generar señales senoidales, triangulares, etc. Este elemento posee una demanda alta a causa de ser utilizado en proyectos de control por voltaje analógico reemplazando a un potenciómetro manual, su rango de voltaje de salida depende mucho del valor del voltaje ingresado (UNIT Electronics, 2019).

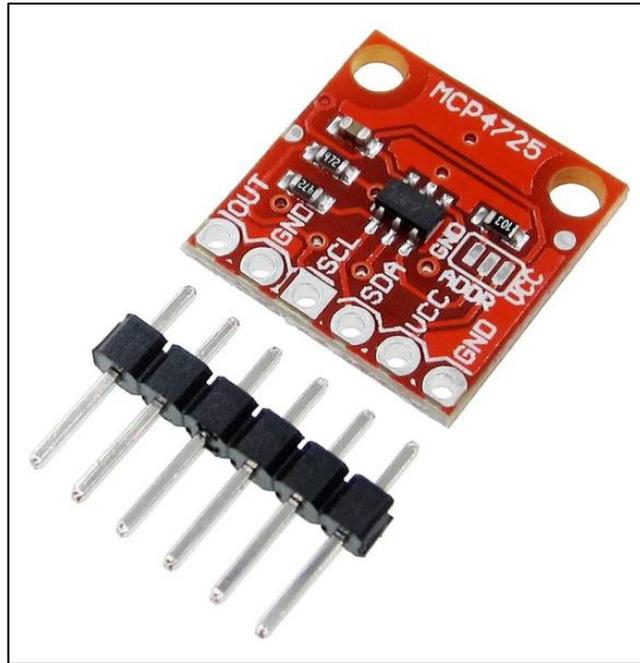


Ilustración 21-3: DAC-MCP4725.

Fuente: (UNIT Electronics, 2019)

A continuación, en la tabla 18-3 se describe las características principales del DAC MCP4725. Para más información revise el Anexo F.

Tabla 18-3: Características técnicas y específicas del DAC MCP4725.

Especificación técnica	Valor
CHIP	Microchip MCP4725
Voltaje de alimentación	2.7 V a 5.5 V
Rango de Operación	3.3 V a 5 V

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.8. Potenciómetro digital X9C103

El elemento que se muestra en la ilustración 22-3 es un circuito integrado que posee la capacidad de transformar su resistividad por medio de una señal digital, su característica principal se puede cambiar digitalmente desde el Arduino, es capaz de guardar su posición actual en la memoria no volátil después de apagarse y comenzar desde la misma posición cuando se enciende (Dualtronica, 2020). Este dispositivo o elemento es de mucha utilidad ya que permite controlar su voltaje como una señal digital.

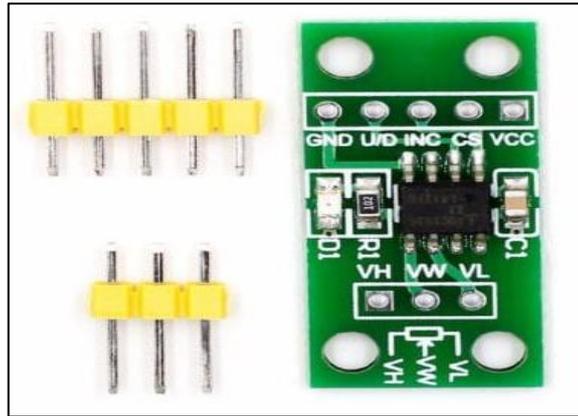


Ilustración 22-3: Potenciómetro digital X9C103.

Fuente: (Dualtronica, 2020)

A continuación, en la tabla 19-3 se describe las características principales del Potenciómetro digital X9C103. Para más información revise el Anexo G.

Tabla 19-3: Características técnicas y específicas del Potenciómetro digital X9C103.

Especificación técnica	Valor
Voltaje de entrada	3V A 5V
Potencia	15 mW
Corriente de entrada	3 mA

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.9. Módulo ethernet ENC28J60

En la ilustración 23-3 se muestra el módulo ethernet ENC28J60, diseñado por Microchip una empresa norteamericana, este elemento es ideal para operar protocolos de red ya que es compatible con el estándar IEEE802.3, se puede conectar con cualquier microcontrolador de Arduino a la red ethernet, así consiguiendo enviar y recibir datos desde cualquier red local (Microchip, 2008).

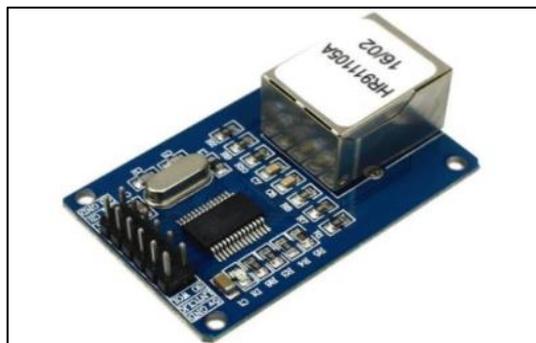


Ilustración 23-3: Módulo ethernet ENC28J60.

Fuente: (Microchip, 2020).

A continuación, en la tabla 20-3 se describe las características principales del módulo ethernet ENC28J603. Para más información revise el Anexo H.

Tabla 20-3: Características técnicas y específicas del módulo ethernet ENC28J603.

Especificación técnica	Valor
Voltaje de entrada	5V
Voltaje de Operación	3.3 V
Voltaje de operación mínima	3.1 V
Corriente de funcionamiento	mA

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.10. Amplificador TPA 3116D2

Módulo amplificador TPA3116D2 que se muestra en la ilustración 24-3 es fabricado por la empresa Texas instruments, contiene dos canales de 120W. Este módulo es utilizado para amplificar señales de emitidos por distritos dispositivos, posee una salida máxima de potencia de 120W. Es utilizado en muchos proyectos debido a su tamaño, disposición de uso y precio (Texas Instruments, 2017).



Ilustración 24-3: Amplificador de audio TPA3116D2.

Fuente: (Texas instruments, 2017).

A continuación, en la tabla 21-3 se describe las características principales del Amplificador de audio TPA3116D2.

Tabla 21-3: Características técnicas y específicas del Amplificador TPA3116D2.

Especificación técnica	Valor
Modelo	XH-MS543
Tipo de chip	TPA3116D2
Voltaje de operación	12 V A 26 V DC
Potencia de salida	120x2 W

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.3.11. Amplificador TDA7498

El amplificador TDA7498 que se muestra en la ilustración 25-3 es un módulo XH-M510 conocido por ser un potente amplificador estéreo de audio (2 x 100w), este amplificador posee el chip TDA7498 clase D, y una entrada diferencial.



Ilustración 25-3: Amplificador TDA7498.

Fuente: (Dualtronica, 2020)

A continuación, en la tabla 22-3 se describe las características principales del amplificador TDA7498.

Tabla 22-3: Características técnicas y específicas del Amplificador TDA7498.

Especificación técnica	Valor
Modelo	XH-M510
Tipo de chip	TDA7498
Voltaje de operación	15 V A 32 V DC
Potencia de salida	100x2 W

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.4.1. Esquema de conexiones del módulo de control de visualización

En la ilustración 27-3 se presenta el esquema de conexiones eléctricas de los elementos que conforma el módulo de “control y visualización”, para la alimentación eléctrica se utiliza una fuente conmutada de 24 V DC, el controlador lógico programable trabaja con el voltaje antes mencionado, en sus entradas se conectan los pulsadores de inicio, paro y emergencia, y los indicadores a sus salidas. La interfaz HMI se conecta a un voltaje de 24 V DC. En la tabla 24-3 se presenta una descripción de cada elemento utilizado.

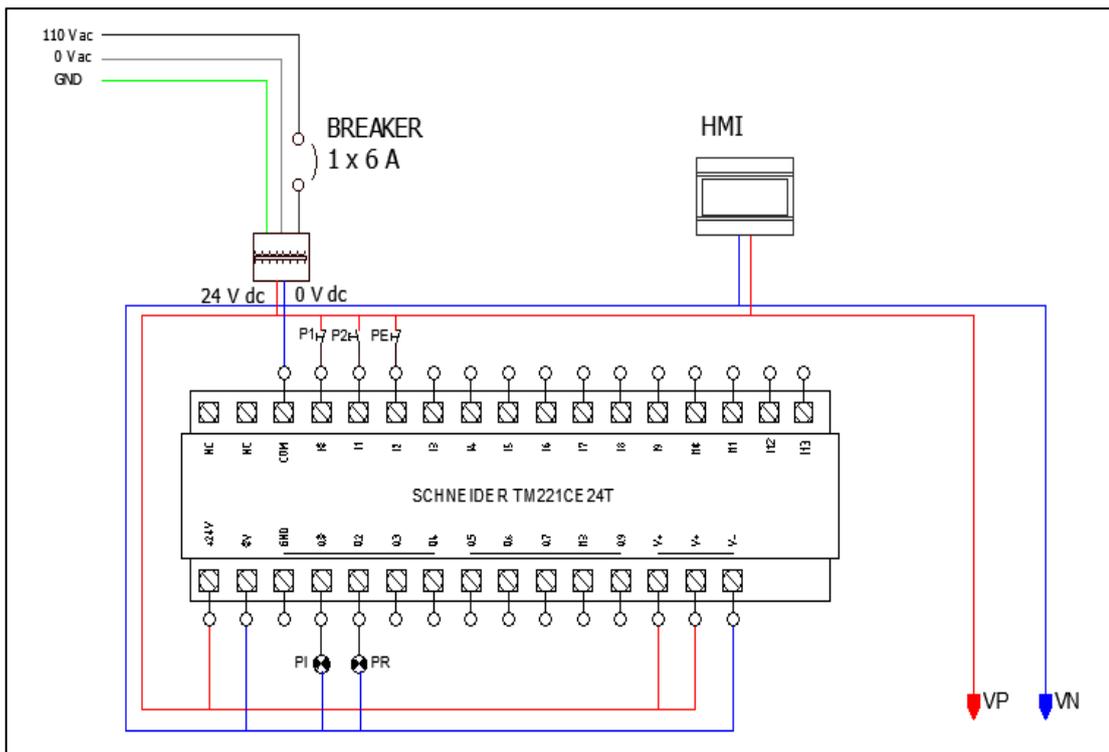


Ilustración 27-3: Esquema de conexiones módulo de control y visualización.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Tabla 24-3: Elementos del esquema de conexión del módulo de control y visualización.

Elemento	Descripción
P1	Pulsado de paro
P2	Pulsador de Inicio
PE	Pulsador de paro de Emergencia
PI	Indicador Rojo (Paro)
PR	Indicador Verde (Inicio)
HMI	Interfaz maquina humano
VP	+24 V
VN	0 V

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

El esquemático de la distribución de los elementos del módulo de “control y visualización” montados en un gabinete se distribuye en dos partes; En la ilustración 28-3 se aprecia la distribución de cada dispositivo y elementos como el controlador lógico programable (PLC), fuente de alimentación, protección (breaker), borneras y un switch; los elementos antes mencionados están colocados en la parte interior del gabinete. En la parte exterior del gabinete se encuentra los pulsadores de inicio, paro y emergencia, así como los indicadores verdes, rojo y de voltaje; y el HMI están colocados en la puerta del antes mencionado como se puede observar en la ilustración 29-3.

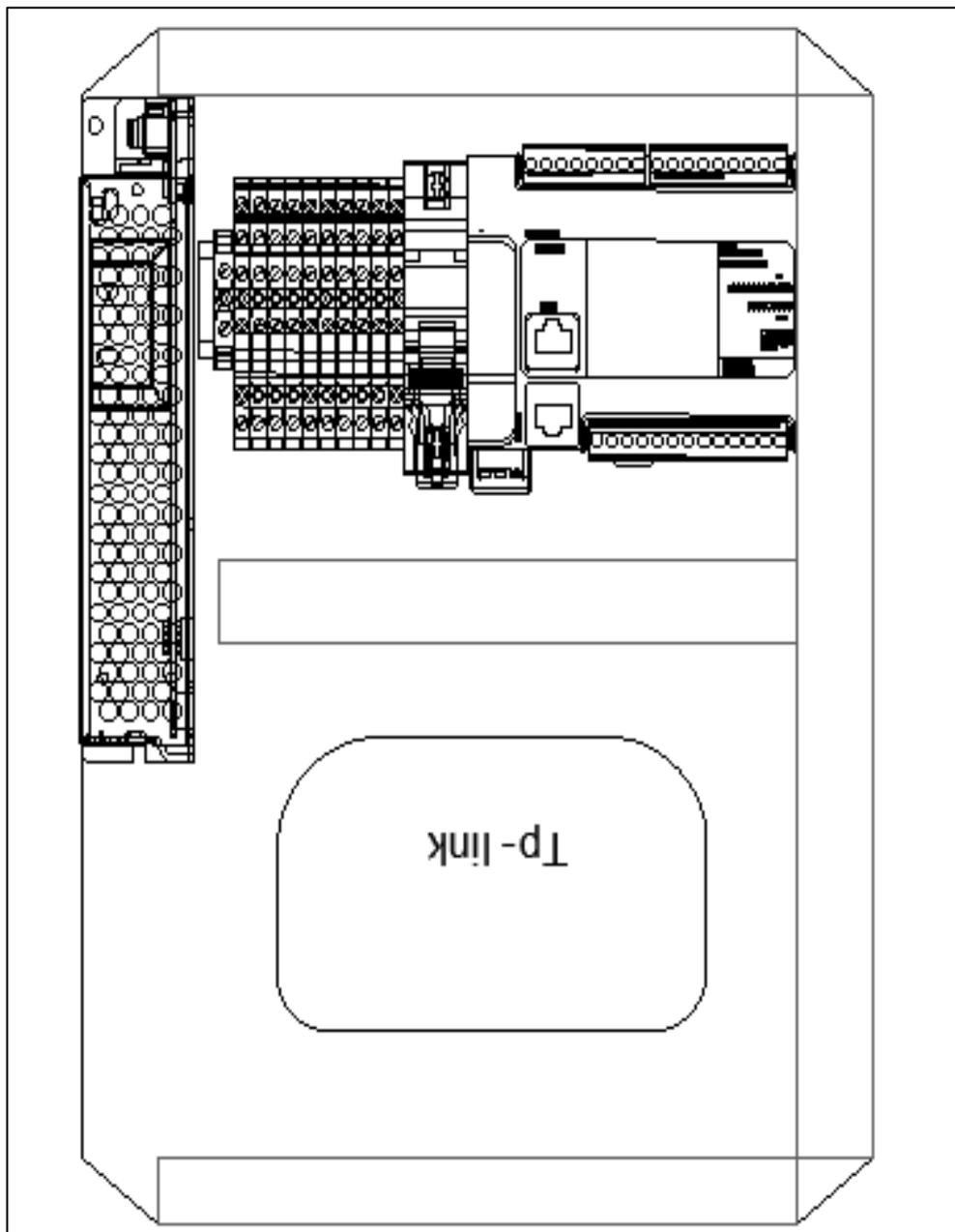


Ilustración 28-3:Esquemático de la distribución interna del gabinete.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

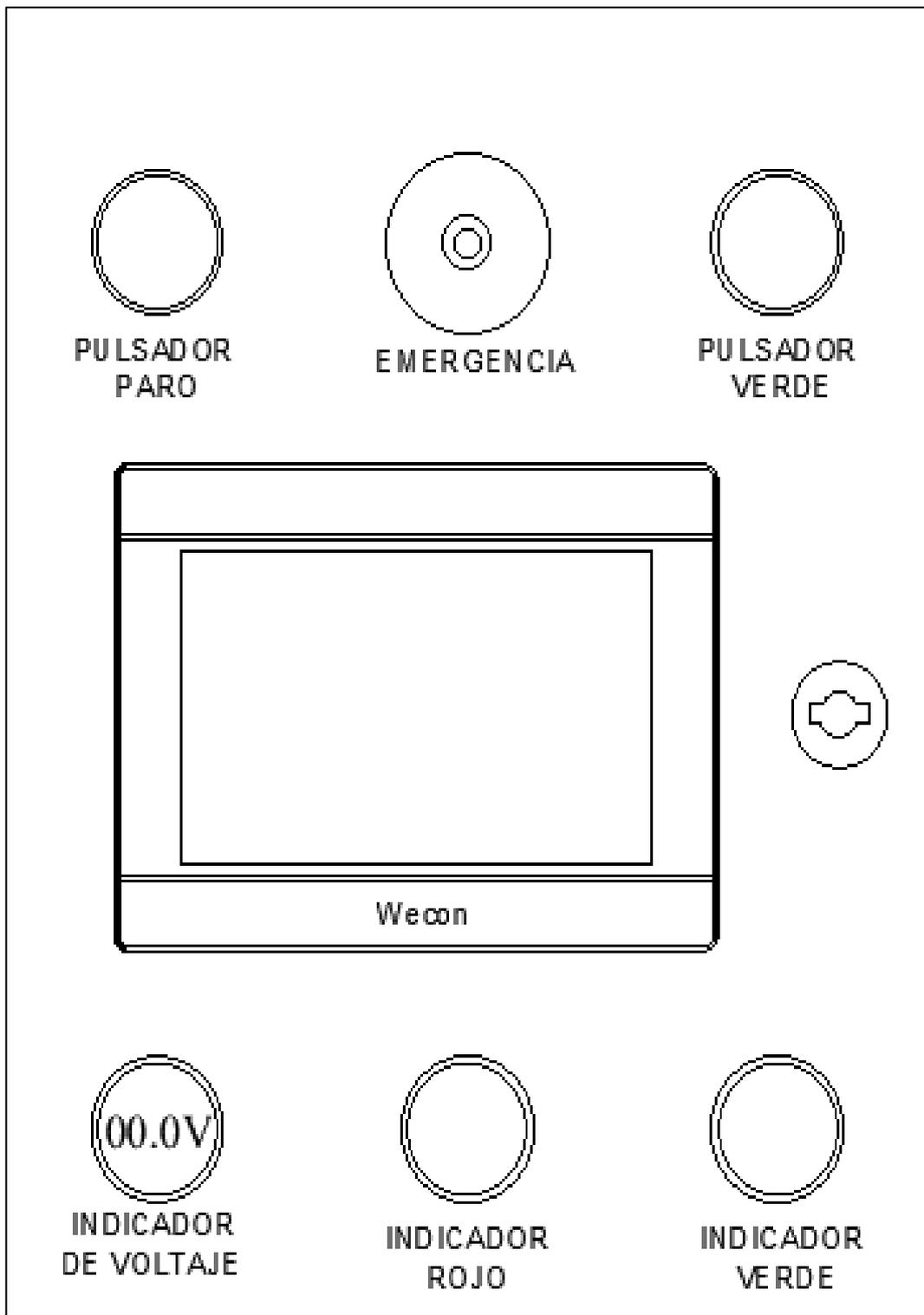


Ilustración 29-3: Esquemático de la distribución externa del gabinete.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la ilustración 30-3 se muestra la parte interna del gabinete implementado con todos sus componentes establecidos. En la ilustración 31-3 se muestra la parte externa del gabinete implementado con todos sus indicadores, pulsadores y su pantalla HMI.

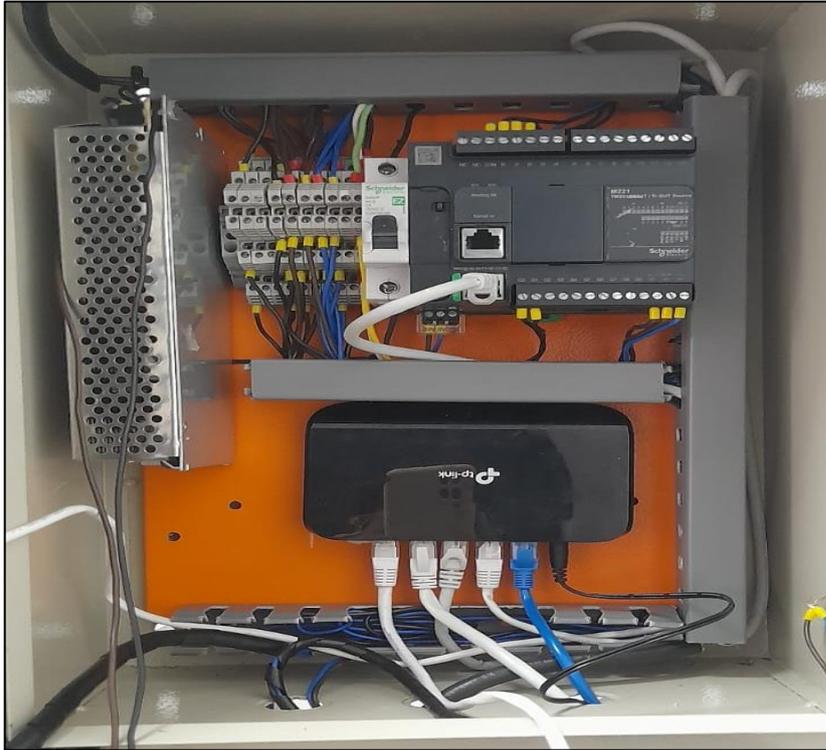


Ilustración 30-3: Implementación interna del módulo de control y visualización

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.



Ilustración 31-3: Implementación externa del módulo de control y visualización

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.4.2. Esquema de conexiones del módulo de adquisición de datos

En la ilustración 32-3 se presenta el esquema de conexiones eléctricas de los elementos que conforma el módulo de “adquisición de datos”, para la alimentación eléctrica del maestro IO-link se utiliza 24 V DC de la fuente de alimentación del módulo de “control y visualización”. El sensor de vibración se encuentra conectado en el puerto X01 del maestro IO-link. En la tabla 25-3 se presenta una descripción de cada elemento utilizado.

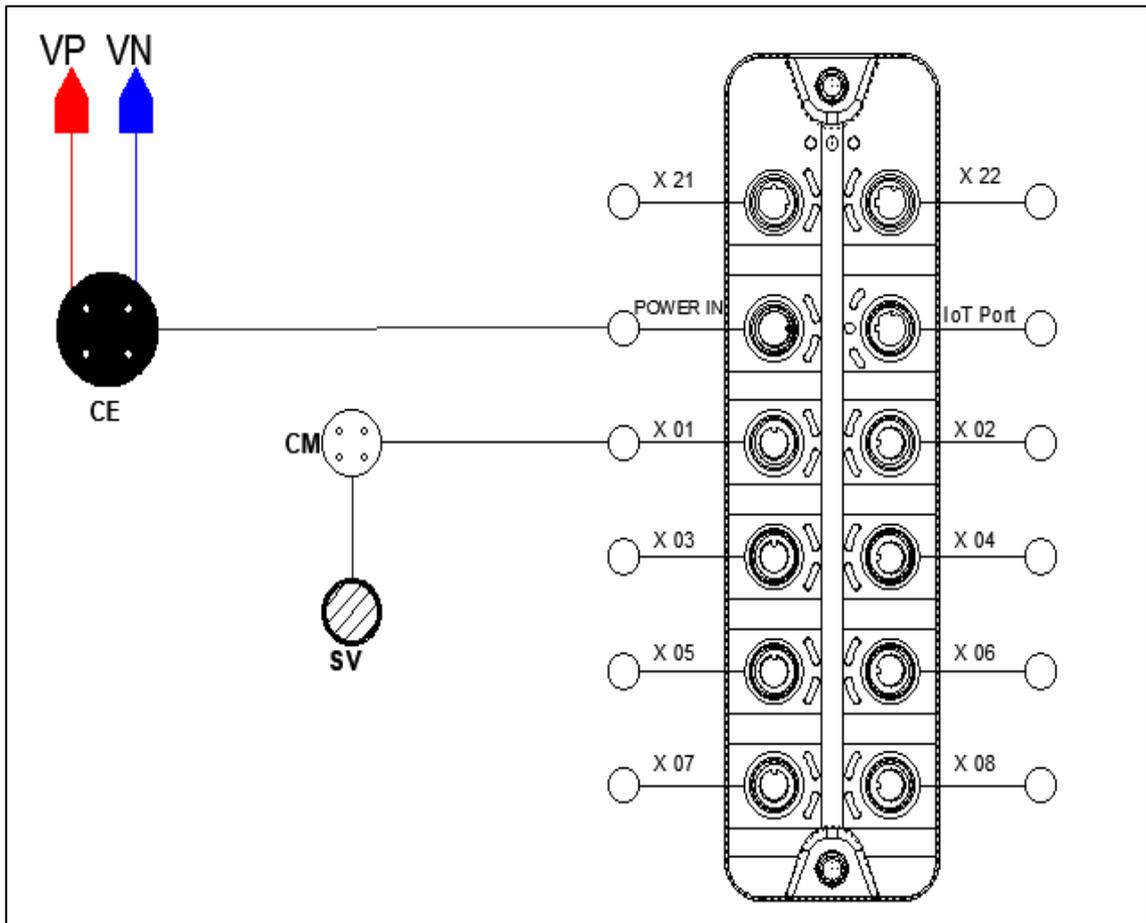


Ilustración 32-3: Esquema de conexiones módulo de adquisición de datos.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Tabla 25-3: Elementos del esquema de conexión del módulo de Adquisición de datos.

Elemento	Descripción
CE	Conector Hembra
CM	Conector Macho
SV	Sensor de Vibración
VP	+24 V
VN	0 V

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.5.4.3. Esquema de conexiones del módulo de actuación y generación

El módulo de actuación y generación se compone por una tarjeta de desarrollo Arduino UNO, un módulo ethernet ENC28J60, un potenciómetro digital X9C103, un convertidor DAC MCP4725, un bloque de alimentación y un divisor de voltaje y salida, como se muestra en la ilustración 33-3. La alimentación de este módulo se encuentra conectado a una fuente de alimentación de corriente continua, VIN (5V) y GND (GND), abastecida por la acometida de la red eléctrica de 110V AC.

La tarjeta de desarrollo Arduino UNO es alimentado por la fuente de alimentación de 5V DC, a los pines de entrada VIN (5V) y GND (GND). Además, energiza los demás componentes con sus pines de salida de voltaje de 5V para el potenciómetro digital y de 3.3 V para el módulo Ethernet ENC28J60 y el convertidor DAC MCP4725. Para la comunicación por medio del protocolo Modbus TCP/IP del módulo actuación y generación a señal de onda sinusoidal se emplea el módulo Ethernet ENC28J60, donde sus pines van conectados al Arduino como se muestra en la tabla 26-3.

Tabla 26-3: Conexión del módulo ENC28J60 con el Arduino UNO.

Módulo ENC28J60	Arduino Uno
VCC	Pin 3.3V
GND	GND
CS	Pin 10
SI	Pin 11
SO	Pin 12
SCK	Pin 13

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Para la conversión de la señal enviada desde el Arduino a onda sinusoidal se emplea el convertidor de señal DC-AC denominado DAC MCP 4725. Los pines de entrada de datos de serie (SDA) y señal de reloj generada (SCL) van conectados a los pines de salida analógica A4 y A5, respectivamente.

Para abastecer la potencia necesaria para que oscile el vibrador sonoro, se amplifica la onda sinusoidal enviada desde el convertidor DAC MCP 4725 en el amplificador de audio TPA3116D2. Los pines de entrada del amplificador SEÑAL y GND, van conectados a los pines de salida del convertidor OUT y GND, respectivamente, esto para la transmisión de la forma y frecuencia de la señal. Los pines de alimentación del amplificador de audio TPA3116D2 va conectado a la alimentación 24V, con los pines VP (+) y VN (-).

Para regular la amplitud enviada al vibrador sonoro, se utiliza el potenciómetro digital X9C103. Los pines de salida VH, VL y VW, van conectados a los pines de entrada del Amplificador de audio, VW corresponde a GND, mientras que VL y VH a los otros dos pines, no afecta el orden de conexión. En la tabla 27-3 se muestra la conexión de los pines con el Arduino.

Tabla 27-3: Conexión de pines del Potenciómetro digital X9C103 con el Arduino UNO.

Potenciómetro X9C103	Arduino Uno
VCC	5V
GND	GND
NC	Pin 10
UD	Pin 11
CS	Pin 12

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Se necesita de un circuito divisor de voltaje para llegar a los rangos necesarios en milivolts para realizar las pruebas correspondientes, donde se ha integrado una resistencia de 100 Ohm, junto a los 9 Ohm de resistencia que posee el vibrador sonoro. Las conexiones de los pines se pueden observar en el módulo la ilustración 33-3. Finalmente, de este circuito sale la onda sinusoidal acondicionada para alimentar al vibrador sonoro con los pines OUT_A- (negativo) y OUT_A+ (positivo), conectados a los pines positivo y negativo del vibrador correspondientes.

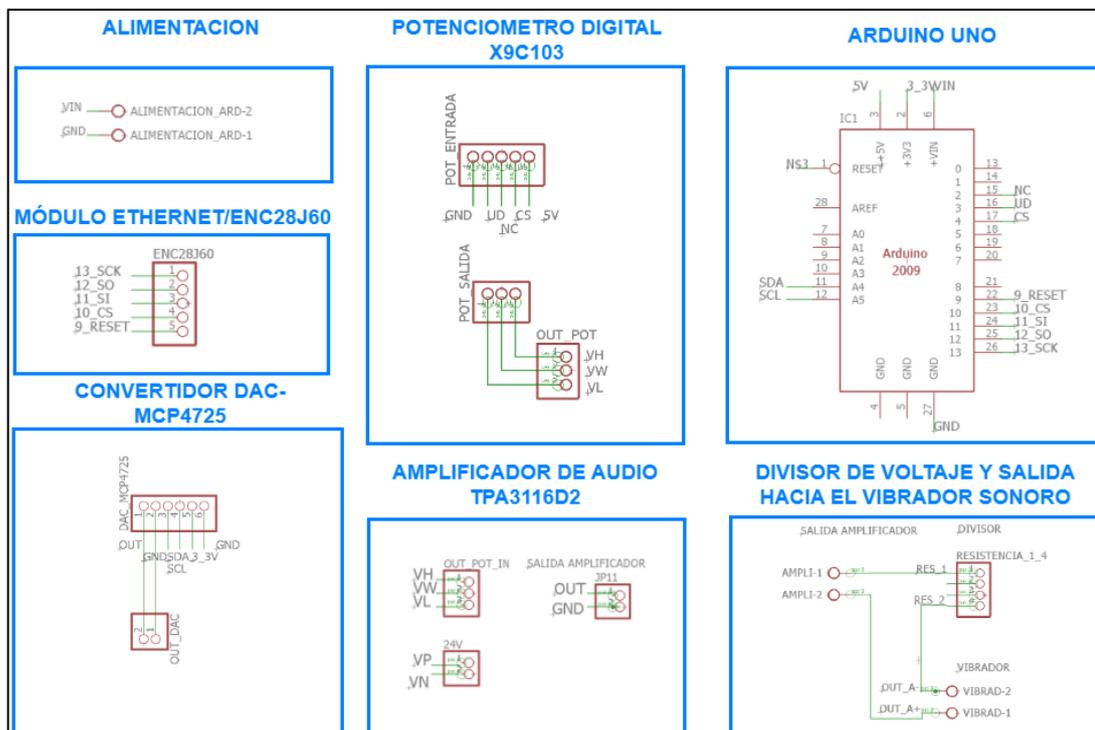


Ilustración 33-3: Esquema de conexión del módulo generación y actuación.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.6. Programación y estructura del proceso.

En el siguiente apartado se detalla la estructura de programación de cada módulo de trabajo. Además, se detalla los softwares de programación utilizadas para cada uno de los elementos que lo requiera y el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema vibratorio.

3.6.1. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema

A continuación, en la ilustración 36-3 se describe el proceso del sistema en un diagrama de flujo donde en primer lugar, evaluamos si vamos a utilizar el equipo completo en modo manual o automático. Seguidamente, se detallan las instrucciones que se deben seguir para usar adecuadamente, dependiendo del modo que se elija utilizar. Con respecto, a la conexión, encendido, inicialización, ingreso de valores y observación de los efectos de la vibración sobre la celda.

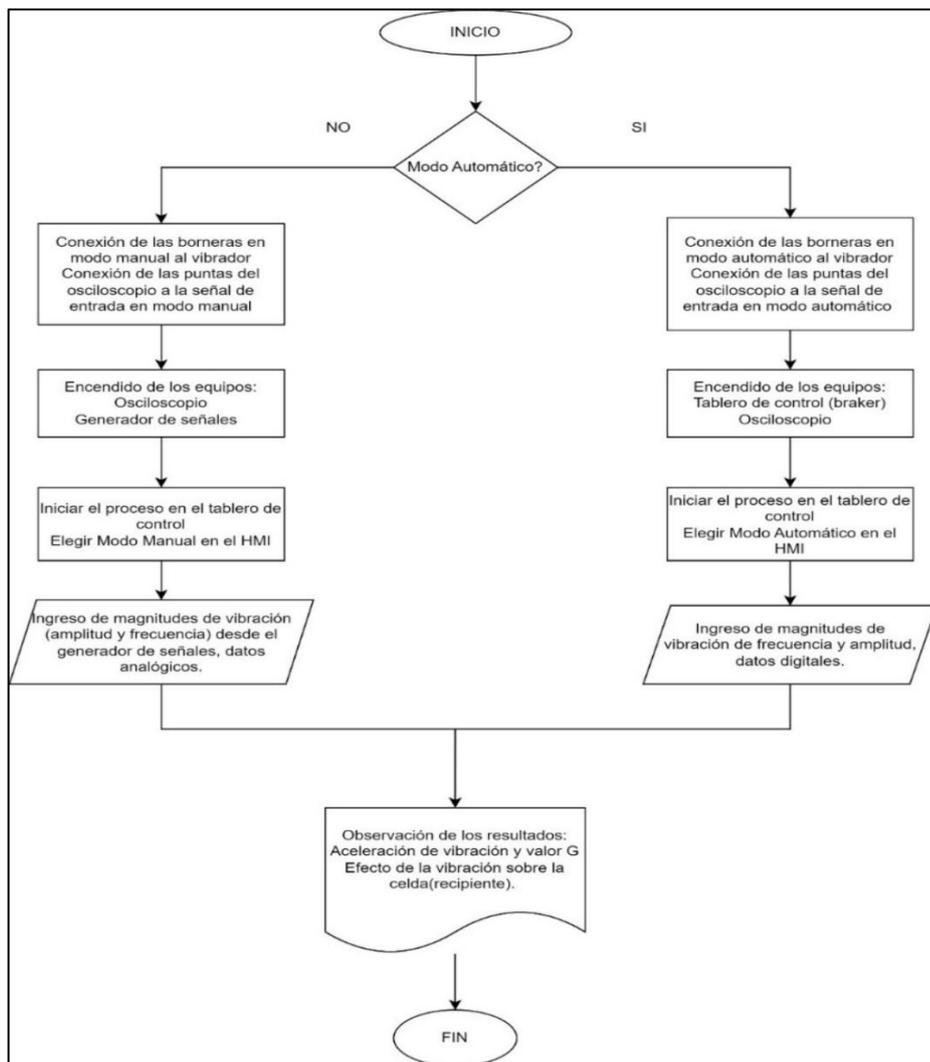


Ilustración 36-3: Diagrama de flujo del funcionamiento general.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.6.2. Programación del módulo de actuación y generación.

En esta sección se detalla la estructura de programación del módulo de actuación y generación. Además, se detalla los softwares de programación utilizadas para cada uno elemento o componente que necesite ser programado.

3.6.2.1. Software de programación

En este apartado se describe el software que interviene y se utiliza para la creación de los códigos de programación se detalla a continuación.

- **Arduino IDE:** es un software de programación que consta de un editor de texto para ingresar código, un dominio de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones de uso frecuente y una lista de menús. Se enlaza el hardware de Arduino para subir programas y entablar comunicación con las placas de microcontroladores conectados. Los programas escritos y creados con Arduino Software (IDE) son llamados sketches y son guardados con la extensión `.ino`. Además, se publica como herramientas de código abierto, disponibles para que los programadores experimentados lo mejoren. Se puede integrar ideas abstractas en cuanto a su programación debido a que viene incluido dentro del software un administrador de bibliotecas, lo que compacta y facilita el uso del entorno de programación (Arduino, 2023). La versión de Arduino IDE a emplear para la creación de los sketches es Arduino IDE 1.8.19.
- **Easily:** es un editor de diseño gráfico de fácil aplicación el cual es compatible con distintos sistemas operativos como Windows, Linux o Mac. Se utiliza como software de diseño electrónico que permite el desarrollo de circuitos electrónicos impresos PCB, lo que facilita el trabajo de los diseñadores con una amplia gama de componentes, diagramas esquemáticos, enrutamiento de forma automática o auto ruteo y una gran cantidad de bibliotecas incluidas. Para la creación de los esquemas y PCB del módulo de actuación y generación la versión a emplear es EAGLE 7.6.0 Professional (Autodesk, 2020).

3.6.2.2. Programación Arduino UNO

A continuación, se presenta el programa en código correspondiente al módulo de actuación y generación, además se da una descripción sobre el diagrama de flujo del módulo antes mencionado. La ilustración 37-3 representa el diagrama de flujo, en el cual se describe el proceso para la ejecución del programa, el mismo que está orientado a controlar las acciones

correspondientes para generar la onda sinusoidal, amplificarla y controlarla de acuerdo con lo requerido por el usuario por medio de la pantalla HMI.

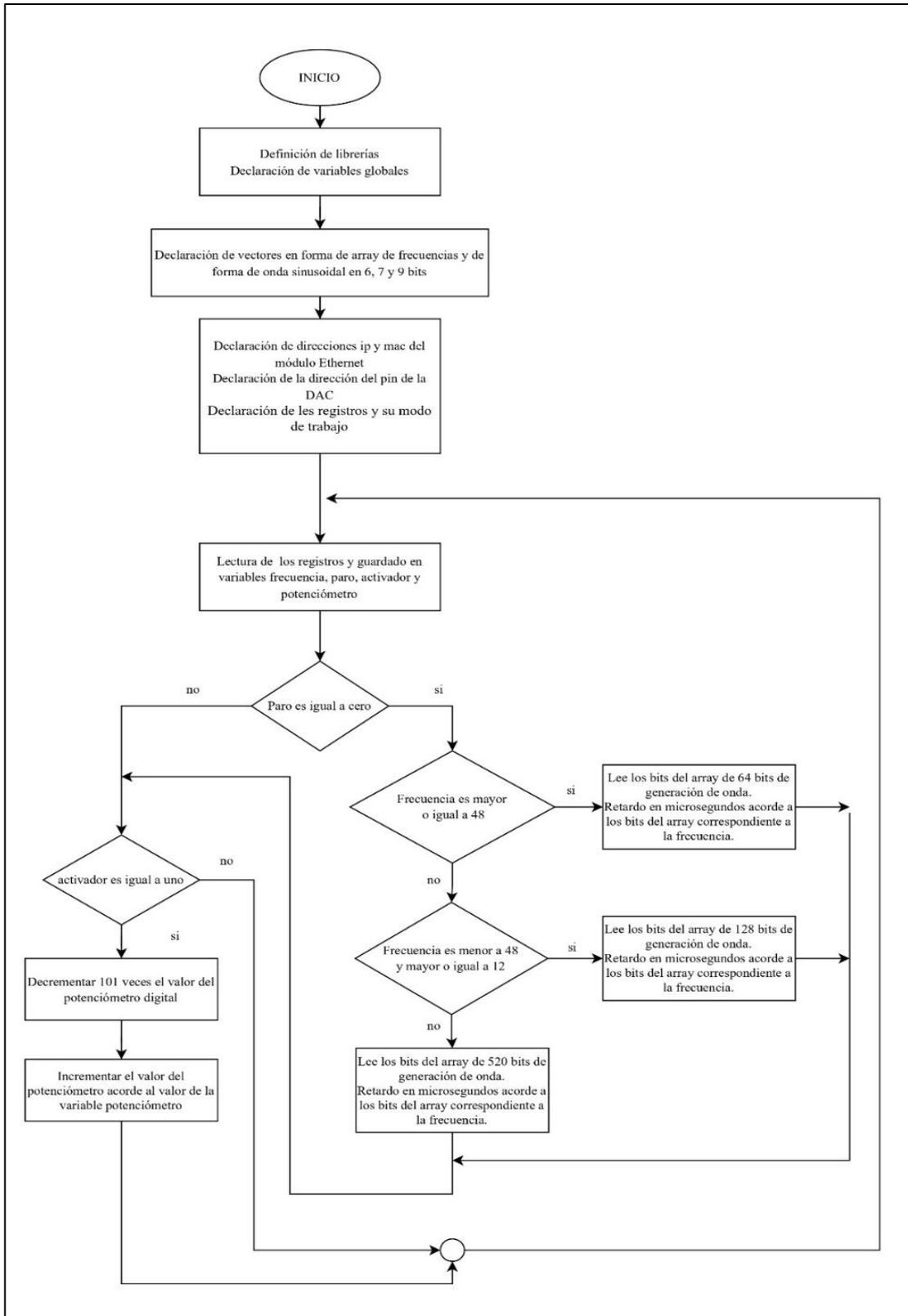


Ilustración 37-3: Diagrama de flujo del módulo de actuación y generación

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Inicialización

- Para agilizar el código de programación, se declaran las cuatro librerías, la primera es la EtherCard.h es un controlador para el chip de Microchip ENC28J60, compatible con Arduino IDE, incluye la transferencia de datos simple hasta el manejo de http, la segunda es Modbus.h usa shields TCP/IP, la tercera es la ModbusIP_ENC28J60.h permite que Arduino se comuniquen por medio del uso del protocolo Modbus TCP/IP, funciona como esclavo y también soporta Modbus serie RS-232 o RS-485. Cuando se utiliza Modbus IP, el puerto 502 es utilizado por defecto. Las funciones admitidas son:
 - 0x01 - Leer bobinas
 - 0x02 - Leer estado de entrada (leer entradas discretas)
 - 0x03 - Leer registros de retención
 - 0x04 - Leer registros de entrada
 - 0x05 - Escribir bobina simple
 - 0x06 - Escribir registro único
 - 0x0F - Escribir varias bobinas

La última librería es la Adafruit_MCP4725.h es la biblioteca de controladores DAC I2C de 12 bits y utiliza I2C para comunicarse, se requieren de 2 pines para la interfaz, utilizada en este caso para generar la onda sinusoidal con el chip MCP4725 DAC. Continuando con la declaración de variables globales a utilizarse.

- Declaración de vectores en forma de array de frecuencias y para la generación de la forma de onda sinusoidal, donde la suavidad de la señal depende de cuanto mayor sean los bits para utilizar. Los bytes disponibles en este programa son para $n = 6, 7, 9$ bits, donde la relación corresponde a 2^n .
- Declaración de direcciones IP y Mac del módulo Ethernet, para su posterior comunicación con el PLC. Declaración de la dirección del pin de la DAC 0x60 para que de esta forma se conecte a GND. Declaración de los registros y su modo para utilizarse como lectura de dos bobinas simples y lectura de dos registros únicos. Con las direcciones, 1, 2, 3 y 10.

Ciclo de repetición

- Lectura de los registros y guardado en variables de frecuencia, paro, activador y potenciómetro.

- Se pregunta si la variable paro es igual al valor cero, de ser así, el flujo continúa hacia un flujo de condiciones, preguntando acerca de las frecuencias. Caso contrario se dirige hacia otra condición acerca del activador.
- Con el paro en cero, se pregunta si la frecuencia es mayor o igual a 48, si es verdad se procede a leer los bits del array de 64 (2^6) bits para la generación de la onda, realiza un retardo en microsegundos acorde a la cantidad de bits del array correspondientes a la frecuencia leída. Si es negativo, entonces procede a la siguiente condición.
- La siguiente condición pregunta si la frecuencia es menor a 48 y mayor o igual a 12. Si es afirmativa la respuesta, se leen los 128 bits (2^7) para la generación de la onda y el retardo en microsegundos acorde a la frecuencia correspondiente. Caso contrario lee los bits del array de 512 bits (2^9) para la generación de la onda y un retardo en microsegundos acorde a los bits del array correspondiente a la frecuencia. Y Continúa hacia la condición acerca del activador.
- Cuando el valor del activador es igual a uno, se decrementa el valor del potenciómetro digital en 101 veces, posteriormente se incrementa el valor del potenciómetro acorde al valor de la variable potenciómetro proveniente desde el PLC y este a su vez proveniente desde la interfaz HMI. Continuado hacia el final de ciclo y procediéndose a repetir el mismo.

El programa realizado en Arduino IDE 1.8.19 se encuentra adjunto en el Anexo I.

3.7. Programación del módulo de control y visualización.

En este apartado se detalla los softwares, diseños, programación que son necesarios para la creación del módulo de control y visualización.

3.7.1. Programación del PLC

En el siguiente apartado se detalla la programación del controlador lógico programable que forma parte del módulo de control y visualización, las configuraciones que se realizan en el software de programación que se utilizan para PLC.

3.7.1.1. Software de programación

Para la elaborar la programación del módulo de control y visualización se utilizó el software EcoStruxure Machine que es una herramienta de programación para los controladores lógicos

programables de Schneider que se utiliza para diseñar, configurar, crear la programación necesaria para el funcionamiento del PLC TM221CE24T (Schneider Electric, 2022, p-1).

3.7.1.2. Configuración de las señales de entradas, salidas y memorias

Al momento de programar se debe considerar las señales que se va a entregar al PLC como las entradas y salidas adicionalmente también se utilizan memorias para almacenar valores mientras el programa se está ejecutando; las memorias, entradas y salidas que se emplearon en la programación se detalla en la tabla 28-3.

Tabla 28-3: Asignación de entradas, memorias y salidas del PLC.

Memorias		Entradas		Salidas	
%M1	%M7	%I0.0	Paro	%Q0.0	Indicador de paro
%M2	%M9	%I0.1	Inicio	%Q0.1	Indicador de inicio
%M3	%M12	%I0.2	Emergencia		
%M4	%M19				
%M5	%M43				
%M6	%M93				

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.7.1.3. Configuración de los objetos de red y software

Los objetos de red se utilizan para implementar una comunicación Ethernet/IP, Modbus TCP y la comunicación IO Scanner entre dispositivos, esta última es una función que permite comunicarse con varios dispositivos con el protocolo Modbus, este tipo de comunicación es llamada IO Scanner TCP. La tabla 29-3 describe los objetos de red utilizados.

Tabla 29-3: Asignación de objetos de red y software.

Salidas IO scanner		Entradas IO scanner	
%QN302.0.0	Arduino paro	%IN305.0.0	Micro desactivador
%QN303.0.0	Micro activador		
Registros de salida IO scanner		Registros de entrada IO scanner	
%QWN301.0.0	Arduino Slave	%IWN300.0.4	Maestro IO link
%QWN304.0.0	Micro potenciómetro		

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.7.1.4. Programación ladder

Para la programación del PLC Schneider se utilizó el Programa EcoStruxure Machine que es un software de programación para los controladores lógicos programables de la marca Schneider, utilizado para crear, diseñar y exportar los programas realizados al PLC.

En la ilustración 38-3 se observa el Ladder donde inicia el módulo de control y visualización, empleando las entradas %I0.0 como la señal de paro y la %I0.1 como la señal de inicio, adicionalmente se utilizan las memorias %M1 %M5 para su enclavamiento de las señales antes mencionadas.

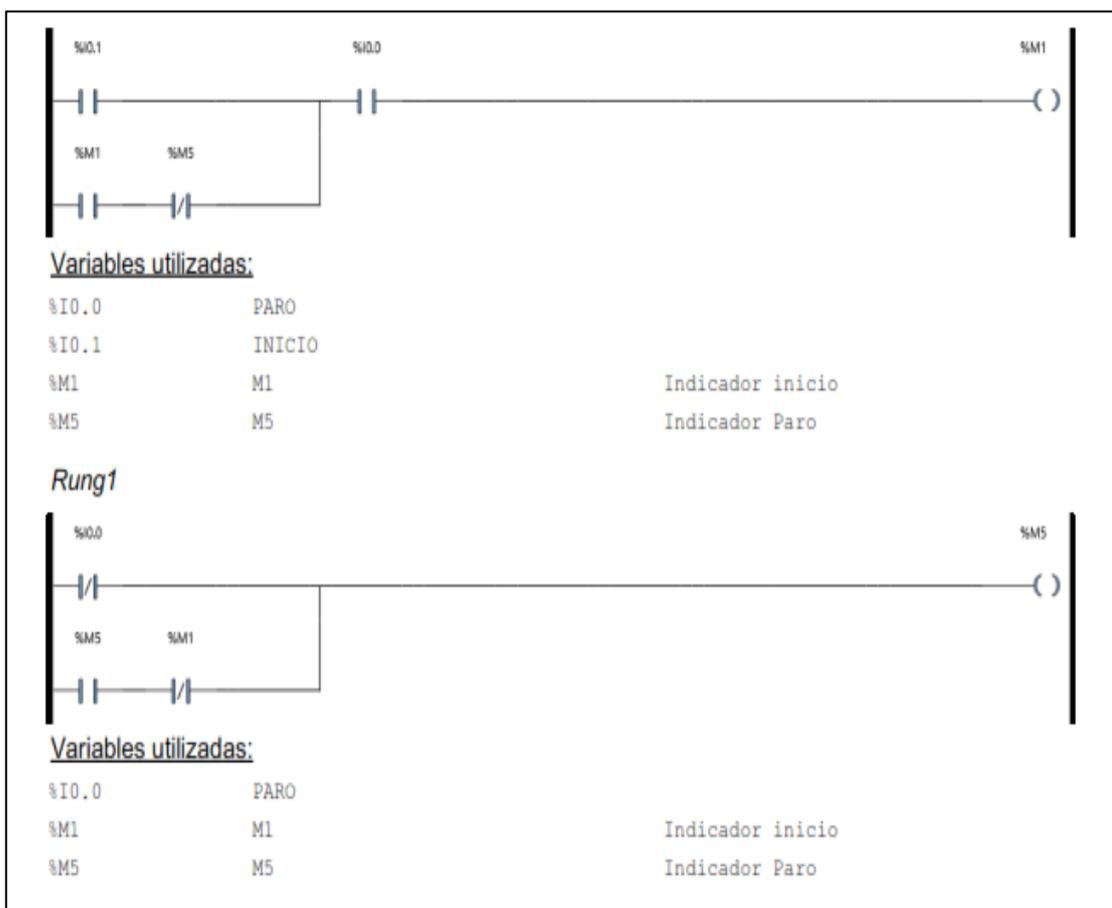


Ilustración 38-3: Ladder para el inicio y paro del proceso.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la ilustración 39-3 se observa el Ladder donde se comienza a la lectura de los datos del sensor y la activación del módulo de generación y control. Se utiliza un bloque de operación para la recolección de los datos del sensor Para luego ser enviados al HMI utilizando la %MW20 y las %MW33 para su visualización. Este proceso solo va a comenzar siempre y cuando la memoria %M1 se encuentre en modo activo, caso contrario los datos del sensado no se transmitirán.

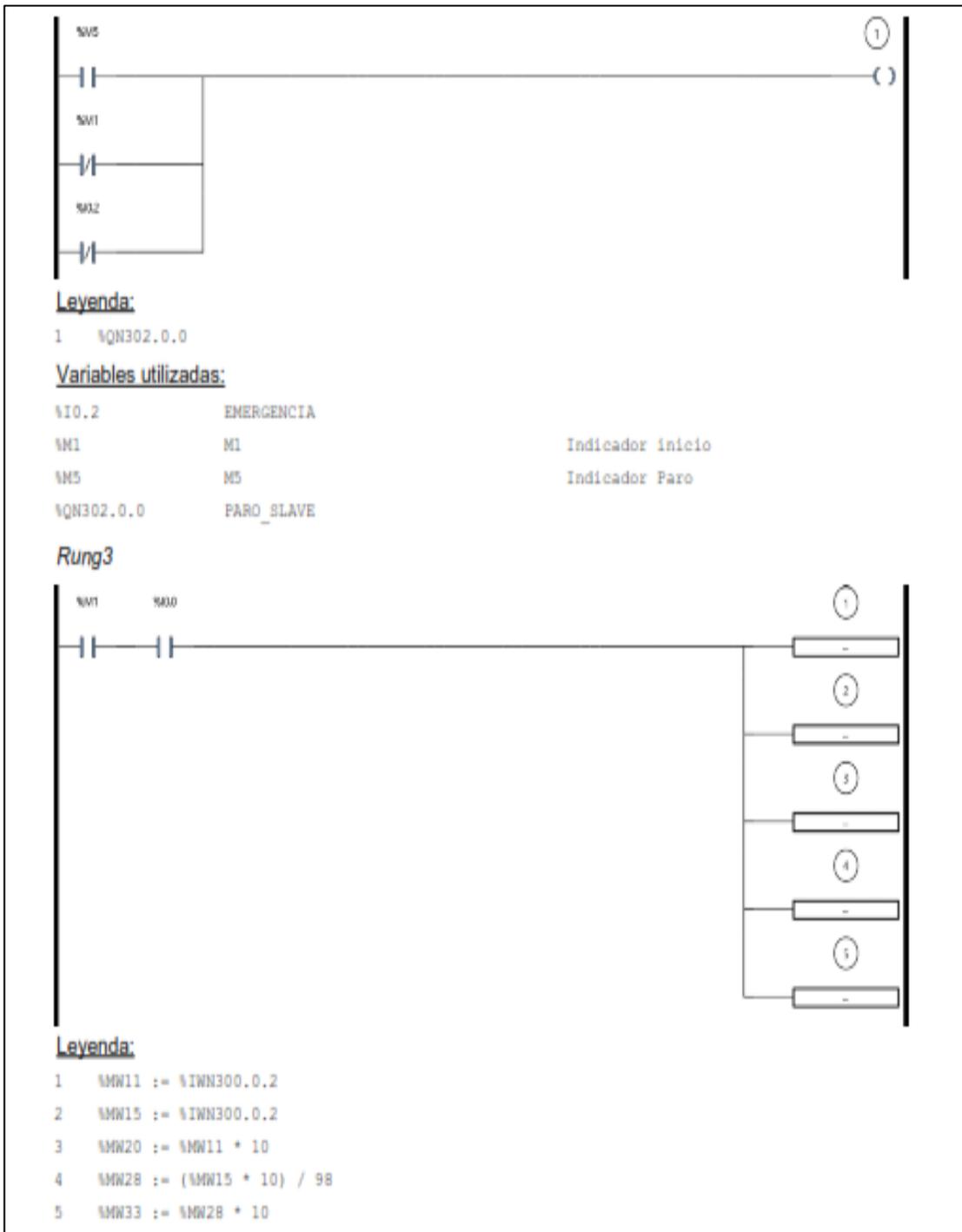


Ilustración 39-3: Ladder etapa de sensado, transmisión de datos.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la ilustración 40-3 se observa los bloques de operación utilizadas dentro de la programación para poder observar los valores reales que transmite el elemento del sensado, se utiliza una memoria flotante denominada %MF.30 Y %MF40, juntamente con %INT_TO_REAL(%MW11) y %INT_TO_REAL(%MW15) para lograr observar los valores de los datos reales. Las %MF.30 y %MF.46 son empleadas para poder realizar operaciones como divisiones y multiplicaciones.

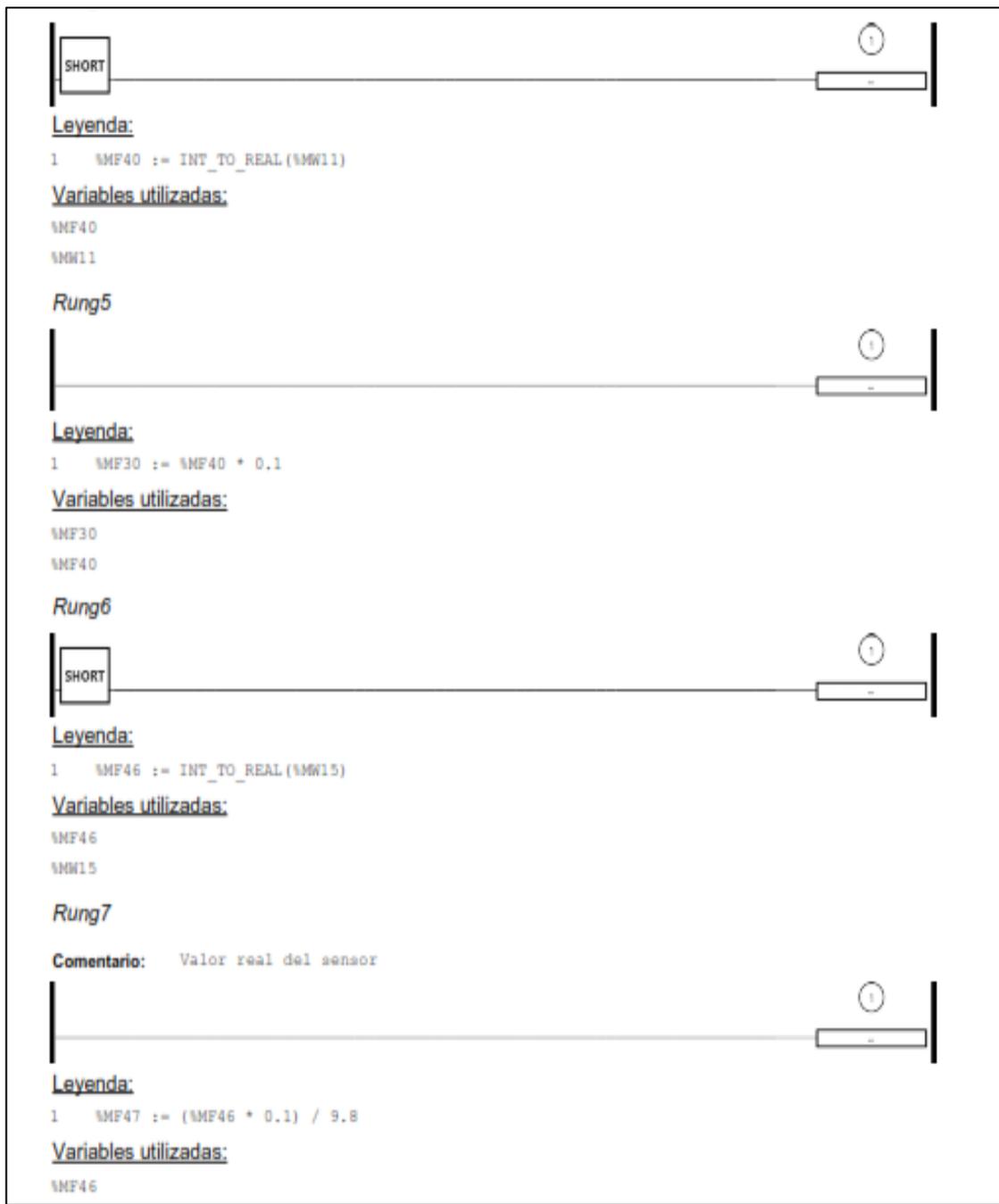


Ilustración 40-3: Ladder bloques de las operaciones de la etapa de sensado.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

La ilustración 41-3 nos muestra la etapa del módulo de generación y actuación, utilizando bloques de operación para poder realizar la entrada del valor de la frecuencia que posteriormente se podrá escribir en el HMI, utilizando una %MW50 para realizar esta operación, también se realiza un establecimiento de los límites de la frecuencia que se pueden ingresar. Esta etapa solo se activará si la memoria %M1 se encuentra en modo activo, adicionalmente se hace uso de tiempos de activación para que todo lo antes mencionado comience su funcionamiento.

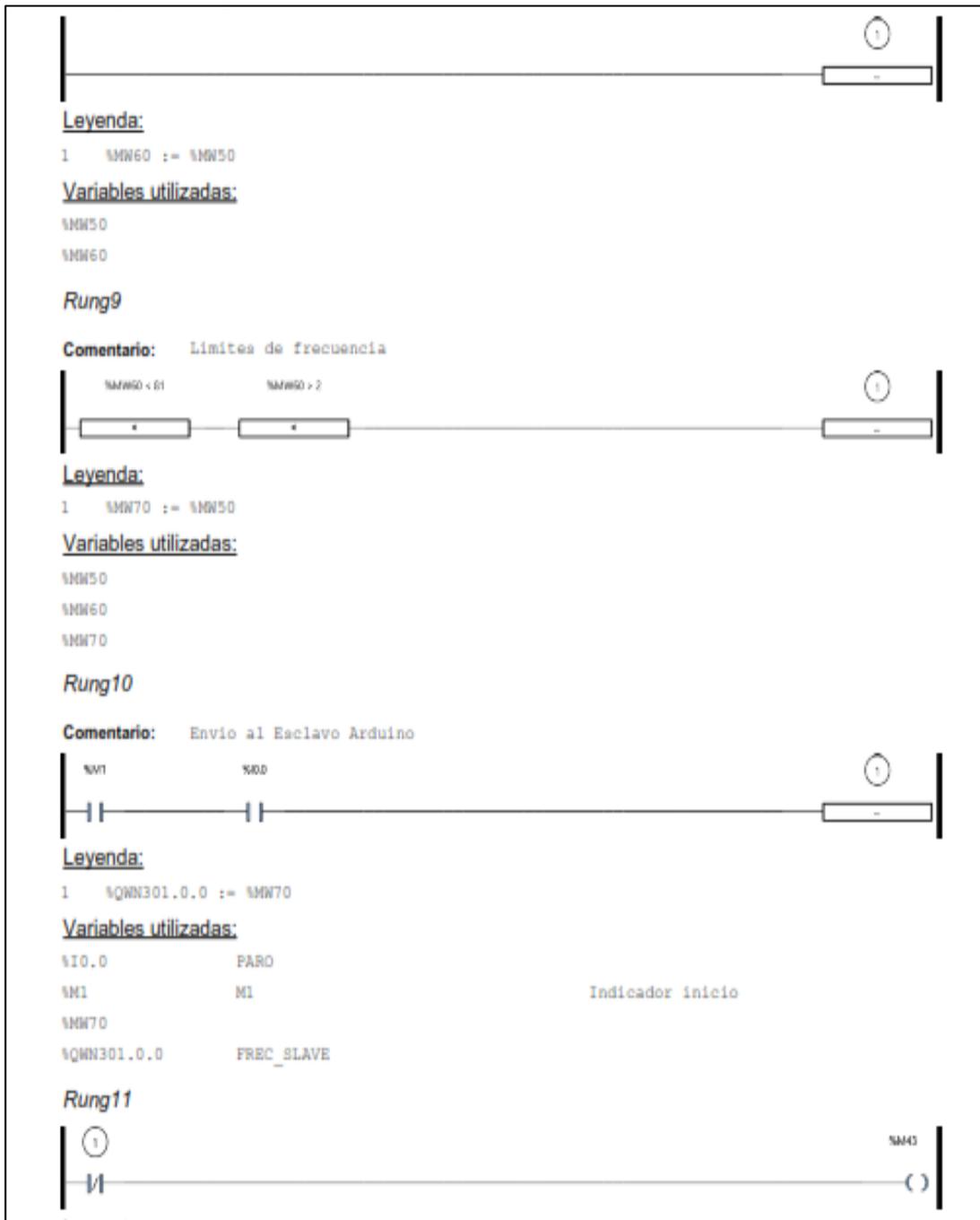


Ilustración 41-3: Ladder bloques de la etapa de generación y visualización de la frecuencia.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

La ilustración 42-3 y 43-3 se puede observar el uso de bloques de tiempo para resetear las memorias que se hace uso para resetear los datos que son enviados por el Arduino para la generación de la señal. Así mismo se emplea una memoria Word denominada %M80 para poder regular el voltaje de la amplitud de la onda sinusoidal generada por el módulo de generación y actuación. Para poder ser reguladas por la interfaz HMI.

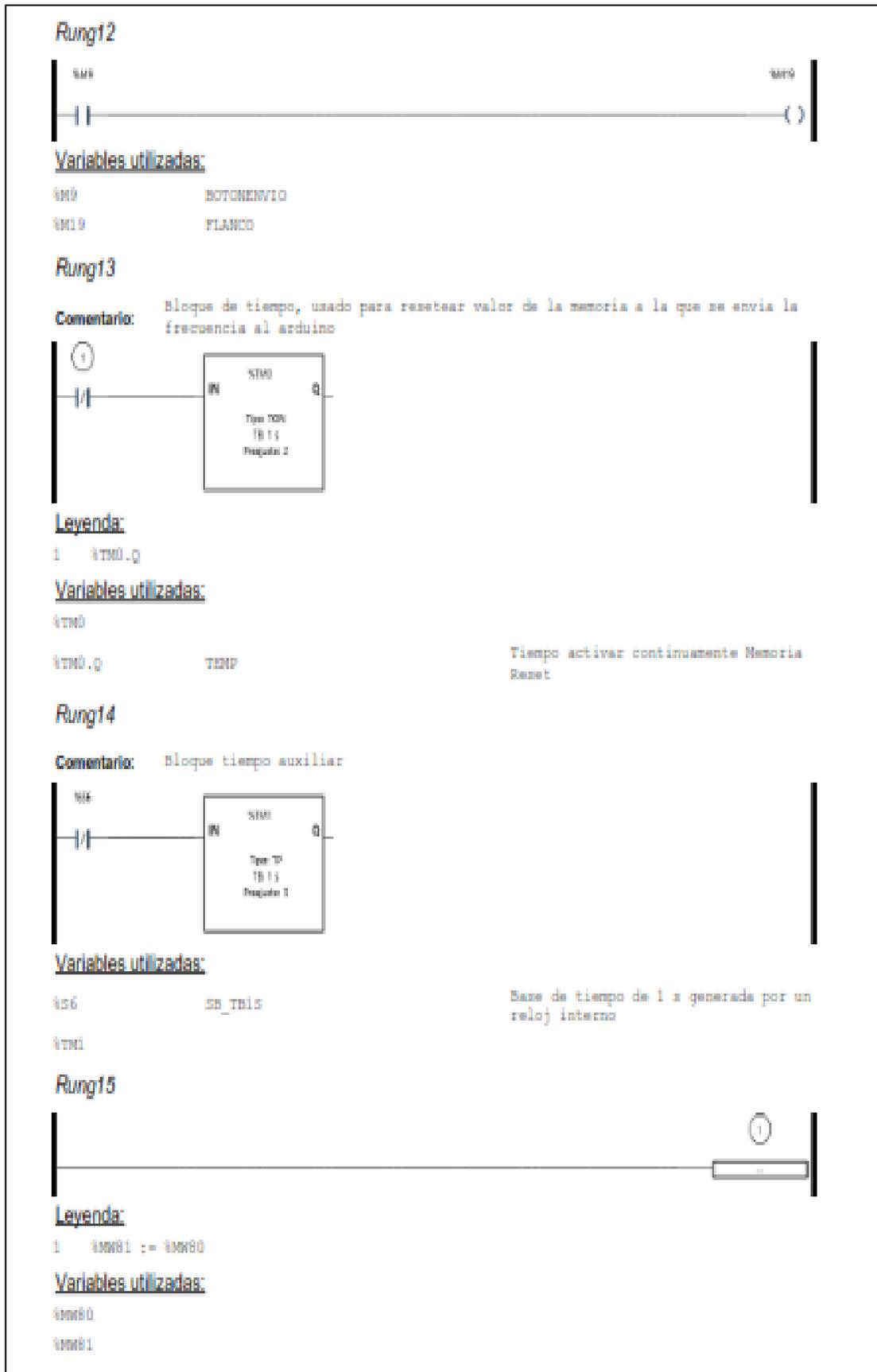


Ilustración 42-3: Ladder etapa de regulación del voltaje.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

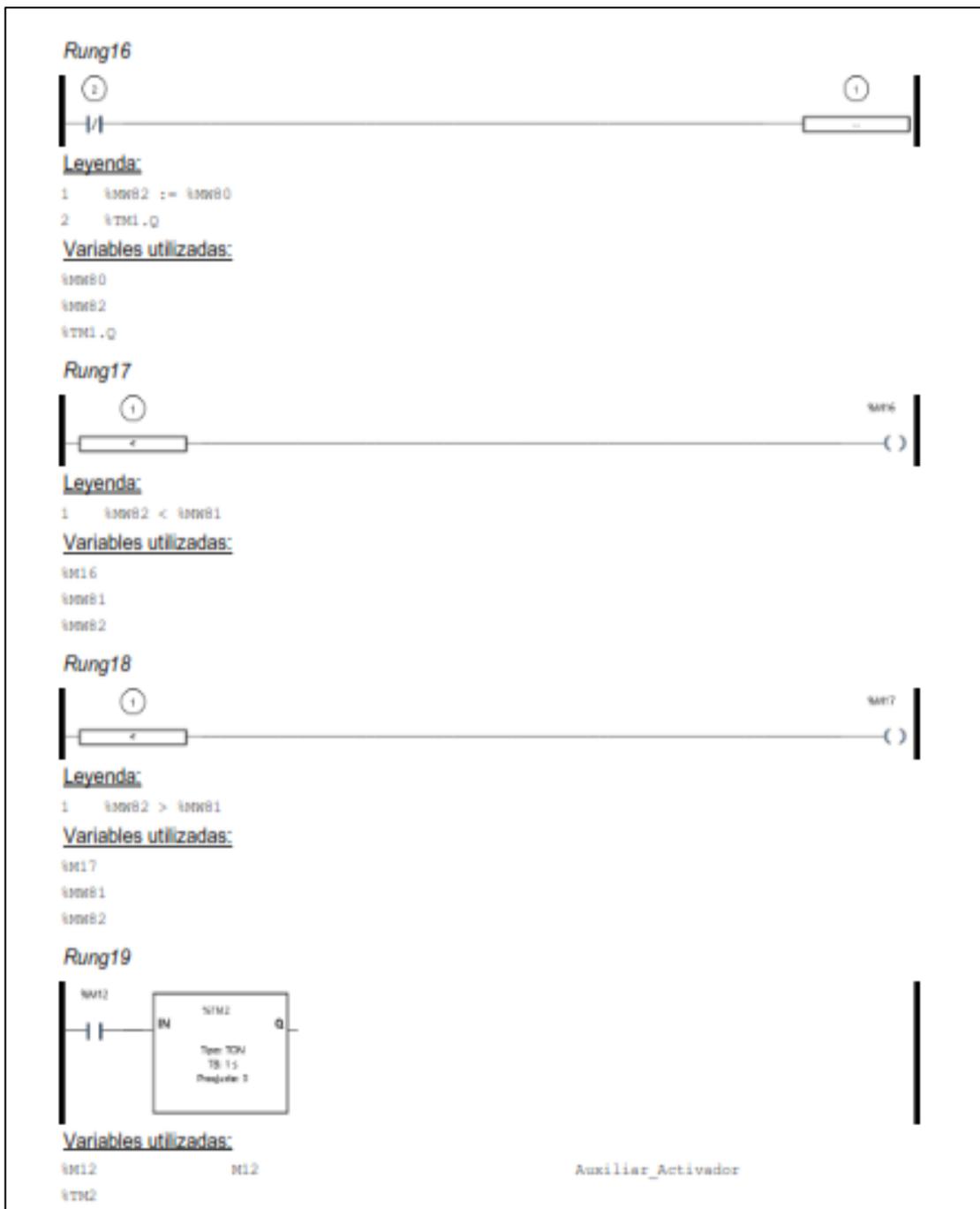


Ilustración 43-3: Ladder etapa de regulación del voltaje.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

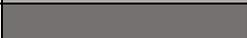
Finalmente en la ilustración 44-3 se hace uso de las salidas de los indicadores la %Q0.0 es empleada para el indicador de paro, mientras que la %Q0.1 es utilizada para el indicador de inicio, también se hace uso de una señal de entrada denominada %I0.2 que es para el pulsador de Emergencia en caso de que pueda resultar algún error o mal manejo de los componentes ya que al presionar este pulsador todo el sistema se para y solo puede salir de este modo volviendo a hacer uso del pulsador de emergencia. Los indicadores funcionaran siempre y cuando este activas las memorias %M1, %M5.

- Pantalla manual, muestra los valores de la aceleración recopilados por el sensor de vibración.
- Pantalla automática, muestra un control deslizante y cuadros de texto donde muestra los valores de aceleración recopilados por el sensor.

3.7.2.2. Colores usados

Al momento de usar distintos tipos de colores, este juega un papel importante al momento de diseñar un HMI, ya que permiten a los usuarios identificar y distinguir cada componente y reaccionar ante circunstancias inusuales del sistema cuando se encuentre o no en funcionamiento. En la tabla 30-3 se enumera los colores empleados en el diseño del HMI.

Tabla 30-3: Colores empleados para el HMI.

Tipo	Detalle	Gama
Fondos de pantalla	Sinópticos de área y subárea	
	Fondo	
Figuras geométricas	encabezados	
	triangulares	
pulsadores	botones	
Varios	Títulos de pantalla	

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.7.2.3. Implementación pantallas HMI

Para realizar la interacción entre el operador y sistema vibratorio se utilizó una HMI táctil de la marca wecon que fue descrita con anterioridad. El dispositivo HMI esta comunicada con los distintos módulos de sistema vibratorio por medio de un cable ethernet, para realizar su programación se hace uso del software PISstudio, que es un programa de software libre que el fabricante de Wecon nos proporciona.

- **Pantalla principal**

En la ilustración 45-3 se puede visualizar la pantalla principal que posee dos botones que dan las siguientes opciones: información y menú, adicionalmente también se logra observar los datos del proyecto del estudio control de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas siendo esta la primera pantalla que el usuario observa.

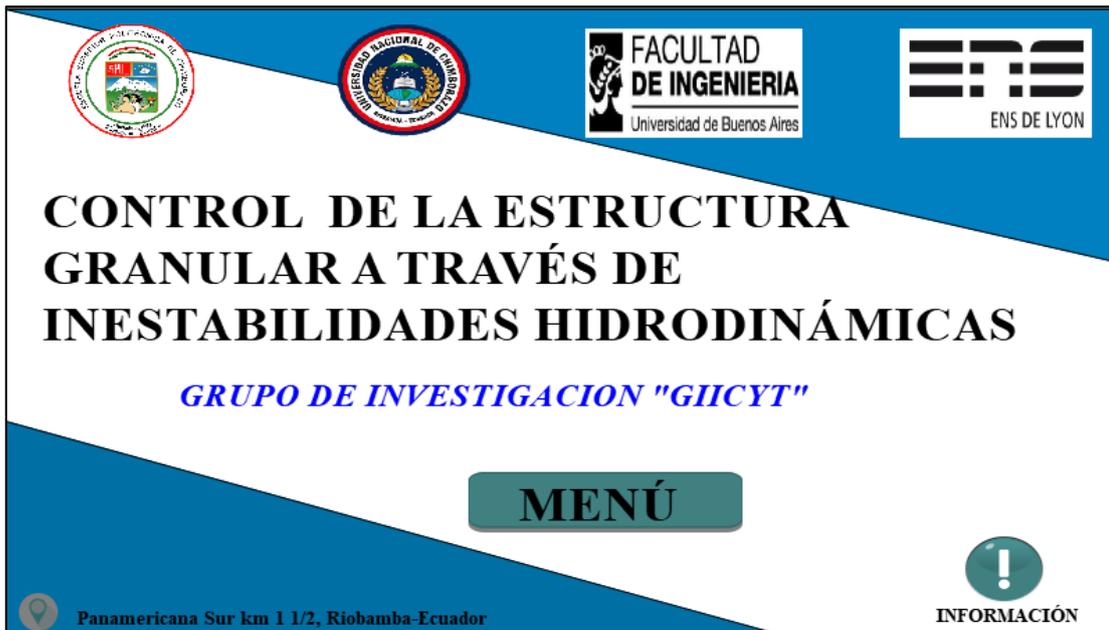


Ilustración 45-3: Pantalla Principal HMI.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

- **Menú principal**

Al presionar el botón “MENÚ”, este le direccionara a la pantalla número 2, en esta pantalla el usuario observa al menú principal donde las opciones son presentadas en botones con el nombre de automático y manual. Adicionalmente se observa un botón para regresar a la pantalla anterior y un botón de información. En la ilustración 46-3 se visualiza la pantalla descrita.

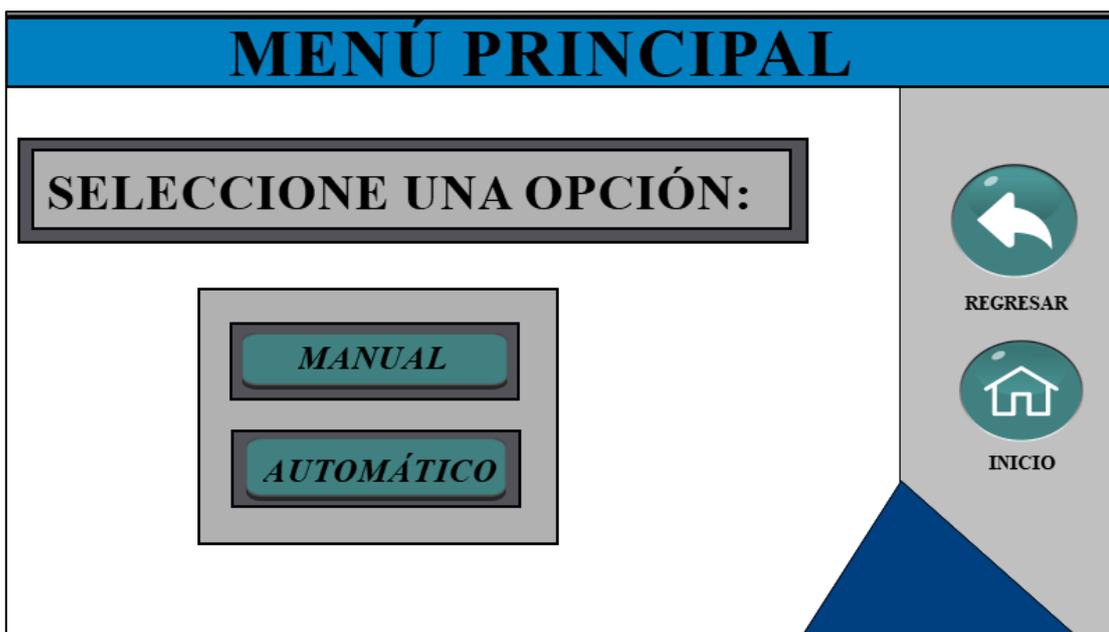


Ilustración 46-3: Menú HMI.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

- **Pantalla manual**

La ilustración 47-3 nos muestra la pantalla 3 de la opción Manual donde se observa dos cuadros de texto donde se presenta los valores de la aceleración en m/s^2 y el valor Γ (Gamma), adicionalmente hay el botón de regresar a la pantalla del menú y un botón para regresar a la pantalla principal del HMI.

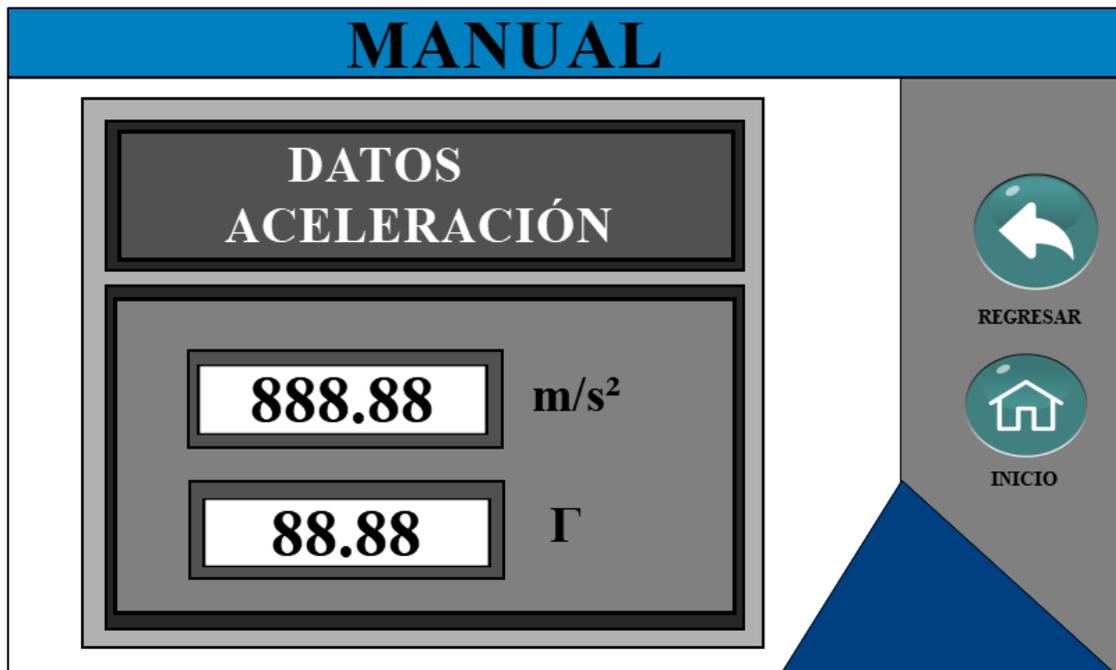


Ilustración 47-3: Pantalla manual HMI.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

- **PANTALLA AUTOMÁTICO**

En la ilustración 48-3 se presenta la pantalla 4 de la opción automático donde se observa los valores de la aceleración en m/s^2 y el valor Γ (Gamma), también se presenta un cuadro de texto donde se ingresa la frecuencia en Hz, un control deslizante donde regula el volteje que se requiera, botones para resetear, mostrar los datos, adicionalmente también posee un botón para regresar a la pantalla del menú y para volver a la pantalla principal.

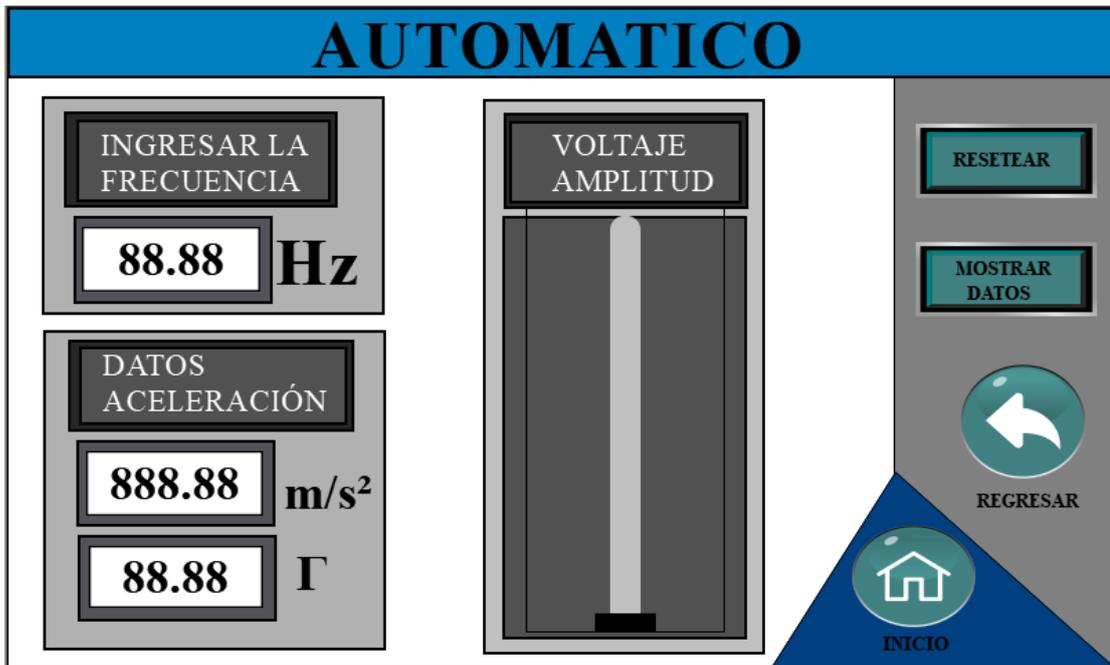


Ilustración 48-3: Pantalla automática HMI.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

- **PANTALLA DE INFORMACIÓN**

En la ilustración 49-3 se observa la pantalla de información donde se encuentra los nombres de los integrantes que forman parte del grupo de investigación del proyecto del GIICYT.



Ilustración 49-3: Pantalla de información de los integrantes del grupo de investigación.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

3.8. Configuración de la red

En la ilustración 50-3 se muestra la distribución de la red y en la tabla 31-3 se detalla las direcciones IP de los diferentes dispositivos. Los diferentes dispositivos del sistema se interconectan entre sí por medio de un switch para alojarse dentro de una misma red. La comunicación está basada en cliente-servidor por el protocolo Modbus IP o Modbus TCP/IP. Además, existe una recolección de datos emitidos por el sensor en una interfaz web Node-Red para su posterior análisis.

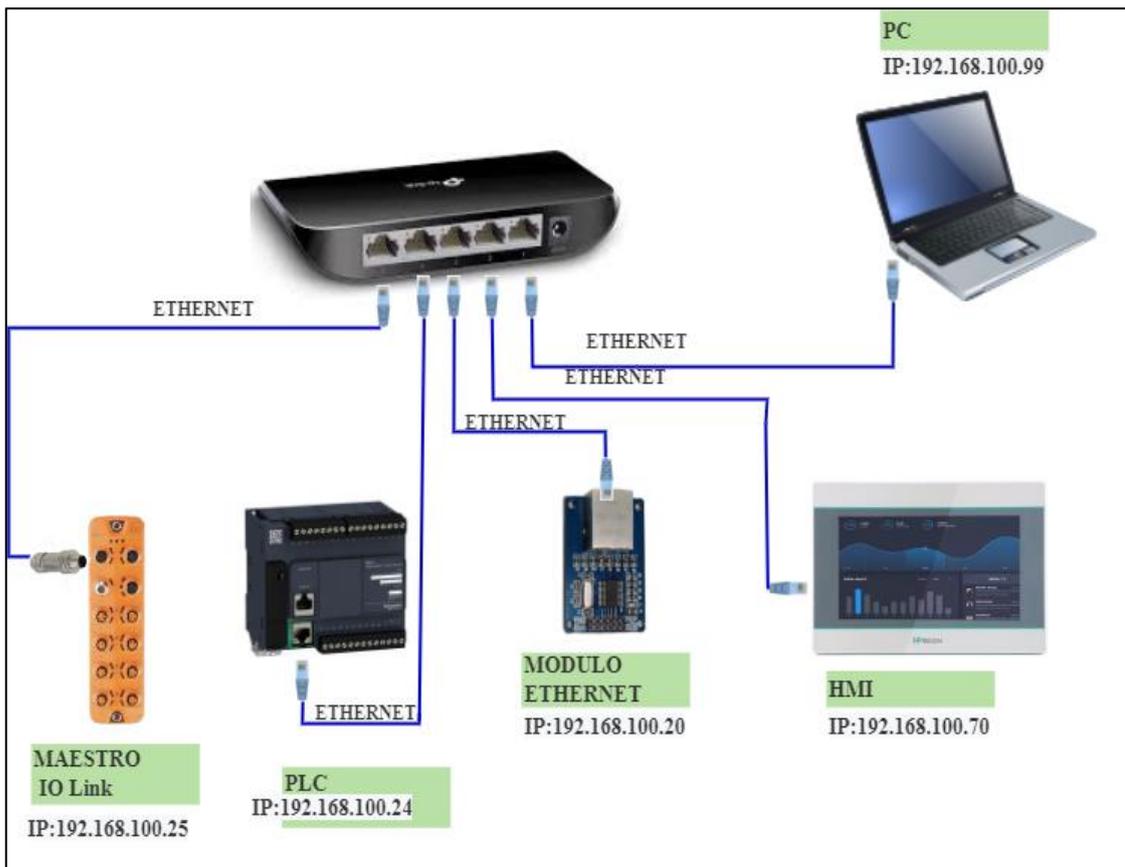


Ilustración 50-3: Configuración de la red.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Tabla 31-3: Dirección IP de los dispositivos.

Dispositivo	Dirección IP
PLC Schneider	192.168.100.24
HMI WEACCON	192.168.100.70
Maestro IO-Link	192.168.100.25
Microcontrolador Arduino Uno	192.168.100.20
PC	192.168.100.99

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se realiza las diferentes pruebas de cada módulo que forma parte del sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI.

4.1. Implementación y acondicionamiento del sistema vibratorio

Antes de realizar las pruebas necesarias para la validación del sistema vibratorio, se implementó los requerimientos técnicos necesarios para el funcionamiento del sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI que se encuentra ubicado en el laboratorio de investigación del GIICYT FIE-ESPOCH. En la ilustración 1-4 se muestra el sistema ya implementado y acondicionado con sus todos sus componentes y elementos.



Ilustración 1-4: Sistema vibratorio automatizado.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.2. Caracterización del módulo de actuación y generación

En el siguiente apartado se realizan las pruebas orientadas al módulo de actuación y generación, el objetivo de las pruebas es de determinar la exactitud de los datos que se envían a través de la interfaz HMI por medio del error relativo.

Para este análisis se consideró que el error porcentual relativo (er %) según Graciela Lecumberry (2005, p. 15) se utiliza como métrica de calidad de los resultados y los estos resultados se consideran muy buenos y óptimos si el valor obtenido es inferior al 1%. En cambio, si el valor está entre el 1% y menos del 5%, él es bueno y el entre el 5% y el 10% es aceptable. Y por último si este valor está por encima del 10% los resultados no son fiables.

4.2.1. Validación del módulo de generación

En esta sección se desarrollan las pruebas al módulo de generación de señales, el objetivo de realizar estas pruebas es de determinar la confiabilidad de los datos que genera el elemento antes mencionado, ya que posee la capacidad de generar una onda sinusoidal modificando su frecuencia y regulando su amplitud por medio de la interfaz gráfica, al momento de escribir el dato requerido de frecuencia se requiere una exactitud para su generación.

Para el error relativo se considera el cálculo porcentual de los datos que se escribe y visualiza en el HMI comprada por los datos que se observan en un equipo patrón. Al momento de realizar la toma de los datos se colocó un equipo de visualización patrón conectado a la salida del módulo de generación de señales, los datos visualizan en la pantalla de cada equipo, en la ilustración 2-4 se observa los equipos de visualización, se realizó una toma de 20 muestras en diferentes valores, se realiza la comparación de los datos visualizados, se determina el error porcentual relativo.

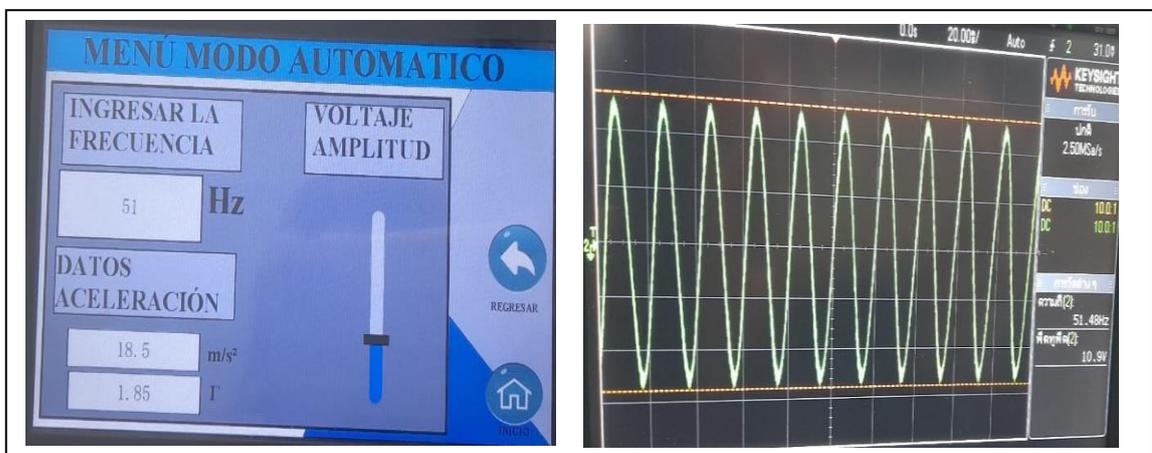


Ilustración 2-4: Toma de muestras entre el HMI y el Osciloscopio.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la tabla 1-4 se observaba el cálculo del error absoluto y el error relativo de las muestras, obteniendo un error absoluto de 0,5641 Hz y un error relativo del 1,62%, considerando que el resultado es menor al 5%, se concluye que la calidad del modulo de generación es aceptable, por lo que la calidad de la generación de la señal sinusoidal es aceptable y el resultado del experimento esta posicionado en un rango de lo aceptable y bueno.

Tabla 1-4: Análisis error absoluto y error relativo análisis de frecuencia.

Nº	Frecuencia HMI (Hz)	Frecuencia equipo patrón (Hz)	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	26	25,716	0,284	1,09%
2	27	26,596	0,404	1,50%
3	28	27,594	0,406	1,45%
4	29	28,531	0,469	1,62%
5	30	29,48	0,52	1,73%
6	31	30,016	0,984	3,17%
7	32	31,002	0,998	3,12%
8	33	32,675	0,325	0,98%
9	34	33,504	0,496	1,46%
10	35	34,38	0,62	1,77%
11	36	35,279	0,721	2,00%
12	37	36,09	0,91	2,46%
13	38	37,07	0,93	2,45%
14	39	38,504	0,496	1,27%
15	40	39,809	0,191	0,48%
16	41	40,584	0,416	1,01%
17	42	41,561	0,439	1,05%
18	43	42,482	0,518	1,20%
19	44	43,457	0,543	1,23%
20	45	44,389	0,611	1,36%
Promedio			0,5641	1,62%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.3. Caracterización del módulo de adquisición de datos.

En el siguiente apartado se realizan las pruebas orientadas al módulo de adquisición de datos, el objetivo de las pruebas es de determinar la exactitud de los datos obtenidos a través del elemento de sensado.

4.3.1. Validación del sensor de vibración

En esta sección se desarrollan las pruebas orientadas al elemento de sensado que forma parte del módulo de adquisición de datos, el sensor de vibración nos da la posibilidad de adquirir el valor

de la aceleración pico a pico que se obtiene por la vibración, para realizar esta prueba se consideró el software LR DEVICE que es brindado por el proveedor del sensor. El software antes mencionado posee un panel de mandos para monitorear los datos que el sensor adquiere, considerando que este sensor según el fabricante nos proporciona valores de aceleración como la VRMS que es la aceleración eficaz y la aceleración PECK que es la aceleración pico a pico.

Para la realización de la toma de muestra se tomó los datos de la aceleración pico a pico, ya que para realizar el control de las estructuras granulares a través de inestabilidades hidrodinámicas, es necesaria este tipo de dato de aceleración que nos brinda el sensor. Para hallar la aceleración antes mencionada se colocó el sensor de vibración sobre el vibrador tipo sonoro que posee una placa para almacenar una celda, una vez que el sistema vibratorio comience a generar las vibraciones, los datos se reflejan en la pantalla HMI, pero para una mayor confiabilidad de la visualización de los datos serán comparados con los datos que se visualizan en el software brindado por el proveedor.

La validación fue generada con una toma de 20 muestra de la aceleración en diferentes frecuencias y amplitudes. Se calcula el error relativo y absoluto, en la tabla 2-4 se muestra los cálculos de los errores antes mencionado, donde se obtiene un error absoluto de 0,086 Hz y un error relativo del 0,68%, considerando que el resultado es menor al 1%, se concluye que la calidad del transmisión de los datos del sensor de vibración es óptimo, el resultado del experimento está posicionado en un rango de lo óptimo y bueno.

Tabla 2-4: Análisis error absoluto y error relativo análisis de aceleración.

Nº	Frecuencia	Aceleración (m/s ²)	Aceleración promedio	LR DEVICE (m/s ²)	Aceleración promedio	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	26	8,1	8,1	8,1	8,025	0,075	0,926%
		8,2		8,1			
		8,1		7,9			
		8		8			
2	27	8,4	8,35	8,3	8,275	0,075	0,898%
		8,3		8,3			
		8,4		8,2			
		8,3		8,3			
3	28	9	9,225	9	9,175	0,05	0,542%
		9,6		9,5			
		9,2		9,1			
		9,1		9,1			
4	29	10	10,05	10,1	9,975	0,075	0,746%
		10,1		9,8			

		10		10			
		10,1		10			
5	30	10,4	10,725	10,3	10,525	0,2	1,865%
		10,8		10,6			
		10,9		10,4			
		10,8		10,8			
6	31	11,3	11,35	11	11,125	0,225	1,982%
		11,4		11,2			
		11,3		11,2			
		11,4		11,1			
7	32	11,9	11,9	11,8	11,825	0,075	0,630%
		11,9		11,9			
		11,9		11,8			
		11,9		11,8			
8	33	12,3	12,25	12,2	12,2	0,05	0,408%
		12,3		12,3			
		12,2		12,2			
		12,2		12,1			
9	34	12,7	12,65	12,6	12,5	0,15	1,186%
		12,6		12,5			
		12,7		12,4			
		12,6		12,5			
10	35	12,8	12,775	12,7	12,75	0,025	0,196%
		12,9		12,8			
		12,7		12,8			
		12,7		12,7			
11	36	13,4	13,4	13,3	13,35	0,05	0,373%
		13,5		13,4			
		13,4		13,4			
		13,3		13,3			
12	37	14,1	14,15	14	14,075	0,075	0,530%
		14,1		14			
		14,2		14,1			
		14,2		14,2			
13	38	14,6	14,625	14,5	14,55	0,075	0,513%
		14,5		14,5			
		14,7		14,6			
		14,7		14,6			
14	39	15,3	15,35	15,3	15,325	0,025	0,163%
		15,4		15,4			
		15,3		15,3			
		15,4		15,3			
15	40	16,1	16,175	16	16,05	0,125	0,773%

		16,2		16,1			
		16,2		16,1			
		16,2		16			
16	41	17,4	17,35	17,2	17,3	0,05	0,288%
		17,3		17,3			
		17,4		17,4			
		17,3		17,3			
17	42	19,6	19,6	19,4	19,55	0,05	0,255%
		19,5		19,5			
		19,6		19,7			
		19,7		19,6			
18	43	20,5	20,6	20,4	20,475	0,125	0,607%
		20,7		20,4			
		20,6		20,6			
		20,6		20,5			
19	44	21,5	21,775	21,5	21,675	0,1	0,459%
		21,9		21,7			
		21,9		21,8			
		21,8		21,7			
20	45	23,5	23,35	23,4	23,3	0,05	0,214%
		23,4		23,4			
		23,3		23,3			
		23,2		23,1			
PROMEDIO						0,086	0,68%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023

4.3.2. Estabilidad del sensor de vibración.

Tiene como objetivo de verificar la presión del sensor de vibración ubicado en el módulo de actuación por medio del cálculo del coeficiente de variación, donde se determina el comportamiento del sensor VVB001 durante un periodo de tiempo bajo las mismas condiciones de frecuencia, amplitud y otros factores. Según Portuondo y Portuondo (2010) es necesario la toma de 10 muestras para la prueba de estabilidad. Donde al obtener resultados menores al 5% son interpretados como resultados óptimos, si se encuentra en un rango mayor al 5% y menor al 10% los resultados son aceptables (DANE, 2008).

4.3.2.1. Estabilidad sensor de vibración con frecuencia de 26 Hz.

La hora de inicialización de la prueba fue a las 15:15 PM, con un intervalo de diez segundos por cada medición, se toman muestras de los valores medidos por el módulo electrónico en el intervalo de tiempo establecido y mediante la obtención del coeficiente de variación.

En la tabla 3-4 se obtiene el coeficiente de variación en base a las muestras, teniendo un valor de 1,33% por lo tanto se concluye que el sensor VVB001 es preciso y tiene poca variabilidad ya que su coeficiente de variación es menor al 5%.

Tabla 3-4: Prueba de estabilidad sensor VVB001 a 26 Hz.

FRECUENCIA 26 Hz			
Nº	Fecha y hora		Aceleración (m/s ²)
1	16/03/2023	15:15:00	8,1
2	16/03/2023	15:15:10	8,2
3	16/03/2023	15:15:20	8,1
4	16/03/2023	15:15:30	8
5	16/03/2023	15:15:40	7,9
6	16/03/2023	15:15:50	8
7	16/03/2023	15:16:00	8,1
8	16/03/2023	15:16:10	8,2
9	16/03/2023	15:16:20	8,1
10	16/03/2023	15:16:30	7,9
Media			8,06
desviación estándar			0,11
coeficiente de variación			1,33%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.3.2.2. Estabilidad sensor de vibración con frecuencia de 34 Hz.

La hora de inicialización de la prueba fue a las 16:10 PM, con un intervalo de diez segundos por cada medición, se toman muestras de los valores medidos por el módulo electrónico en el intervalo de tiempo establecido y mediante la obtención del coeficiente de variación.

En la tabla 4-4 se obtiene el coeficiente de variación en base a las muestras, teniendo un valor de 0,67% por lo tanto se concluye que el sensor VVB001 es preciso y tiene poca variabilidad ya que su coeficiente de variación es menor al 5%.

Tabla 4-4: Prueba de estabilidad sensor VVB001 a 34 Hz.

FRECUENCIA 34 Hz			
Nº	Fecha y hora		Aceleración (m/s ²)
1	16/03/2023	16:10:00	12,7
2	16/03/2023	16:10:10	12,6
3	16/03/2023	16:10:20	12,7
4	16/03/2023	16:10:30	12,6

5	16/03/2023	16:10:40	12,7
6	16/03/2023	16:10:50	12,5
7	16/03/2023	16:11:00	12,6
8	16/03/2023	16:11:10	12,7
9	16/03/2023	16:11:20	12,8
10	16/03/2023	16:11:30	12,7
Media			12,66
desviación estándar			0,08
coeficiente de variación			0,67%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.3.2.3. Estabilidad sensor de vibración con frecuencia de 45 Hz.

La hora de inicialización de la prueba fue a las 16:10 PM, con un intervalo de diez segundos por cada medición, se toman muestras de los valores medidos por el módulo electrónico en el intervalo de tiempo establecido y mediante la obtención del coeficiente de variación.

En la tabla 5-4 se obtiene el coeficiente de variación en base a las muestras, teniendo un valor de 0,56% por lo tanto se concluye que el sensor VVB001 es preciso y tiene poca variabilidad ya que su coeficiente de variación es menor al 5%.

Tabla 5-4: Prueba de estabilidad sensor VVB001 a 45 Hz.

FRECUENCIA 45 Hz			
N°	Fecha y hora		Aceleración (m/s²)
1	16/03/2023	16:40:00	23,5
2	16/03/2023	16:40:10	23,3
3	16/03/2023	16:40:20	23,4
4	16/03/2023	16:40:30	23,3
5	16/03/2023	16:40:40	23,2
6	16/03/2023	16:40:50	23,1
7	16/03/2023	16:41:00	23,2
8	16/03/2023	16:41:10	23,3
9	16/03/2023	16:41:20	23,4
10	16/03/2023	16:41:30	23,5
Media			23,32
desviación estándar			0,13
coeficiente de variación			0,56%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.4. Comparación entre módulo de generación y generador de funciones

En esta sección se desarrollan las pruebas comparativas del sensado entre el módulo de generación con el generador de funciones, el objetivo de realizar estas pruebas es de determinar la confiabilidad de los datos que genera el elemento antes mencionado, ya que posee la capacidad de generar una onda sinusoidal modificando su frecuencia y regulando su amplitud por medio de la interfaz gráfica, al momento de escribir el dato requerido de frecuencia se requiere una exactitud para su generación. Para el error relativo se considera el cálculo porcentual de los datos que se visualizan en el HMI.

La comparación se realizó con una toma de 20 muestra de la aceleración en diferentes frecuencias y amplitudes. Se calcula el error relativo y absoluto, en la tabla 6-4 se muestra los cálculos de los errores antes mencionado, donde se obtiene un error absoluto de 0,065 Hz y un error relativo del 0,20%, considerando que el resultado es menor al 5%, se concluye que la calidad de la transmisión de los datos del sensor de vibración es aceptable, el resultado del experimento está posicionado en un rango de lo aceptable y bueno.

Tabla 6-4: Análisis comparativo entre el módulo de generación y generador de funciones.

N°	Frecuencia	Módulo de generación		generador de funciones		Error Absoluto	Error Relativo (%)
		Aceleración (m/s ²)	Aceleración promedio	Aceleración (m/s ²)	Aceleración promedio		
1	26	8,1	8,10	8,5	8,45	-0,35	-4,321%
		8,2		8,6			
		8,1		8,4			
		8		8,3			
2	27	8,4	8,35	8,6	8,60	-0,25	-2,994%
		8,3		8,7			
		8,4		8,6			
		8,3		8,5			
3	28	9	9,23	9,2	9,08	0,15	1,626%
		9,6		9,1			
		9,2		9			
		9,1		9			
4	29	10	10,05	10,1	10,18	-0,125	-1,244%
		10,1		10,2			
		10		10,1			
		10,1		10,3			
5	30	10,4	10,73	10,7	10,80	-0,075	-0,699%
		10,8		10,8			
		10,9		10,9			
		10,8		10,8			
6	31	11,3	11,35	11,3	11,35	0	0,000%

		11,4		11,4			
		11,3		11,3			
		11,4		11,4			
7	32	11,9	11,90	11,9	11,80	0,1	0,840%
		11,9		11,7			
		11,9		11,8			
		11,9		11,8			
8	33	12,3	12,25	12,1	12,15	0,1	0,816%
		12,3		12,3			
		12,2		12,2			
		12,2		12			
9	34	12,7	12,65	12,5	12,58	0,075	0,593%
		12,6		12,6			
		12,7		12,7			
		12,6		12,5			
10	35	12,8	12,78	12,7	12,75	0,025	0,196%
		12,9		12,8			
		12,7		12,8			
		12,7		12,7			
11	36	13,4	13,40	13,4	13,33	0,075	0,560%
		13,5		13,6			
		13,4		13,3			
		13,3		13			
12	37	14,1	14,15	13,8	13,95	0,2	1,413%
		14,1		13,9			
		14,2		14,1			
		14,2		14			
13	38	14,6	14,63	14,5	14,38	0,25	1,709%
		14,5		14,4			
		14,7		14,3			
		14,7		14,3			
14	39	15,3	15,35	15,1	15,28	0,075	0,489%
		15,4		15,2			
		15,3		15,3			
		15,4		15,5			
15	40	16,1	16,18	16,3	16,35	-0,175	-1,082%
		16,2		16,4			
		16,2		16,5			
		16,2		16,2			
16	41	17,4	17,35	17	17,15	0,2	1,153%
		17,3		17,1			
		17,4		17,2			
		17,3		17,3			
17	42	19,6	19,60	19,3	19,45	0,15	0,765%
		19,5		19,4			

		19,6		19,3			
		19,7		19,8			
18	43	20,5	20,60	20	20,05	0,55	2,670%
		20,7		20,1			
		20,6		20			
		20,6		20,1			
19	44	21,5	21,78	21,5	21,65	0,125	0,574%
		21,9		21,6			
		21,9		21,8			
		21,8		21,7			
20	45	23,5	23,35	23,2	23,15	0,2	0,857%
		23,4		23			
		23,3		23,3			
		23,2		23,1			
PROMEDIO						0,065	0,20%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.5. Pruebas en el equipo con una capa de liquido

Estas pruebas de validación se llevaron a cabo, tomando como base la investigación previa realizada por Diego Barba (Barba Maggi, 2020) y que, a su vez el autor utilizó otros trabajos de investigación como punto de referencia para validar su propia investigación.

Se ha empleado agua destilada para formar anillos a determinadas excitaciones de vibraciones. Las formas de onda generadas han sido anillos. Para determinar la longitud de onda, se ha activado el sistema en modo automático, lo que ha permitido enviar las magnitudes de vibración y detectar la aceleración generada. Inicialmente, se ha llevado a cabo un procesamiento y análisis de 5 imágenes en distintas frecuencias y aceleraciones. Se ha utilizado el software Fiji, una herramienta ampliamente empleada en investigaciones, siguiendo los siguientes pasos descritos:

- Se han capturado imágenes utilizando una cámara de alta resolución de 4K, en un ambiente de oscuridad, como se observa en la ilustración 3-4.
- Se utilizó las funciones "Plot Profile" y "Polar Transform" para visualizar y analizar cada una de las imágenes por separado, identificando los picos de mayor magnitud que representan la intensidad de los píxeles, lo cual a su vez proporciona información sobre la longitud de onda, como se observa en la ilustración 4-4.
- Con estos datos, se ha realizado una analogía para transformar la ubicación de los píxeles en milímetros (mm).
- Entonces, se procedió a calcular la distancia de cada pico en mm, el promedio de estas distancias y el error de medición aceptable inferior a 5%.

- Finalizando, con la comparación en un grafica de las longitudes de onda en función de la frecuencia de vibración con la curva teórica de capilaridad (HOCKING, L. M., 1987).

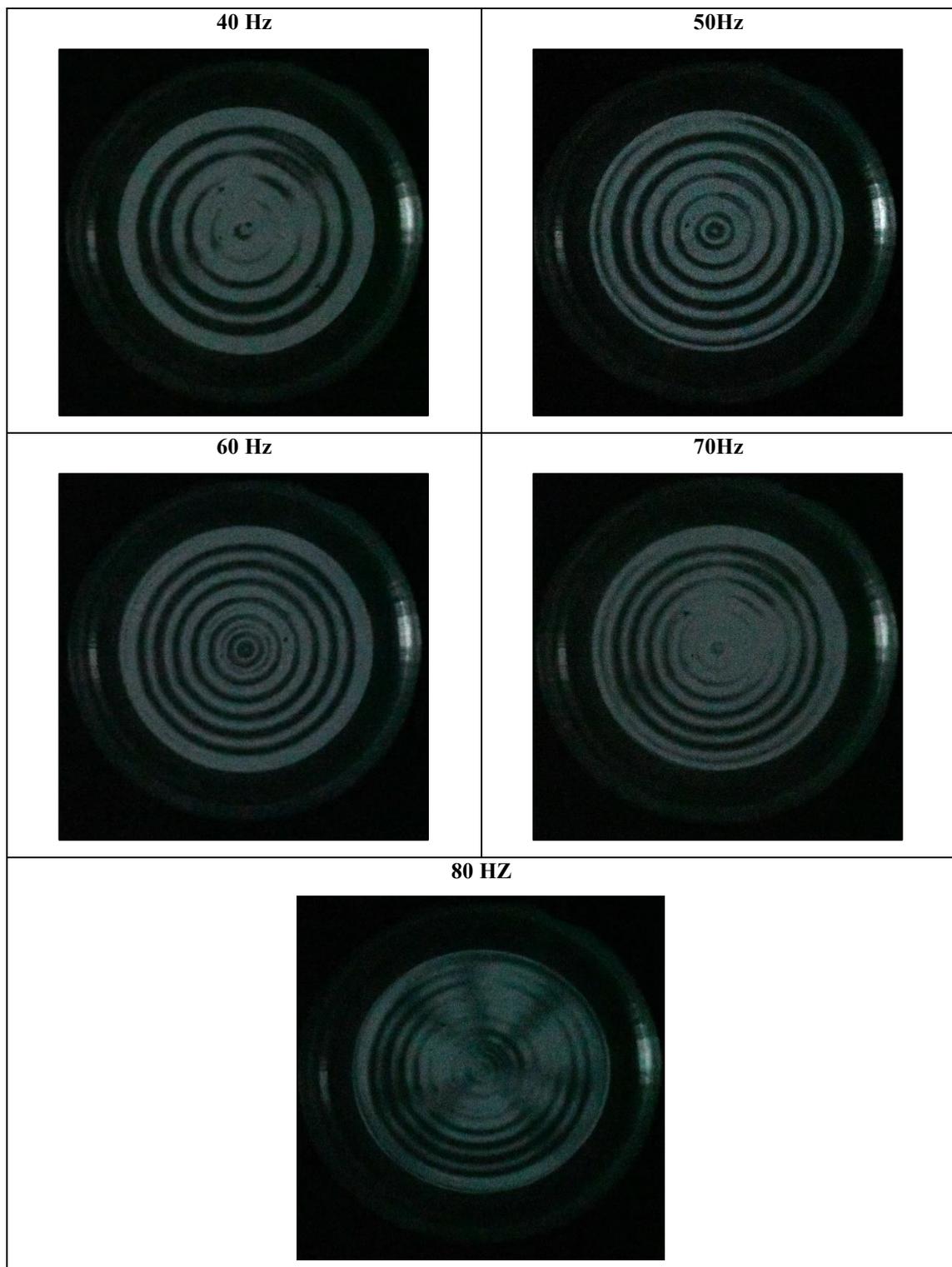


Ilustración 3-4: Imágenes capturadas en una cámara de 4K de resolución y en un ambiente aislado de luz. En un rango de frecuencias desde 40 a 80 Hz.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Los parámetros para el ensayo se ilustran en la Tabla 7-4 tomando un rango de frecuencias desde 40 a 80, con un paso de 10, las aceleraciones producidas por el vibrador que son detectadas por el sensor longitud de onda calculada dada en mm y el error producido al medir.

Tabla 7-4: Frecuencias de vibración, aceleraciones reducidas G , longitudes de onda λ_{prom} y error de medición.

$\lambda_{(prom)}$ (mm)	Error (mm)	f (Hz)	Γ
5.9436	0.3007	40.0000	0.1020
5.1088	0.4836	50.0000	0.2347
4.4877	0.3539	60.0000	0.6939
4.2373	0.4333	70.0000	0.4898
3.8600	0.3239	80.0000	0.2755

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

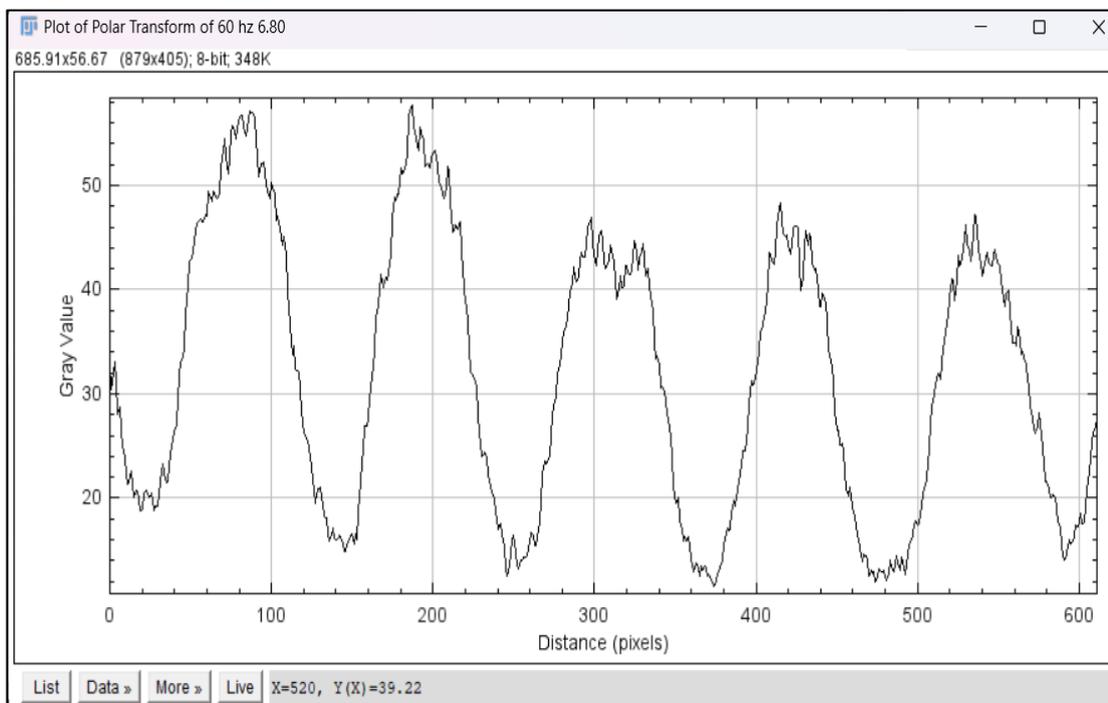


Ilustración 4-4: Visualización del análisis y procesamiento de imagen utilizando las funciones “Plot Profile” y “Polar Transform” para una frecuencia de 60 Hz y una aceleración de 6.80 m/s².

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

Al comparar con investigaciones previas sobre las ondas capilares armónicas, se ha encontrado una concordancia significativa con la hipótesis o teoría propuesta por Hocking en 1987, tal como se puede apreciar en la ilustración 5-4. La relación de dispersión para ondas capilares armónicas en un líquido no viscoso está dada por la ecuación 1, usando $t = 60 \text{ dina/cm}$, $\rho_l = 1 \text{ g/cm}^3$, λ_w es

la longitud de onda para valores de 0.5 a 49.5 mm, $g = 980 \text{ cm/s}^2$ y $h = 2 \text{ mm}$. Los valores se ilustran en la Tabla 8-4.

$$f = \sqrt{\frac{2\pi\tau}{\rho l \lambda_w^3}} \quad (1)$$

Tabla 8-4: Longitud de Onda en función de los valores de frecuencia Teóricos de capilaridad.

l [mm]	fcap[Hz]	l [mm]	fcap[Hz]	l [mm]	fcap[Hz]
0.5	427.366407	17	0.00848398	33.5	23.6824862
1	1208.77474	17.5	0.04035685	34	613.996025
1.5	2220.66099	18	0.10048993	34.5	334.217103
2	3418.93125	18.5	0.19197059	35	217.080376
2.5	4778.10168	19	0.3171628	35.5	155.330073
3	6280.97778	19.5	0.47801337	36	118.16359
3.5	7914.93662	20	0.67619245	36.5	93.7699086
4	9670.1979	20.5	0.91317119	37	76.7495031
4.5	11538.893	21	1.19026969	37.5	64.3201115
5	13514.5124	21.5	1.50868902	38	54.917474
5.5	15591.5542	22	1.86953359	38.5	47.6015972
6	17765.2879	22.5	2.2738276	39	41.7771379
6.5	20031.5894	23	2.72252748	39.5	37.0506238
7	22386.8214	23.5	3.21653151	40	33.1526691
7.5	24827.7446	24	3.75668744	40.5	29.8932865
8	27351.45	24.5	4.3437987	41	27.135047
8.5	29955.3062	25	4.97862944	41.5	24.7763411
9	32636.9179	25.5	5.66190876	42	22.7405935
9.5	35394.0926	26	6.39433422	42.5	20.9691174
10	38224.8135	26.5	7.17657487	43	19.4162591
10.5	41127.2171	27	8.00927385	43.5	18.0460273
11	44099.5749	27.5	8.89305057	44	16.8297061
11.5	47140.2776	28	9.8285027	44.5	15.7441348
12	50247.8222	28.5	10.8162078	45	14.7704488
12.5	53420.8009	29	11.8567251	45.5	13.8931441
13	56657.8908	29.5	12.9505962	46	13.0993737
13.5	59957.8467	30	14.0983471	46.5	12.3784112
14	63319.4929	30.5	15.3004886	47	11.7212386
14.5	66741.7175	31	16.5575176	47.5	11.1202245
15	70223.4664	31.5	17.8699177	48	10.5688728
15.5	73763.7389	32	19.2381604	48.5	10.0616223
16	77361.5832	32.5	20.6627053	49	9.59368789
16.5	81016.0922	33	22.1440011	49.5	9.16093165

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

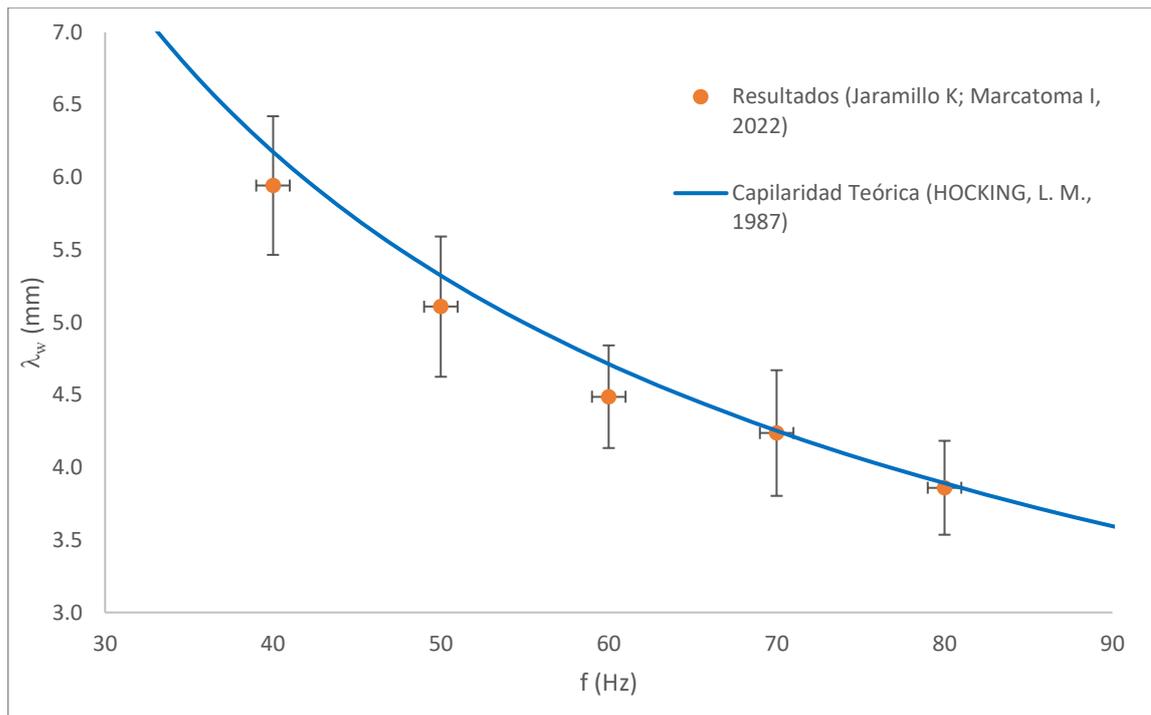


Ilustración 5-4: Longitudes de onda en función de la frecuencia de vibración f . Puntos: longitud de ondas en la superficie libre del líquido λ_w . La línea continua muestra la relación de dispersión para ondas capilares armónicas. Las barras de error cuantifican las fluctuaciones en diferentes posiciones radiales. El error de medición producido es del 5%.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.6. Caracterización de la comunicación entre módulos

En el siguiente apartado se realizan las pruebas de conexión de red entre los diferentes módulos y dispositivos que intervienen en el sistema vibratorio automatizado, se utilizó el comando ping de CMD que es el símbolo del sistema para la elaboración de estas pruebas.

Para realizar un análisis verídico primeramente se calcula la media, desviación estándar y coeficiente de variación, Este último es utilizado por distintos autores para aceptar o rechazar la validez de los experimentos. Si el coeficiente de variación es próximo a 0 %, la muestra es compacta, existiendo poca variabilidad; si la media el 30 % es poco representativa; y si tiende al 100 %, los datos son muy dispersos y deben descartarse (Requena Serra, 2016).

4.6.1. Pruebas de conectividad PC-PLC

En ilustración 6-4 se puede observar una prueba realizada por medio del comando PING efectuándola desde el PC hacia el PLC Schneider.

```

C:\Users\Israel>ping 192.168.100.24

Haciendo ping a 192.168.100.24 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.24: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.24: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.24: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.24: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.100.24:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

```

Ilustración 6-4: Test commando Ping PC-PLC.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la tabla 9-4 se observa los resultados de la prueba de conectividad obteniendo una media de tiempo de espera de 1 ms, con una desviación estándar del 0 y un coeficiente de variación del 0% significando que se obtienen datos compactos, por lo que no existe una pérdida de datos.

Tabla 9-4: Resultados del test ping PC-PLC Schneider.

Nº	IP de origen	IPC de destino	Paquetes recibidos	Tiempo de espera (ms)
1	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
2	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
3	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
4	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
5	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
6	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
7	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
8	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
9	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
10	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
11	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
12	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
13	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
14	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
15	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
16	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
17	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
18	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
19	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
20	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms

Media del tiempo de espera	1 ms
Desviación estándar	0
Coefficiente de variación	0%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.6.2. Pruebas de conectividad PC- HMI

En ilustración 7-4 se puede observar la prueba realizada por medio del comando PING efectuándola desde el PC hacia el HMI que se encuentra ubicado en el panel de control eléctrico. En la conexión entre estos dos dispositivos se observa que no existe una pérdida de datos.

```
C:\Users\Israel>ping 192.168.100.70

Haciendo ping a 192.168.100.70 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.70: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.70: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.70: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.70: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.100.70:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms
```

Ilustración 7-4: Test comando Ping PC-PLC.

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la tabla 10-4 se observa los resultados de la prueba de conectividad obteniendo una media de tiempo de espera de 1 ms, con una desviación estándar del 0 y un coeficiente de variación del 0% significando que se obtienen datos compactos, por lo que no existe pérdida de datos

Tabla 10-4: Resultados del test ping PC-HMI.

N°	IP de origen	IP de destino	Paquetes recibidos	Tiempo de espera (ms)
1	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
2	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
3	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
4	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
5	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
6	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
7	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
8	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms

9	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
10	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
11	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
12	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
13	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
14	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
15	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
16	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
17	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
18	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
19	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
20	192.168.100.99	192.168.100.70	4	1 ms
Tiempo de espera promedio				1 ms
Desviación estándar				0
Coefficiente de variación				0%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.6.3. Pruebas de conectividad PC- maestro IO- Link

En ilustración 8-4 se puede observar la prueba realizada por medio del comando PING efectuándola desde el PC hacia el maestro IO link que se encuentra ubicado la estructura antivibratoria. En la conexión entre estos dos dispositivos se observa que no existe una pérdida de datos.

```
C:\Users\Israel>ping 192.168.100.25

Haciendo ping a 192.168.100.25 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.25: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.100.25:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms
```

Ilustración 8-4: Test comando Ping PC-Maestro IO-Link

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la tabla 11-4 se observa los resultados de la prueba de conectividad obteniendo una media de tiempo de espera de 1 ms, con una desviación estándar del 0 y un coeficiente de variación del 0% significando que se obtienen datos compactos, por lo que no existe pérdida de datos

Tabla 11-4: Resultados del test ping PC-MAESTRO IO Link.

Nº	IP de origen	IP de destino	Paquetes recibidos	Tiempo de espera (ms)
1	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
2	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
3	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
4	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
5	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
6	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
7	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
8	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
9	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
10	192.168.100.99	192.168.100.24	4	1 ms
11	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
12	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
13	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
14	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
15	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
16	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
17	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
18	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
19	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
20	192.168.100.99	192.168.100.25	4	1 ms
Tiempo de espera promedio				1 ms
Desviación estándar				0
Coefficiente de variación				0%

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.6.4. Pruebas de conectividad PC- Módulo generación

En ilustración 9-4 se puede observar la prueba realizada por medio del comando PING efectuándola desde el PC hacia el módulo de generación que se encuentra ubicado en el panel de control eléctrico. En la conexión entre estos dos dispositivos se observa que no existe una pérdida de datos ya que todos estos son recibidos.

```

Haciendo ping a 192.168.100.20 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=20ms TTL=61
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=2ms TTL=61
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=3ms TTL=61
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=8ms TTL=61

Estadísticas de ping para 192.168.100.20:
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 2ms, Máximo = 20ms, Media = 8ms

```

Ilustración 9-4: Test comando Ping PC-módulo de generación

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

En la tabla 12-4 se observa los resultados de la prueba de conectividad obteniendo una media de tiempo de espera de 9,15 ms, con una desviación estándar del 0,49 y un coeficiente de variación del 5.35 % significando que se obtienen datos compactos, por lo que no existe pérdida de datos, ya que mientras el coeficiente de variación este dentro del rango de 0-30% los datos son más confiables.

Tabla 12-4: Resultados del test ping PC-Módulo de generación.

Nº	IP de origen	IP de destino	Paquetes recibidos	Tiempo de espera (ms)
1	192.168.100.99	192.168.100.20	4	8 ms
2	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
3	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
4	192.168.100.99	192.168.100.24	4	10 ms
5	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
6	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
7	192.168.100.99	192.168.100.24	4	10 ms
8	192.168.100.99	192.168.100.24	4	10 ms
9	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
10	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
11	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
12	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
13	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
14	192.168.100.99	192.168.100.24	4	10 ms
15	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
16	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
17	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
18	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms

19	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
20	192.168.100.99	192.168.100.24	4	9 ms
Tiempo de espera promedio				9,15 ms
Desviación estándar				0,49
Coefficiente de variación				5.35 %

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

4.7. Evaluación económica

En la tabla 13-4 se detalla el valor de cada uno de los elementos que intervienen en los distintos módulos del sistema vibratorio

Tabla 13-4: Lista de precios.

Módulo	Dispositivo	Cantidad	Precio
Módulo de adquisición de datos	Maestro IO-link	1	500
	Sensor de vibración	1	400
	cable prolongador M12 RECTO	1	33,83
	Conector macho-hembra	1	2,11
	Cable conector hembra recto	1	22,18
Módulo de control y visualización	HMI	1	200
	PLC Schneider	1	400
	Switch ethernet	1	15
	Fuente conmutada 24 DC	1	20
	Pulsador inicio	1	3,5
	Pulsador paro	1	3,5
	Pulsador emergencia	1	4
	Indicador verde	1	3
	Indicador rojo	1	3
	Indicador de voltaje	1	3
Breaker 6 A	1	4,5	
Módulo de generación y actuación	Potenciómetro digital X9C103	1	5
	Modulo ethernet ENC28J60	1	9,99
	Convertidor digital analógico (MCP4725 DAC)	1	10
	Amplificador de audio	1	15
	Arduino uno	1	13
	vibrador sonoro	1	20
Estructura antivibratoria	Perfiles de aluminio estructurado 40x40	4	200
	Perfiles de aluminio estructurado 40x80	4	200
	Superficies de madera	3	90
	Tronillos	64	15
TOTAL			2195,61

Realizado por: Jaramillo K; Marcatoma I, 2023.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se implementó un sistema vibratorio automatizado mediante una interfaz HMI para el estudio de la estructura granular a través de inestabilidades hidrodinámicas. Se seleccionaron los componentes necesarios para los distintos módulos del sistema, que incluyen adquisición de datos, control y visualización, actuación y generación, así como una estructura antivibratoria.
- Se logró exitosamente el desarrollo del módulo de control y visualización, el cual permite el monitoreo en tiempo real de la aceleración pico a pico generada por el vibrador sonoro, así como el envío de las magnitudes deseadas de vibración al módulo de generación y actuación para la generación de señales de onda sinusoidal.
- La comunicación entre los diferentes módulos del sistema vibratorio automatizado en este proyecto de investigación se llevó a cabo mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP. El controlador lógico programable (PLC) actuó como servidor, mientras que el maestro IO-Link, el HMI y el módulo Ethernet ENC28J60 del microcontrolador actuaron como esclavos.
- Las pruebas de conectividad realizadas entre la PC y los elementos del sistema vibratorio, como el PLC, HMI y Maestro IO-Link, arrojaron un tiempo de espera promedio de 1 ms, con un coeficiente de variación del 0%. Esto indica que no se produjo pérdida de datos y se obtuvo una transmisión de datos compacta y confiable. Por otro lado, para la conectividad con el módulo de actuación y generación, se obtuvo un tiempo de espera promedio de 9,15 ms, con un coeficiente de variación del 5,35%, lo cual se encuentra dentro del rango de datos confiables, y también indica que no se produjo pérdida de datos en esta conexión.
- A través de las pruebas realizadas en el módulo de actuación y generación, se pudo validar su correcto funcionamiento al enviar 20 muestras de frecuencia y amplitud desde la interfaz HMI. La precisión del módulo fue verificada mediante la medición de la señal de onda sinusoidal generada utilizando un osciloscopio disponible en el laboratorio, y comparando los datos enviados con los datos medidos. Los resultados arrojaron un error relativo del

1,62%, el cual se encuentra dentro del intervalo de margen de error aceptable, lo que confirma un correcto desempeño en este módulo.

- Para validar el sistema en general, se emplearon 10 ml de agua destilada para crear una capa líquida en la celda. Se midieron las longitudes de onda entre anillos generados a diferentes frecuencias y aceleraciones. Luego, estas longitudes de onda se compararon con la curva teórica de capilaridad de ondas obtenida del trabajo de investigación de Hocking, lo que permitió obtener una aproximación precisa del comportamiento del sistema.

5.2. Recomendaciones

- Para la adecuada comunicación entre los módulos del sistema se debe tomar en cuenta que las direcciones de los equipos estén dentro del rango de una misma dirección IP.
- Es recomendable dar la debida importancia en identificar las direcciones de los puertos del maestro IO-Link y del sensor de vibración, ya que se puede medir otra magnitud por error y no según lo requerido.
- Los tiempos de respuesta y envíos de datos desde el controlador lógico programable están en el orden de los milisegundos, por lo que se debe tomar en cuenta dichos retardos a la hora de elaborar la programación en el PLC y en el microcontrolador, para no afectar la salida de la señal de onda y una posible pérdida de datos.
- Es necesario realizar pruebas de ubicación del sensor de vibración dentro del vibrador sonoro, ya que su posición y orientación afectan la precisión de su medición.
- Para una próxima aplicación, se podría utilizar un microcontrolador con mayor capacidad de procesamiento, en este caso una ESP32, debido al retardo que se produce debido a la comunicación Modbus TCP/IP, esto durante cada lazo de instrucción (void loop) que se ejecuta en el Arduino IDE.
- Es recomendable emplear macros o secuencias de comandos para automatizar el procesamiento y análisis de imágenes, lo cual ayuda a evitar errores de medición y ahorra tiempo en estas tareas.

BIBLIOGRAFÍA

- ACE**, 2015. HMI products. *Acesa.es* [en línea]. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.acesa.es/cs/p1/hmi>.
- ANCEY, C., COUSSOT, P. y EVESQUE, P.**, 1999. A theoretical framework for granular suspensions in a steady simple shear flow. *Journal of rheology* [en línea], vol. 43, no. 6, pp. 1673-1699. ISSN 0148-6055. DOI 10.1122/1.551067. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1122/1.551067>.
- ANEKAR, N., RUIWALE, V.V., NIMBALKAR, S. and RAO, P.**, 2014. Design and testing of unbalanced mass mechanical vibration exciter. *Ijret.org* [en línea]. [Consulta: 5 octubre 2022]. Disponible en: <https://ijret.org/volumes/2014v03/i08/IJRET20140308017.pdf>.
- ARDUINO**, 2019. Arduino UNO. *Arduino.cl* [en línea]. [Consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://arduino.cl/arduino-uno/>.
- ARDUINO**, 2023. Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1. *Arduino.cc* [en línea]. [Consulta: 1 enero 2023]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>.
- ATEC**, 2020. Pirámide CIM de Automatización Industrial. *Atec-energy.com* [en línea]. [Consulta: 9 octubre 2023]. Disponible en: <https://atec-energy.com/Blog/piramide-de-automatizacion-cim>.
- ATVISE**, 2021. Sistema HMI. *atvise® - Sistema SCADA Web* [en línea]. [Consulta: 29 octubre 2022]. Disponible en: <https://atvise.vesterbusiness.com/news/sistema-hmi/>.
- AUTODESK**, 2020. EAGLE. *Autodesk.com* [en línea]. [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- AUTRACEN**, 2020. Estructura de PLC. *AUTRACEN* [en línea]. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.autracen.com/blog/blog-autracen-1/estructura-de-plc-51>.
- AUTYCOM**, 2019. Pirámide de automatización: 5 niveles tecnológicos en el entorno industrial. [en línea]. [Consulta: 19 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.autycom.com/piramide-de-automatizacion-5-niveles-tecnologicos/>.

- BANNER ENGINEERING**, 2017. IO-Link. [en línea]. [Consulta: 29 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.bannerengineering.com/mx/es/company/expert-insights/io-link.html#/>.
- BARBA MAGGI, D.**, 2020. *Dinámica de suspensiones concentradas sometidas a vibración mecánica* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. [Consulta: 14 octubre 2022]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.fi.uba.ar/items/show/18270>.
- BARBA MAGGI, D., MARTINO, R., ROSEN, M., PIVA, M. and BOSCHAN, A.**, 2020. Particulate patterns generated by liquid templates. *Powder technology* [en línea], vol. 366, pp. 598-609. ISSN 0032-5910. DOI 10.1016/j.powtec.2020.03.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2020.03.004>.
- BECHHOEFER, J., EGO, V., MANNEVILLE, S. and JOHNSON, B.**, 1995. An experimental study of the onset of parametrically pumped surface waves in viscous fluids. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 288, pp. 325-350.
- BÉNARD, H.**, 1901. Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. -Méthodes optiques d'observation et d'enregistrement. *Journal de Physique Théorique et Appliquée*, vol. 10, no. 1, pp. 254-266.
- BERRY, J.**, 2010. Mantenimiento y análisis de señales de vibración I. *USA: Technical Associates od Charlotte*. S.l.: s.n.,
- BINDA, L.D.**, 2018. *CO2 e inestabilidades hidrodinámicas*. S.l.: s.n.
- BULLÓN VILCHIS, O.**, 2019. *Automatización industrial* [en línea]. Mexico: Instituto Politécnico Nacional. [Consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5632>.
- CÁRDENAS, J.**, 2011. *Diseño, construcción y pruebas de un banco para análisis de vibraciones*. Chile: Universidad Austral.
- CHEN, P., GÜVEN, S., LOU, Z., TASOGLU, S., GANESAN, A., WENG, A. and DEMIRCI, U.**, 2014. Microscale assembly directed by liquid- based template. *Advanced Materials*, vol. 26, pp. 5936-5941.
- DANE**, 2008. Estimación e interpretación del coeficiente de variación de la encuesta COCENSAL.

- DOUADY, S.**, 1990. Experimental study of the Faraday instability. *Journal of fluid mechanics*, vol. 221, pp. 383-409.
- DUALTRONICA**, 2020. Potenciómetro Digital 10k, X9c103s 3v-5v. *Dualtronica* [en línea]. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://dualtronica.com/modulos/581-potenciometro-digital-spi-10k-mcp4151-microchip.html>.
- DUKKIPATI, R.V.**, 2012. *Textbook of mechanical vibrations*. Delhi, India: PHI Learning. ISBN 9788120345249.
- ECHEVERRÍA, L.**, 2015. Trabajando con PLCs. *Insdecem.com* [en línea]. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.insdecem.com/archivos/documentos/Trabajando%20con%20PLCS.pdf>.
- EDIMAR**, 2020. ¿Qué es un sistema HMI? *Electrónica Edimar* [en línea]. [Consulta: 29 octubre 2022]. Disponible en: <https://edimar.com/hmi-tipos-y-funciones/>.
- ELECTRICISTAS**, 2022. PLC controlador lógico programable. *Electricistas.cl* [en línea]. [Consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en: <https://electricistas.cl/plc-controlador-logico-programable/>.
- FAO**, 1977. *Guía para la descripción de perfiles de suelo*. S.l.: s.n.
- FARADAY, M.**, 1831. XVII. On a peculiar class of acoustical figures; and on certain forms assumed by groups of particles upon vibrating elastic surfaces. *Philosophical transactions of the Royal Society of London* [en línea], vol. 121, no. 0, pp. 299-340. ISSN 0261-0523. DOI 10.1098/rstl.1831.0018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1831.0018>.
- GARCÍA MORENO, E.**, 2020. *Automatización de Procesos Industriales*. S.l.: s.n.
- GÓMEZ URREA, S.**, 2019. *Criterios y Soluciones constructivas para el aislamiento de ruido y vibración en barcos de pasaje*. S.l.: s.n.
- GRACIELA LECUMBERRY, M.S.**, 2005. El proceso de medición: Análisis y comunicación de datos experimentales [en línea]. Río Cuarto - Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto. [Consulta: 28 enero 2023]. Disponible en: https://www.unrc.edu.ar/unrc/digital/El_proceso_de_med.pdf.

- HARRIS, C.M., PIERSOL, A.G. and PAEZ, T.L.,** 2009. *Harris' shock and vibration handbook*. 6. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: McGraw-Hill Professional. ISBN 9780071508193.
- HIMELCO,** 2020. HMI PI3070i-N. *Himelco.cl* [en línea]. [Consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://himelco.cl/plc-hmi-wecon/interfaz-hombre-maquina-hmi/hmi-pi3070i-n/>.
- HOCKING, L. M.,** 1987, The damping of capillary-gravity waves at a rigid boundary. *Journal of fluid mechanics* vol. Vol 179, pp. 253-266.
- HUFZIGER, K.T., ZRIMSEK, A.B. and ASHER, S.A.,** 2018. Solid deep ultraviolet diffracting inverse opal photonic crystals. *ACS applied nano materials* [en línea], vol. 1, no. 12, pp. 7016-7024. ISSN 2574-0970. DOI 10.1021/acsanm.8b01806. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/acsanm.8b01806>.
- IBM,** 2020. Comunicación Serial. *Ibm.com* [en línea]. [Consulta: 11 invierno 2022]. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.1?topic=communications-serial-communication>.
- IFM,** 2021. VVB001 - Detector de vibraciones - ifm. *Ifm.com* [en línea]. Disponible en: <https://www.ifm.com/es/es/product/VVB001>.
- IFM,** 2022. AL1342 - Maestro IO-Link con interfaz Modbus TCP - ifm. *Ifm.com* [en línea]. Disponible en: <https://www.ifm.com/cl/es/product/AL1342>.
- INDUSTRIAS GSL,** 2021. ¿Qué es un PLC y cómo funciona? [en línea]. [Consulta: 19 octubre 2023]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>.
- JACOBSEN, L.,** 1930. *Motion of soils subjected to simple harmonic motion vibration*. S.I.: Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 20, pp. 160-195.
- KHOSHROO, K., JAFARZADEH KASHI, T.S., MOZTARZADEH, F., TAHRIRI, M., JAZAYERI, H.E. and TAYEBI, L.,** 2017. Development of 3D PCL microsphere/TiO₂ nanotube composite scaffolds for bone tissue engineering. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications* [en línea], vol. 70, no. Pt 1, pp. 586-598. ISSN 0928-4931. DOI 10.1016/j.msec.2016.08.081. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2016.08.081>.

- MANDADO, E.,** 2005. *Autómatas programables: entorno y aplicaciones*". S.l.: Thomson Learning Ibero.
- MAPRO,** 2019. Interfaz de comunicación IO-Link. *Maprosensor.com* [en línea]. Disponible en: <https://maprosensor.com/pubimg/files/Articulo%20IO-Link.pdf>.
- MARTINO, R., BOSCHAN, A., MAGGI, D.B., BONGIOVANNI, G., GÉMINARD, J.-C. and PIVA, M.,** 2020. Sediment motion induced by Faraday waves in a Hele-Shaw cell. *Physical review. E* [en línea], vol. 101, no. 4-1, pp. 043112. ISSN 2470-0053. DOI 10.1103/PhysRevE.101.043112. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.101.043112>.
- MECAFENIX, I.,** 2017. Acelerómetro sensor de movimiento o vibración. *Ingeniería Mecafenix* [en línea]. [Consulta: 25 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>.
- MEIROVITCH, L.,** 1986. *Elements of Vibration Analysis*. 2. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: McGraw-Hill. ISBN 9780070413429.
- MICROCHIP,** 2008. Stand-Alone Ethernet Controller. *Microchip Technology Inc* [en línea]. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39662c.pdf>.
- MILJKOVIĆ, D.,** 2009. Review of active vibration control. *Irb.hr* [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2022]. Disponible en: https://bib.irb.hr/datoteka/418042.Review_of_Active_Vibration_Control.pdf.
- MIÑO, G.L.,** 2008. *Experimentos sobre la formación de ondas de Faraday: comparación con resultados teóricos*. S.l.: s.n.
- MIRCHANDANI, P., ENG JOO LEE and VASQUEZ, A.,** 1988. *Concurrent Scheduling In Flexible Automation, Systems, Man, and Cybernetics. Proceedings of the 1988 IEEE International Conference on*. Page(s): s.n.
- MORENO, A., BALLESTEROS, D. and SÁNCHEZ, G.,** 2012. Un Prototipo Mecánico Para La Automatización a Mechanical Prototype for Export-Type. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 11, no. 21, pp. 151-160.

- MORKOVIN, M.V.**, 1964. *Flow around Circular Cylinder A Kaleidoscope of Challenging Fluid Phenomena*. S.l.: s.n.
- MPCEIP**, 2022. COMEX – Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. *Gob.ec* [en línea]. [Consulta: 12 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/comex/>.
- NITZAN, D. y ROSEN, C.A.**, 1976. Programmable Industrial Automation, Computers. *IEEE Transactions on*, vol. 12, pp. 1259-1270.
- PÉREZ, C.A., NAVA, R., RUIZ, G.A. and PÉREZ, A.**, 2013. Development of an anti-vibration system for the safe transfer and reliable operation of mammography equipment on board a mobile medical unit. *Journal of applied research and technology* [en línea], vol. 11, no. 6, pp. 920-926. ISSN 1665-6423. DOI 10.1016/s1665-6423(13)71599-2. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/s1665-6423\(13\)71599-2](http://dx.doi.org/10.1016/s1665-6423(13)71599-2).
- PÉREZ GARCÍA, C.**, 2003. Inestabilidades y patrones fuera del equilibrio. *Revista española de física* [en línea], vol. 17, no. 5, pp. 33-38. ISSN 0213-862X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=758933>.
- PHILLIPS, K.R., ENGLAND, G.T., SUNNY, S., SHIRMAN, E., SHIRMAN, T., VOGEL, N. and AIZENBERG, J.**, 2016. A colloidoscope of colloid-based porous materials and their uses. *Chemical Society reviews* [en línea], vol. 45, no. 2, pp. 281-322. ISSN 0306-0012. DOI 10.1039/c5cs00533g. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1039/c5cs00533g>.
- RAO, S.S.**, 1990. *Mechanical Vibrations*. 2. Londres, Inglaterra: Addison Wesley. ISBN 9780201501568.
- RAYLEIGH, L.**, 1883. Investigation of the Character of the Equilibrium of an Incompressible Heavy Fluid of Variable Density. *Proceedings of the London Mathematical Society*, vol. 14, pp. 170-177.
- RAYMOND, J.**, 2015. Sealed subwoofer box enclosure design software example speaker cabinet program. *Ajdesigner.com* [en línea]. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.ajdesigner.com/speaker/asealedexample.php>.
- REQUENA SERRA, B.**, 2016. Coeficiente de variación de Pearson. [en línea]. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en:

<https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/coeficiente-variacion-pearson/>.

SALDIAS, A., 2019. ¿Qué es un PLC? ¿Cómo funciona? ¿Para qué sirve? *SRC Sistemas de Regulación y Control* [en línea]. [Consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en: <https://srcsl.com/que-es-un-plc/>.

SANCHIS LLOPIS, R., ROMERO PÉREZ, J.A. and ARIÑO LATORRE, C.V., 2010. *Automatización industrial*. S.l.: s.n. ISBN 9788469309940.

SAYLOR, J.R. and KINARD, A.L., 2005. Simulation of particle deposition beneath Faraday waves in thin liquid films. *Physics of fluids (Woodbury, N.Y.: 1994)* [en línea], vol. 17, no. 4, pp. 047106. ISSN 1070-6631. DOI 10.1063/1.1884111. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1884111>.

SCHNEIDER ELECTRIC, 2022. PLCM221. *Www.se.com* [en línea]. Disponible en: <https://www.se.com/cl/es/product/TM221CE24T/plcm221-14-entradas-digitales-10-salidas-transistor-ethernet/>.

SDI, 2022. Pirámide De Automatización: Qué Es Y Sus 5 Niveles. *SDI* [en línea]. [Consulta: 19 octubre 2022]. Disponible en: <https://sdindustrial.com.mx/blog/piramide-de-automatizacion-que-es/>.

SEAS, 2022. Pirámide CIM, clave para la automatización industrial. [en línea]. [Consulta: 20 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/piramide-cim-clave-para-la-automatizacion-industrial/>.

SEIKA, 2019. Los 5 Niveles de la Automatización Industrial. *SEIKA Automation | Automatización Industrial* [en línea]. [Consulta: 19 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.seika.com.mx/5-niveles-de-la-automatizacion-industrial/>.

SERPOOSHAN, V., CHEN, P., WU, H., LEE, S., SHARMA, A., HU, D.A., VENKATRAMAN, S., GANESAN, A.V., USTA, O.B., YARMUSH, M., YANG, F., WU, J.C., DEMIRCI, U. and WU, S.M., 2017. Bioacoustic-enabled patterning of human iPSC-derived cardiomyocytes into 3D cardiac tissue. *Biomaterials* [en línea], vol. 131, pp. 47-57. ISSN 0142-9612. DOI 10.1016/j.biomaterials.2017.03.037. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2017.03.037>.

SETO, W., 1970. *Vibraciones mecánicas. Teoría y problemas*. S.l.: McGraw-Hill.

- SEVERN, R., STOTEN, D. and TAGAWA, Y.,** 2012. *the contribution of shaking tables*. S.l.: Lisboa, Portugal: 15th World Conference on Earthquake Engineering.
- SHELDON,** 2014. El fundamento físico del acelerómetro. *Atomos y bits* [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2022]. Disponible en: <https://atomosybits.com/la-fisica-tras-el-acelerometro/>.
- SICK,** 2018. IO-Link: fundamentos teóricos y tecnología. *Sick.com* [en línea]. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.sick.com/es/es/io-link-fundamentos-teoricos-y-tecnologia/w/io-link-basics-and-technology/>.
- SICMA,** 2021. Qué es un PLC, cómo funciona y por qué se utilizan. *Soluciones Integrales para la Industria 4.0* [en línea]. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>.
- TEM ELECTRONIC COMPONENTS,** 2020. ¿Cómo funciona y qué hace el acelerómetro? *Tme.com* [en línea]. [Consulta: 12 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.tme.com/ve/es/news/library-articles/page/22568/Como-funciona-y-que-hace-el-acelerometro/>.
- TEXAS INSTRUMENTS,** 2017. Amplificador de audio TPA3116D2. *Www.ti.com* [en línea]. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ti.com/product/es-mx/TPA3116D2>.
- TORRES CASTRO, A.,** 1999. *Influencia de la convección sobre la homogeneidad en metales fundidos (Doctoral dissertation)*. S.l.: s.n.
- UFFELMANN, J.R., WIENZEK, P. and JAHN, M.,** 2018. *IO-Link: Brückentechnologie für Industrie 4.0*. 2. Essen, Germany: Vulkan-Verlag. ISBN 9783835673779.
- UNIT ELECTRONICS,** 2019. DAC MCP4725 I2C. [en línea]. [Consulta: 12 primavera 2022]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/dac-mcp4725-i2c/>.
- UNIVERSIDAD DE VALENCIA,** 2019. Tema 3. Redes de comunicación industriales. *Www.uv.es* [en línea]. [Consulta: 9 febrero 2023]. Disponible en: https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf.
- URUEÑA ORELLANA, A.C.,** 2021. UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN ACELERÓMETRO BASADO EN

EL USO DE RECOLECTORES DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICOS MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO. *Uchile.cl* [en línea]. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/182178/Dise%C3%B1o-y-evaluacion-de-un-acelerometro-basado-en-el-uso-de-recolectores-de-energia-piezoelectricos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=61&zoom=100,92,310>.

WAGO, 2020. MODBUS, protocolo de comunicación industrial. *WAGO Spain* [en línea]. [Consulta: 11 invierno 2022]. Disponible en: <https://www.wago.com/es/modbus>.

WHITE, G., 2010. Introducción al Análisis de Vibraciones. *Termogram.com* [en línea]. [Consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en: <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>.

YIN, J., RETSCH, M., THOMAS, E.L. and BOYCE, M.C., 2012. Collective mechanical behavior of multilayer colloidal arrays of hollow nanoparticles. *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids* [en línea], vol. 28, no. 13, pp. 5580-5588. ISSN 0743-7463. DOI 10.1021/la300039v. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/la300039v>.

ZAPATA, M., TOPÓN-VISARREA, L. and TIPÁN, E., 2021. *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Quito, Ecuador: Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica.

ANEXOS

Anexo A: Hoja de datos PLC TM221CE24T.

Ficha técnica del producto	
Especificaciones	
	Controlador M221 24 E/S transistor PNP Ethernet
	TM221CE24T
Principal	
Gama de producto	Modicon M221
Tipo de producto o componente	Autómata programable
[Us] tensión de alimentación asignada	24 V DC
De pie conducto	14 entrada discreta 4 entrada rápida IEC 61131-2 tpo 1
Número de entrada analógica	2 0...10 V
Tipo de salida digital	Transistor
Número de salidas discretas	10 transistor 2 salida rápida
Tensión de salida	24 V CC
Montado en la pared del conducto	0.5 A
Opcionales	
Número de E/S digitales	24
Numero de E/S del módulo de expansión	7 salida transistor 7 salida del relé
Limites tensión alimentación	20.4...28.8 V
Corriente de entrada	35 A
Consumo de energía en W	14 W 24 V módulo de expansión con número máximo de E/S 4.8 W 24 V sin módulo de expansión E/S
Corriente de salida fuente de alimentación	0.52 A 5 V bus de expansión 0.2 A 24 V bus de expansión
Entrada lógica	Receptor o suministro (positivo/negativo)
Tensión de entrada digital	24 V
Tipo de voltaje entrada discreto	CC
Resolución de entrada analógica	10 bits
Valor LSB	10 mV
Tiempo conversión	1 ms por canal + 1 controlador del ciclo de tiempo entrada analógica
Sobrecarga permitida en entradas	+/- 30 V DC 5 min máximo entrada analógica +/- 13 V DC permanente entrada analógica
Estado de tensión 1 garantizado	>- 15 V entrada

Estado de tensión 0 garantizado	<= 5 V entrada
Corriente de entrada discreta	7 mA entrada digital 5 mA entrada rápida
Tapa de conexiones trasero	3.4 kOhm entrada digital 100 kOhm entrada analógica 4.8 kOhm entrada rápida
Tiempo respuesta	35 µs turn-off I2...I5 entrada 5 µs turn-on I0, I1, I6, I7 entrada rápida 35 µs turn-on otros terminales entrada 5 µs turn-off I0, I1, I6, I7 entrada rápida 100 µs turn-off otros terminales entrada 5 µs encender, apagar Q0...Q1 salida 50 µs encender, apagar Q2...Q3 salida 300 µs encender, apagar otros terminales salida
Tiempo filtro configurable	0 ms entrada 3 ms entrada 12 ms entrada
Lógica de salida discreta	Lógica positiva (fuente)
Elevación	5 A
Frecuencia de salida (sincronizada a red eléctrica principal)	100 kHz salida rápida (modo PWM/PLS) Q0...Q1 5 kHz salida Q2...Q3 0.1 kHz salida Q4...Q8
Error de precisión absoluta	+/- 1 % de la escala total entrada analógica
1 contacto de puerta	0.1 mA salida transistor
Maximum voltage drop	1 V
Durabilidad mecánica	20000000 ciclos salida transistor
Carga de tungsteno	12 W saliday salida rápida
Tipo de protección	Protección de sobrecarga y cortocircuito 1 A
Tiempo de rearme	1 s rearme automático
Capacidad de memoria	256 kB aplicación de usuarios y datos RAM 10000 instrucciones 256 kB variables internas RAM
Orejetas terminales de anillo	256 kB memoria flash integrada copia de seguridad de la aplicación y de los datos
Mantenido TI24	2 GB Tarjeta SD opcional
Tipo de batería	BR2032 tipo no-recargable 4 año(s)
Tiempo de backup	1 año 25 °C por interrupción de fuente de alimentación
Tiempo de ejecución para 1 KInstrucción	0.3 ms evento y tarea periódica
Execution time per instruction	0.2 µs Booleano
Exct time for event task	60 µs tiempo de respuesta
Tamaño máximo de las áreas de objeto	256 %C contadores 512 %M bits de memoria 8000 %MW palabras de memoria 512 %KW palabras constantes 255 %TM temporizadores
Reloj en tiempo real	Donde
Deriv. reloj	<= 30 s/mes 25 °C
Lazo de regulación	Regulador PID ajustable hasta 14 lazos simultáneos
Funciones de posicionamiento	PTO 2 impulso/dirección 100 kHz PTO 1 sentido horario/antihorario 100 kHz
Función disponible	Generador de frecuencia PLS PWM
Número de entrada de contaje	4 entrada rápida (modo HSC) 100 kHz 32 bits
Counter function	A/R Monofásico Impulso/dirección

Tipo de conexión integrada	<p>Porta USB USB 2.0 mini B</p> <p>Enlace serie sin aislar serie 1 RJ45 RS232/RS485</p> <p>Ethernet RJ45</p>
Suministro	Serie fuente de alimentación de enlace serie 5 V 200 mA
Velocidad de transmisión	<p>1,2-115,2 kbit/s (115,2 kbit/s por defecto) 15 m RS485</p> <p>1,2-115,2 kbit/s (115,2 kbit/s por defecto) 3 m RS232</p> <p>480 Mbit/s USB</p>
Protocolo de puerto de comunicaciones	<p>Porta USB USB SoMachine-Red</p> <p>Enlace serie sin aislar Modbus maestro/esclavo RTU/ASCII o Red SoMachine</p> <p>Ethernet</p>
Puerto Ethernet	10BASE-T/100BASE-TX 1 100 m cable cobre
Servicio de comunicación	<p>Dispositivo esclavo Modbus TCP</p> <p>Servidor Modbus TCP</p> <p>Cliente Modbus TCP</p> <p>Ethernet/adaptador IP</p> <p>Cliente DDCP</p>
Señalizaciones en local	<p>1 LED verde PWR</p> <p>1 LED verde RUN</p> <p>1 LED rojo error de módulo (CRR)</p> <p>1 LED verde tarjeta SD de acceso (SD)</p> <p>1 LED rojo BAT</p> <p>1 LED por canal verde estado de E/S</p> <p>1 LED verde SI</p> <p>Actividad de red Ethernet verde ACT</p> <p>Link de red Ethernet amarillo Link (link estado)</p>
Consecutivo, seguido, continuo, adosado	<p>bornero de tornillo extraíble para entradas</p> <p>bornero de tornillo extraíble para salidas</p> <p>bornero 3 para conexión de la fuente de alimentación de 24 V CC</p> <p>conector 4 para entradas analógicas</p> <p>USB 2.0 mini B conector para un terminal de programación</p>
Maximum cable distance between devices	<p>Cable apantallado 10 m entrada rápida</p> <p>Cable sin apantallar 30 m salida</p> <p>Cable sin apantallar 30 m entrada digital</p> <p>Cable sin apantallar 1 m entrada analógica</p> <p>Cable apantallado 3 m salida rápida</p>
Aislamiento	<p>Entre la entrada y la lógica interna 500 V CA</p> <p>Entre la entrada rápida y la lógica interna 500 V CA</p> <p>Sin aislamiento entre las entradas</p> <p>Entre la salida y la lógica interna 500 V CA</p> <p>Sin aislamiento entre la entrada analógica y la lógica interna</p> <p>Sin aislamiento entre las entradas analógicas</p>
Marcado	CE
Soporte de montaje	<p>Tipo de tapón TH35-15 carril IEC 60715</p> <p>Tipo de tapón TH35-7 a carril IEC 60715</p> <p>placa o panel con juego de fijación</p>
Altura	90 mm
Profundidad	70 mm
Anchura	110 mm
Peso del producto	0,385 kg
Ambiente	
Normas	<p>EN/IEC 61131-2</p> <p>EN/IEC 61010-2-201</p> <p>EN/IEC 60664-1</p>
Certificaciones de producto	<p>IACS E10</p> <p>AB5</p> <p>EAC</p> <p>RCM</p> <p>CSA</p> <p>cULus</p> <p>LR</p> <p>DNV-GL</p>
Características ambientales	Ubicación peligrosa y ordinaria
Resistencia a descargas electroestáticas	<p>8 kV en aire EN/IEC 61000-4-2</p> <p>4 kV en contacto EN/IEC 61000-4-2</p>
Resistencia a campos electromagnéticos	<p>10 V/m 80 MHz...1 GHz EN/IEC 61000-4-3</p> <p>3 V/m 1,4 GHz...2 GHz EN/IEC 61000-4-3</p> <p>1 V/m 2...2,7 GHz EN/IEC 61000-4-3</p>

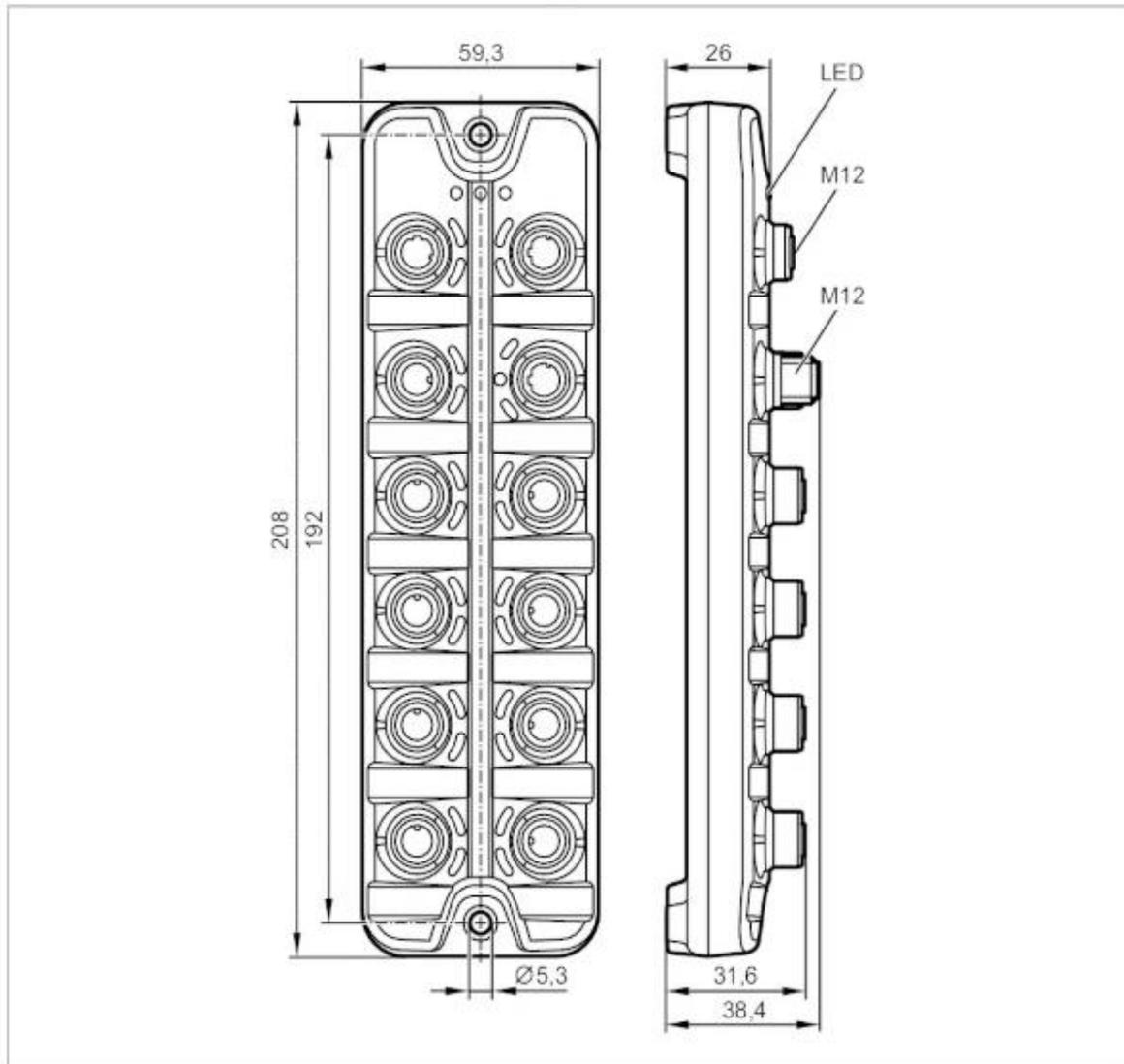
Resistencia a campos magnéticos	30 A/m 50/60 Hz EN/IEC 61000-4-8
Resistencia a transitorios rápidos	2 kV líneas de alimentación EN/IEC 61000-4-4 2 kV salida relé EN/IEC 61000-4-4 1 kV E/S EN/IEC 61000-4-4 1 kV línea Ethernet EN/IEC 61000-4-4 1 kV enlace serie EN/IEC 61000-4-4
Resistencia a sobretensiones	2 kV líneas de potencia (AC) modo común EN/IEC 61000-4-5 2 kV salida relé modo común EN/IEC 61000-4-5 1 kV E/S modo común EN/IEC 61000-4-5 1 kV cable apantallado modo común EN/IEC 61000-4-5 0.5 kV líneas de potencia (DC) modo diferencial EN/IEC 61000-4-5 1 kV líneas de potencia (AC) modo diferencial EN/IEC 61000-4-5 1 kV salida relé modo diferencial EN/IEC 61000-4-5 0.5 kV líneas de potencia (DC) modo común EN/IEC 61000-4-5
Resistance to conducted disturbances, induced by radio frequency fields	10 V 0.15...80 MHz EN/IEC 61000-4-6 3 V 0.1...80 MHz especificación Marina (LR, ABS, DNV, GL) 10 V frecuencia de punto (2, 3, 4, 6.2, 8.2, 12.6, 18.5, 18.8, 22, 25 MHz) especificación Marina (LR, ABS, DNV, GL)
Soporte de sujeción de cables	Emisiones conducidas 79 dBµV/m QP/65 dBµV/m AV líneas de potencia (AC) 0.15...0.5 MHz EN/IEC 55011 Emisiones conducidas 73 dBµV/m QP/60 dBµV/m AV líneas de potencia (AC) 0.5...300 MHz EN/IEC 55011 Emisiones conducidas 120...69 dBµV/m QP líneas de alimentación 10...150 kHz EN/IEC 55011 Emisiones conducidas 63 dBµV/m QP líneas de alimentación 1.5...30 MHz EN/IEC 55011 Emisiones radiadas 40 dBµV/m QP Clase A 10 m 30...230 MHz EN/IEC 55011 Emisiones conducidas 79...63 dBµV/m QP líneas de alimentación 150...1500 kHz EN/IEC 55011 Emisiones radiadas 47 dBµV/m QP Clase A 10 m 200...1000 MHz EN/IEC 55011
Inmunidad a microcortes	10 ms
Temperatura ambiente de funcionamiento	-10...55 °C instalación horizontal -10...35 °C instalación vertical
Temperatura ambiente de almacenamiento	-25...70 °C
Humedad relativa	10...95 % sin condensación en operación 10...95 % sin condensación en almacenamiento
Grado de protección IP	IP20 con cub. protec. colocada
Grado de contaminación	<= 2
Altitud máxima de funcionamiento	0...2000 m
Altitud de almacenamiento	0...3000 m
Resistencia a las vibraciones	3.5 mm 5...8.4 Hz carril simétrico 3.5 mm 5...8.4 Hz montaje de panel 1 gn 8.4...150 Hz carril simétrico 1 gn 8.4...150 Hz montaje de panel
Resistencia a los choques	147 m/s ² 11 ms
Unidades embalaje	
Unit Type of Package 1	PCE
Number of Units in Package 1	1
Package 1 Height	11.133 cm
Package 1 Width	14.136 cm
Package 1 Length	15.607 cm
Package 1 Weight	621.0 g
Unit Type of Package 2	CAR
Number of Units in Package 2	20
Package 2 Height	29.7 cm
Package 2 Width	39.8 cm
Package 2 Length	57.0 cm
Package 2 Weight	13.211 kg

Anexo B: Hoja de datos maestro IO-Link AL1342.

AL1342

Maestro IO-Link con interfaz Modbus TCP

IO-Link Master DL MB 8P IP67



Campo de aplicación	
Aplicación	Módulos de E/S para aplicaciones de campo
Función de alimentación en serie	interfaz de bus de campo
Datos eléctricos	
Tensión de alimentación [V]	20...30 DC: (US; según MBTS/MBTP)
Consumo de corriente [mA]	300...3900; (US)
Clase de protección	III
alimentación del sensor US	
Corriente máxima total [A]	3,6

AL1342



Maestro IO-Link con interfaz Modbus TCP

IO-Link Master DL MB 8P IP67

Entradas/salidas	
Número total de entradas y salidas	16; (configurable)
Número de entradas y salidas	Número de entradas digitales: 16; Número de salidas digitales: 8
Entradas	
Número de entradas digitales	16; (IO-Link Port Class A: 8 x 2)
Punto de conmutación alto [V]	11...30
Punto de conmutación bajo [V]	0...5
Resistencia a cortocircuitos de las entradas digitales	si
Salidas	
Número de salidas digitales	8; (IO-Link Port Class A: 8 x 1)
Corriente máxima por cada salida [mA]	200
Protección contra cortocircuitos	si
Interfaces	
Interfaz de comunicación	Ethernet; IO-Link
Ethernet - Internet of Things	
Estándar de transmisión	10Base-T; 100Base-TX
Velocidad de transmisión	10; 100
Protocolo	TCP/IP JSON
Valores por defecto	Dirección IP: 169.254.x.x
	máscara de subred: 255.255.0.0
	dirección IP de la puerta de enlace: 0.0.0.0 dirección MAC: véase etiqueta
Ethernet - Modbus TCP	
Estándar de transmisión	10Base-T; 100Base-TX
Velocidad de transmisión	10; 100
Protocolo	Modbus TCP
Valores por defecto	Dirección IP: 192.168.1.250
	máscara de subred: 255.255.255.0
	dirección IP de la puerta de enlace: 0.0.0.0 dirección MAC: véase etiqueta
IO-Link Master	
Tipo de transmisión	COM 1 / COM 2 / COM 3
Revisión IO-Link	1.1
Número de puertos clase A	8

AL1342



Maestro IO-Link con interfaz Modbus TCP

IO-Link Master DL MB 8P IP67

Condiciones ambientales

Temperatura ambiente	[°C]	-25...60
Temperatura de almacenamiento	[°C]	-25...85
Humedad relativa del aire máx.	[%]	90
Grado de protección		IP 65; IP 66; IP 67
Grado de suciedad		2

Homologaciones / pruebas

CEM	EN 61000-6-2	
	EN 61000-6-4	
Resistencia a choques	DIN EN 60068-2-27	
Resistencia a vibraciones	DIN EN 60068-2-64 2009-04	
	DIN EN 60068-2-6 2008-10	

Datos mecánicos

Peso	[g]	403
Materiales		Carcasa: PA; conector hembra: latón niquelado

Notas

Notas	Para más información, consulte el manual de instrucciones.
Cantidad por pack	1 unid.

Conexión eléctrica - Conexión de proceso

IO-Link Port Class A X01...X08

1	Sensorversorgung (US) L+
2	Entrada digital
3	Sensorversorgung (US) L-
4	C/Q IO-Link
5	no utilizado

Conector: M12



Conexión eléctrica - alimentación de tensión

X31

1	+ 24 V DC (US)
2	no utilizado
3	GND (US)
4	no utilizado

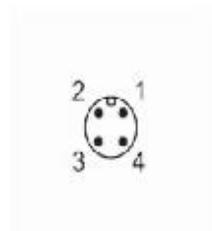
Conector: M12

AL1342



Maestro IO-Link con interfaz Modbus TCP

IO-Link Master DL MB BP IP67



Conexión eléctrica - Ethernet

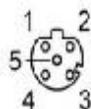
Modbus TCP X21, X22

1	TX +
2	RX +
3	TX -
4	RX -
5	no utilizado

IoT X23

1	TX +
2	RX +
3	TX -
4	RX -
5	no utilizado

Conector: M12



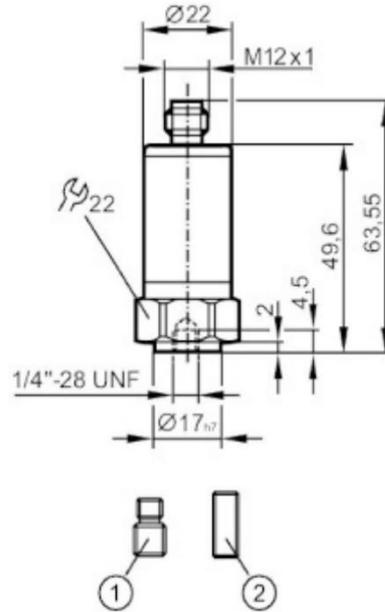
Anexo C: Hoja de datos sensor de vibración.

VVB001



Detector de vibraciones

VIBRATION IO-LINK SWITCH



- 1 tornillo prisionero 1/4"-28 UNF / M8
- 2 tornillo prisionero 1/4"-28 UNF



Características del producto		
Rango de frecuencia	[Hz]	2...10000
Principio de medición		capacitivo
v-RMS		
Rango de medición de vibraciones	[mm/s]	0...45
a-Peak / a-RMS		
Rango de medición de vibraciones		0...50 g 0...490,3 m/s ²
Campo de aplicación		
Aplicación		Máquinas industriales
Datos eléctricos		
Tensión de alimentación	[V]	18...30 DC
Consumo de corriente	[mA]	< 50
Resistencia de aislamiento mín.	[MΩ]	100; (500 V DC)
Clase de protección		III
Resistente a inversiones de polaridad		sí
Tipo de sensor		sistema microelectromecánico (MEMS)

VVB001



Detector de vibraciones

VIBRATION IO-LINK SWITCH

Entradas/salidas	
Número de entradas y salidas	Número de salidas digitales: 2
Salidas	
Señal de salida	señal de conmutación; IO-Link
Alimentación	PNP/NPN; (configurable)
Número de salidas digitales	2
Función de salida	normalmente abierto / normalmente cerrado
Caída de tensión máx. de la salida de conmutación DC [V]	2
Corriente máxima por cada salida [mA]	100
Protección contra cortocircuitos	sí
Tipo de protección contra cortocircuitos	pulsada
Resistente a sobrecargas	sí
Rango de configuración / medición	
Nota sobre el punto de conmutación SP	parametrizable
Rango de frecuencia [Hz]	2...10000
Principio de medición	capacitivo
Número de ejes de medición	1
v-RMS	
Rango de medición de vibraciones [mm/s]	0...45
Punto de conmutación SP [mm/s]	0,2...45
Punto de desconmutación rP [mm/s]	0...44,8
Incremento [mm/s]	0,2
a-Peak / a-RMS	
Rango de medición de vibraciones	0...50 g 0...490,3 m/s ²
Punto de conmutación SP	0,2...50 g 2...490,3 m/s ²
Punto de desconmutación rP	0...49,8 g 0...488,3 m/s ²
Incremento	0,2 g 2 m/s ²
Crest	
Rango de medición de vibraciones	1...50
Punto de conmutación SP	2...50
Punto de desconmutación rP	1...49
Incremento	1
Medición de temperatura	
Rango de medición [°C]	-30...80
Resolución [°C]	0,1
Punto de conmutación SP [°C]	-28...80
Punto de desconmutación rP [°C]	-30...78
En intervalos de [°C]	2

VVB001



Detector de vibraciones

VIBRATION IO-LINK SWITCH

Precisión / variaciones		
Precisión		$\leq 4 \text{ kHz } \pm 10 \%$; $\geq 4 \dots 10 \text{ kHz: } < 3 \text{ dB}$
Precisión	[K]	$\pm 2,5 \text{ K} + (0,2 \times (\text{Umgebungstemperatur} - \text{Oberflächentemperatur}))$
Desvío de la linealidad		2 %
Software / programación		
Opciones de parametrización		Software
Funciones de diagnóstico		autotest
Interfaces		
Interfaz de comunicación		IO-Link
Tipo de transmisión		COM2 (38,4 kBaud); COM3 (230,4 kBaud)
Revisión IO-Link		1.1
Norma SDCI		IEC 61131-9: 2013-07
Perfiles		Blob (0x0030); Measuring sensor (0x800A); Common Profile (0x4000)
Modo SIO		sí
Clase de puerto de maestro requerido		A
Datos del proceso analógicos		10
Datos del proceso binarios		2
Tiempo mínimo del ciclo de proceso	[ms]	3,6
Funciones IO-Link (acíclico)		filtro para v-RMS, a-RMS, a-Peak; Histéresis; ventana; Puntos de conmutación; lógica de conmutación
DeviceIDs compatibles	Modo de funcionamiento	DeviceID
	Status A (COM2)	1028
	Status B (COM2 / COM3)	1367
Nota		Para más información, consultar el archivo PDF IODD en "Descargas"
Condiciones ambientales		
Temperatura ambiente	[°C]	-30...80
Temperatura de almacenamiento	[°C]	-30...80
Grado de protección		IP 67; IP 68; IP 69K
Homologaciones / pruebas		
CEM	2014/30/EU	
	DIN EN 61000-6-2	
	DIN EN 61000-6-3	
Resistencia a choques	DIN EN 60068-2-27	50 g 11 ms
		500 g 1 ms
Resistencia a vibraciones	DIN EN 60068-2-6	20 g / 10...3000 Hz
MTTF	[años]	299
Homologación UL	Ta	-30...70 °C
	Número de homologación UL	L002

VVB001



Detector de vibraciones

VIBRATION IO-LINK SWITCH

Datos mecánicos

Peso	[g]	116
Tipo de montaje		tornillo prisionero
Materiales		Carcasa: inox (1.4404 / 316L)
Par de apriete	[Nm]	8

Accesorios

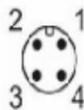
Componentes incluidos		tornillo prisionero: 1 x 1/4" 28 UNF / M8 tornillo prisionero: 1 x 1/4"28 UNF x 5/8" DIN916
-----------------------	--	--

Notas

Cantidad por pack		1 unid.
-------------------	--	---------

Conexión eléctrica

Conector: 1 x M12; codificación: A; Longitud máx. del cable: 20 m



1	L+
2	OUT2
3	L-
4	OUT1 salida de conmutación o IO-Link

Anexo D: Hoja de datos HMI.

Human
Machine
Interface

7" HMI PI3070i-N



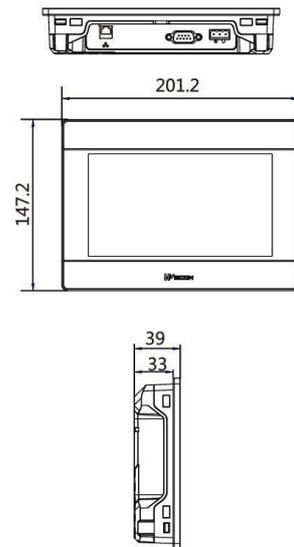
SPECIFICATIONS

	Model	PI3070i-N
Main	OS	Linux 4.9.11 QT based
	Processor	Cortex A7 528MHz
	Size	7"
Display	Screen	TFT
	Resolution	800*480
	Color	16,000k colors
	Brightness (cd/m ²)	250
	Backlight	LED
	Backlight Lifetime	50,000 hours
Storage	Touch Panel	High precision four-wire resistive
	Memory	128 MB
	Flash	128 MB
	SD Card Slot	--
RTC	USB Port	USB2.0 Host + USB2.0 Client
	Real-time clock	Yes
	Calendar	Yes
I/O Port	COM1	CN1:RS422/RS485 CN2: RS232
	COM2	--
	COM3	--
	Ethernet	x1
Power	CANopen	--
	Wi-Fi	--
	4G LTE	--
	Rated Power	< 8W
	Power Voltage	DC 24V
	Input range	DC 12 ~ 28V
Enclosure	Shell Color	Grey
	Shell Material	PC+ABS
	Overall Size (mm)	201.2W*147.2H*39.0D
	Mounting Size (mm)	192.0W*138.0H
	Mounting Method	Panel Mount
	Weight (Kg)	0.74
Environment	Working Temperature	-10 ~ 60°C
	Storage Temperature	-20 ~ 70°C
	Humidity	10 ~ 85%RH (Non-condensing)
	Vibration Resistance	10 ~ 25 Hz (X, Y, Z direction 2G/30 minutes)
	Cooling	Air Cooling
	Programming	PIStudio
Software	Remote Access	--
	Email Alarm	--
	IP Camera	--
	Audio Output	--
Certificates	Video Player	--
	IP Code	IP65 (Front panel)
	CE	CE Marked
	FCC	FCC Class A
	UL	--

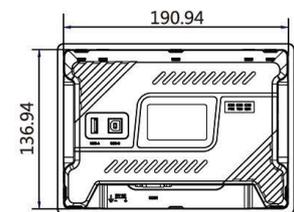
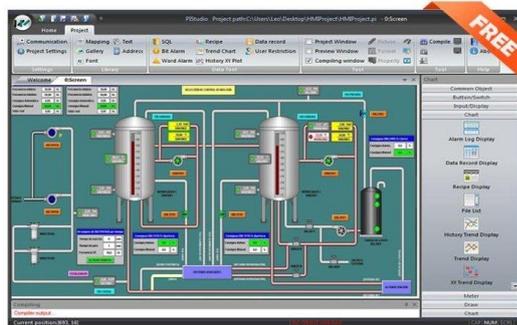
OVERVIEW



DIMENSION



SOFTWARE





Features

- **ATMega328P Processor**
 - **Memory**
 - AVR CPU at up to 16 MHz
 - 32KB Flash
 - 2KB SRAM
 - 1KB EEPROM
 - **Security**
 - Power On Reset (POR)
 - Brown Out Detection (BOD)
 - **Peripherals**
 - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
 - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
 - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
 - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
 - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
 - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
 - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
 - Six PWM channels
 - Interrupt and wake-up on pin change
- **ATMega16U2 Processor**
 - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
- **Memory**
 - 16 KB ISP Flash
 - 512B EEPROM
 - 512B SRAM
 - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
- **Power**
 - 2.7-5.5 volts



1 The Board

1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO as a tool for education purposes or industry-related tasks.

First entry to electronics: If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; Arduino UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

Industry-standard development board: Using the Arduino UNO board in industries, there are a range of companies using the UNO board as the brain for their PLC's.

Education purposes: Although the UNO board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

1.2 Related Products

- Starter Kit
- Tinkerkit Braccio Robot
- Example

2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

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

NOTE: In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected due to the extreme temperature conditions



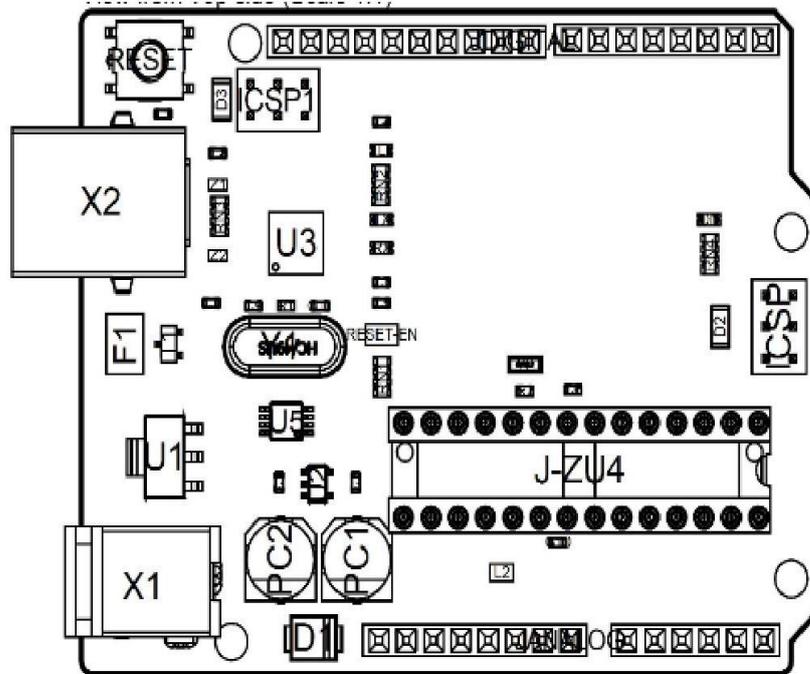
2.2 Power Consumption

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

3 Functional Overview

3.1 Board Topology

Top view



Board topology

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



5.1 JANALOG

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

5.2 JDIGITAL

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



MCP4725

12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6

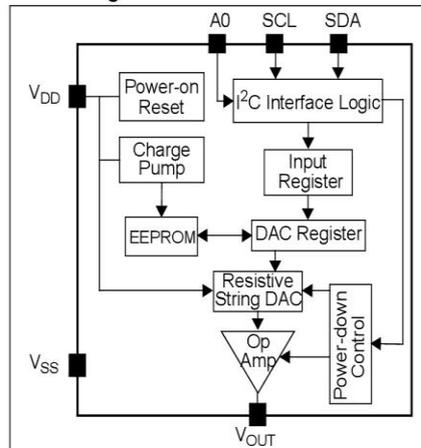
Features

- 12-Bit Resolution
- On-Board Non-Volatile Memory (EEPROM)
- ± 0.2 LSB DNL (typical)
- External A0 Address Pin
- Normal or Power-Down Mode
- Fast Settling Time: 6 μ s (typical)
- External Voltage Reference (V_{DD})
- Rail-to-Rail Output
- Low Power Consumption
- Single-Supply Operation: 2.7V to 5.5V
- I²C™ Interface:
 - Eight Available Addresses
 - Standard (100 kbps), Fast (400 kbps), and High-Speed (3.4 Mbps) Modes
- Small 6-lead SOT-23 Package
- Extended Temperature Range: -40°C to +125°C

Applications

- Set Point or Offset Trimming
- Sensor Calibration
- Closed-Loop Servo Control
- Low Power Portable Instrumentation
- PC Peripherals
- Data Acquisition Systems

Block Diagram



DESCRIPTION

The MCP4725 is a low-power, high accuracy, single channel, 12-bit buffered voltage output Digital-to-Analog Converter (DAC) with non-volatile memory (EEPROM). Its on-board precision output amplifier allows it to achieve rail-to-rail analog output swing.

The DAC input and configuration data can be programmed to the non-volatile memory (EEPROM) by the user using I²C interface command. The non-volatile memory feature enables the DAC device to hold the DAC input code during power-off time, and the DAC output is available immediately after power-up. This feature is very useful when the DAC device is used as a supporting device for other devices in the network.

The device includes a Power-On-Reset (POR) circuit to ensure reliable power-up and an on-board charge pump for the EEPROM programming voltage. The DAC reference is driven from V_{DD} directly. In power-down mode, the output amplifier can be configured to present a known low, medium, or high resistance output load.

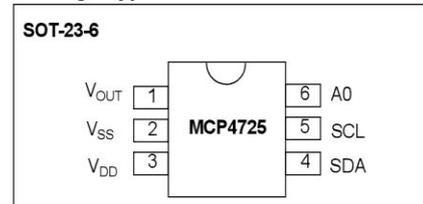
The MCP4725 has an external A0 address bit selection pin. This A0 pin can be tied to V_{DD} or V_{SS} of the user's application board.

The MCP4725 has a two-wire I²C™ compatible serial interface for standard (100 kHz), fast (400 kHz), or high speed (3.4 MHz) mode.

The MCP4725 is an ideal DAC device where design simplicity and small footprint is desired, and for applications requiring the DAC device settings to be saved during power-off time.

The device is available in a small 6-pin SOT-23 package.

Package Type



1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

V _{DD}	6.5V
All inputs and outputs w.r.t V _{SS}	-0.3V to V _{DD} +0.3V
Current at Input Pins	±2 mA
Current at Supply Pins	±50 mA
Current at Output Pins	±25 mA
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temp. with Power Applied	-55°C to +125°C
ESD protection on all pins	≥ 6 kV HBM, ≥ 400V MM
Maximum Junction Temperature (T _J)	+150°C

† **Notice:** Stresses above those listed under "Maximum ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at V_{DD} = + 2.7V to 5.5V, V_{SS} = 0V, R_L = 5 kΩ from V_{OUT} to V_{SS}, C_L = 100 pF, T_A = -40°C to +125°C. Typical values are at +25°C.

Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Power Requirements						
Operating Voltage	V _{DD}	2.7		5.5	V	
Supply Current	I _{DD}	—	210	400	μA	Digital input pins are grounded, Output pin (V _{OUT}) is not connected (unloaded), Code = 000h
Power-Down Current	I _{DDP}	—	0.06	2.0	μA	V _{DD} = 5.5V
Power-On-Reset Threshold Voltage	V _{POR}	—	2	—	V	
DC Accuracy						
Resolution	n	12	—	—	Bits	Code Range = 000h to FFFh
INL Error	INL	—	±2	±14.5	LSB	Note 1
DNL	DNL	-0.75	±0.2	±0.75	LSB	Note 1
Offset Error	V _{OS}		0.02	0.75	% of FSR	Code = 000h
Offset Error Drift	ΔV _{OS} /°C		±1	—	ppm/°C	-45°C to +25°C
			±2	—	ppm/°C	+25°C to +85°C
Gain Error	G _E	-2	-0.1	2	% of FSR	Code = FFFh, Offset error is not included.
Gain Error Drift	ΔG _E /°C	—	-3	—	ppm/°C	
Output Amplifier						
Phase Margin	p _M	—	66	—	Degree(°)	C _L = 400 pF, R _L = ∞
Capacitive Load Stability	C _L	—	—	1000	pF	R _L = 5 kΩ, Note 2
Slew Rate	SR	—	0.55	—	V/μs	
Short Circuit Current	I _{SC}	—	15	24	mA	V _{DD} = 5V, V _{OUT} = Grounded
Output Voltage Settling Time	T _S	—	6	—	μs	Note 3

Note 1: Test Code Range: 100 to 4000.

2: This parameter is ensure by design and not 100% tested.

3: Within 1/2 LSB of the final value when code changes from 1/4 to 3/4 (400h to C00h) of full scale range.

4: Logic state of external address selection pin (A0 pin).

MCP4725

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $V_{DD} = +2.7V$ to $5.5V$, $V_{SS} = 0V$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ from V_{OUT} to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$. Typical values are at $+25^\circ\text{C}$.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Power Up Time	T_{PU}	—	2.5	—	μs	$V_{DD} = 5V$
		—	5	—	μs	$V_{DD} = 3V$ Exit Power-down Mode, (Started from falling edge of ACK pulse)
DC Output Impedance	R_{OUT}	—	1	—	Ω	Normal mode (V_{OUT} to V_{SS})
		—	1	—	$\text{k}\Omega$	Power-Down Mode 1 (V_{OUT} to V_{SS})
		—	100	—	$\text{k}\Omega$	Power-Down Mode 2 (V_{OUT} to V_{SS})
		—	500	—	$\text{k}\Omega$	Power-Down Mode 3 (V_{OUT} to V_{SS})
Supply Voltage Power-up Ramp Rate for EEPROM loading	V_{DD_RAMP}	1	—	—	V/ms	Validation only.
Dynamic Performance						
Major Code Transition Glitch		—	45	—	nV-s	1 LSB change around major carry (from 800h to 7FFh) (Note 2)
Digital Feedthrough		—	<10	—	nV-s	Note 2
Digital Interface						
Output Low Voltage	V_{OL}	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 3\text{ mA}$
Input High Voltage (SDA and SCL Pins)	V_{IH}	$0.7V_{DD}$	—	—	V	
Input Low Voltage (SDA and SCL Pins)	V_{IL}	—	—	$0.3V_{DD}$	V	
Input High Voltage (A0 Pin)	V_{A0-Hi}	$0.8V_{DD}$	—	—		Note 4
Input Low Voltage (A0 Pin)	V_{A0-IL}	—	—	$0.2V_{DD}$		Note 4
Input Leakage	I_{LI}	—	—	± 1	μA	SCL = SDA = A0 = V_{SS} or SCL = SDA = A0 = V_{DD}
Pin Capacitance	C_{PIN}	—	—	3	pF	Note 2
EEPROM						
EEPROM Write Time	T_{WRITE}	—	25	50	ms	
Data Retention		—	200	—	Years	At $+25^\circ\text{C}$, (Note 2)
Endurance		1	—	—	Million Cycles	At $+25^\circ\text{C}$, (Note 2)

Note 1: Test Code Range: 100 to 4000.

2: This parameter is ensure by design and not 100% tested.

3: Within 1/2 LSB of the final value when code changes from 1/4 to 3/4 (400h to C00h) of full scale range.

4: Logic state of external address selection pin (A0 pin).

MCP4725

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = +2.7V$ to $+5.5V$, $V_{SS} = GND$.

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+125	°C	
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	°C	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	°C	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 6L-SOT-23	θ_{JA}	—	190.5	—	°C/W	

X9C102, X9C103, X9C104, X9C503

Digitally Controlled Potentiometer (XDCP™)

FN8222
Rev 4.00
Jan 11, 2019

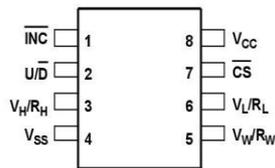
The X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 are digitally controlled (XDCP) potentiometers. The device consists of a resistor array, wiper switches, a control section, and nonvolatile memory. The wiper position is controlled by a three-wire interface.

The potentiometer is implemented by a resistor array composed of 99 resistive elements and a wiper switching network. Between each element and at either end are tap points accessible to the wiper terminal. The position of the wiper element is controlled by the \overline{CS} , $\overline{U/D}$, and \overline{INC} inputs. The position of the wiper can be stored in non-volatile memory and then be recalled upon a subsequent power-up operation.

The device can be used as a three-terminal potentiometer or as a two-terminal variable resistor in a wide variety of applications ranging from control to signal processing to parameter adjustment.

Pinout

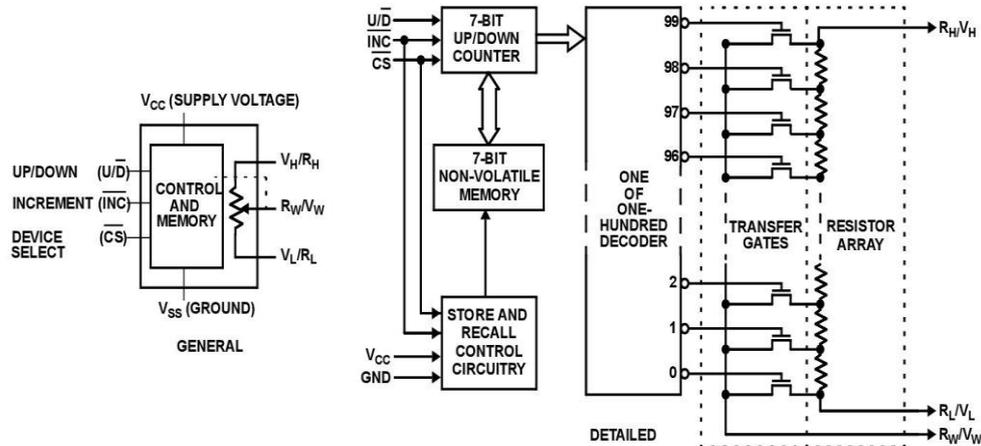
X9C102, X9C103, X9C104, X9C503
(8 LD SOIC, 8 LD PDIP)
TOP VIEW



Features

- Solid-State Potentiometer
- Three-Wire Serial Interface
- 100 Wiper Tap Points
 - Wiper Position Stored in Non-volatile Memory and Recalled on Power-up
- 99 Resistive Elements
 - Temperature Compensated
 - End-to-End Resistance, $\pm 20\%$
 - Terminal Voltages, $\pm 5V$
- Low Power CMOS
 - $V_{CC} = 5V$
 - Active Current, 3mA max.
 - Standby Current, 750 μA max.
- High Reliability
 - Endurance, 100,000 Data Changes per Bit
 - Register Data Retention, 100 years
- X9C102 = 1k Ω
- X9C103 = 10k Ω
- X9C503 = 50k Ω
- X9C104 = 100k Ω
- Packages
 - 8 Ld SOIC
 - 8 Ld PDIP
- Pb-Free Available (RoHS Compliant)

Block Diagram



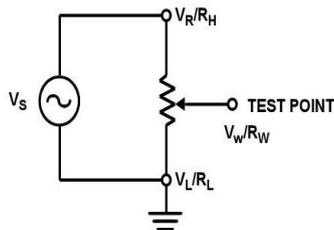
Electrical Specifications Over recommended operating conditions unless otherwise stated. (Continued)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			MIN	TYP (Note 7)	MAX	
AC OPERATION CHARACTERISTICS						
t_{CI}	\overline{CS} to \overline{INC} Setup		100			ns
t_{ID}	\overline{INC} HIGH to U/\overline{D} Change		100			ns
t_{DI}	U/\overline{D} to \overline{INC} Setup		2.9			μ s
t_{IL}	\overline{INC} LOW Period		1			μ s
t_{IH}	\overline{INC} HIGH Period		1			μ s
t_{IC}	\overline{INC} Inactive to \overline{CS} Inactive		1			μ s
t_{CPH}	\overline{CS} Deselect Time (STORE)		20			ms
t_{CPH}	\overline{CS} Deselect Time (NO STORE)		100			ns
$t_{W}^{(5)}$	\overline{INC} to $V_{W/RW}$ Change			100		μ s
t_{CYC}	\overline{INC} Cycle Time		2			μ s
t_{CYC}	\overline{INC} Input Rise and Fall Time				500	μ s
t_R, t_F	Power-up to Wiper Stable (Note 8)			500		μ s
t_{PU}	V_{CC} Power-up Rate (Note 8)		0.2		50	V/ms

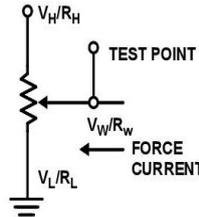
NOTES:

- Absolute linearity is utilized to determine actual wiper voltage vs expected voltage = $[V_{W(n)(actual)} - V_{W(n)(expected)}] = \pm 1$ MI Maximum.
- Relative linearity is a measure of the error in step size between taps = $V_{W(n+1)} - [V_{W(n)} + MI] = +0.2$ MI.
- 1 MI = Minimum Increment = $R_{TOT}/99$.
- Typical values are for $T_A = +25^\circ\text{C}$ and nominal supply voltage.
- This parameter is not 100% tested.

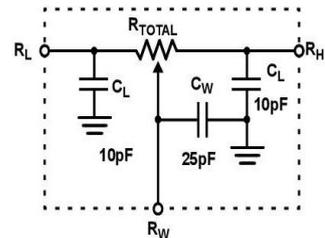
Test Circuit #1



Test Circuit #2



Circuit #3 SPICE Macro Model



Endurance and Data Retention

PARAMETER	MIN	UNIT
Medium Endurance	100,000	Data changes per bit per register
Data Retention	100	years

Power-up and Down Requirements

At all times, voltages on the potentiometer pins must be less than $\pm V_{CC}$. The recall of the wiper position from non-volatile memory is not in effect until the V_{CC} supply reaches its final value. The V_{CC} ramp rate specification is always in effect.

AC Conditions of Test

Input Pulse Levels	0V to 3V
Input Rise and Fall Times	10ns
Input Reference Levels	1.5V

X9C102, X9C103, X9C104, X9C503

Absolute Maximum Ratings

Voltage on \overline{CS} , \overline{INC} , U/\overline{D} and V_{CC} with Respect to V_{SS}	-1V to +7V
Voltage on V_H/R_H and V_L/R_L Referenced to V_{SS}	-8V to +8V
$\Delta V = V_H/R_H - V_L/R_L $	
X9C102	4V
X9C103, X9C104, and X9C503	10V
I_W (10s)	8.8mA
Power Rating	
X9C102	16mW
X9C103 X9C104, and X9C503	10mW

Thermal Information

Temperature Under Bias	-65°C to +135°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Pb-Free Reflow Profile	TB493
*Pb-free PDIPs can be used for through-hole wave solder processing only. They are not intended for use in Reflow solder processing applications.	

Recommended Operating Conditions

Commercial Temperature Range	0°C to +70°C
Industrial Temperature Range	-40°C to +85°C
Supply Voltage Range (V_{CC})	5V \pm 10%

CAUTION: Do not operate at or near the maximum ratings listed for extended periods of time. Exposure to such conditions may adversely impact product reliability and result in failures not covered by warranty.

Electrical Specifications Over recommended operating conditions unless otherwise stated.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			MIN	TYP (Note 7)	MAX	
POTENTIOMETER CHARACTERISTICS						
R_{TOTAL}	End-to-End Resistance Variation		-20		+20	%
$V_{VH/RH}$	V_H Terminal Voltage		-5		+5	V
$V_{VL/RL}$	V_L Terminal Voltage		-5		+5	V
I_W	Wiper Current		-4.4		4.4	mA
R_W	Wiper Resistance	Wiper Current = \pm 1mA		40	100	Ω
	Resistor Noise (Note 8)	Ref 1kHz		-120		dBV
	Charge Pump Noise (Note 8)	@ 850kHz		20		mV _{RMS}
	Resolution			1		%
	Absolute Linearity (Note 4)	$V_{W(n)(actual)} - V_{W(n)(EXPECTED)}$	-1		+1	MI (Note 6)
	Relative Linearity (Note 5)	$V_{W(n+1)(ACTUAL)} - [V_{W(n)} + MI]$	-0.2		+0.2	MI (Note 6)
	R_{TOTAL} Temperature Coefficient	X9C103, X9C503, X9C104		\pm 300 (Note 8)		ppm/ $^{\circ}$ C
	R_{TOTAL} Temperature Coefficient	X9C102		\pm 600 (Note 8)		ppm/ $^{\circ}$ C
	Ratiometric Temperature Coefficient		\pm 20		ppm/ $^{\circ}$ C	
$C_H/C_L/C_W$ (Note 8)	Potentiometer Capacitances	See "Circuit #3 SPICE Macro Model" on page 5.		10/10/25		pF
DC OPERATING CHARACTERISTICS						
I_{CC}	V_{CC} Active Current	$\overline{CS} = V_{IL}$, $U/\overline{D} = V_{IL}$ or V_{IH} and $\overline{INC} = 0.4V$ to $2.4V$ at Max t_{CYC}		1	3	mA
I_{SB}	Standby Supply Current	$\overline{CS} = V_{CC} - 0.3V$, U/\overline{D} and $\overline{INC} = V_{SS}$ or $V_{CC} - 0.3V$		200	750	μ A
I_{LI}	\overline{CS} , \overline{INC} , U/\overline{D} Input Leakage Current	$V_{IN} = V_{SS}$ to V_{CC}			\pm 10	μ A
V_{IH}	\overline{CS} , \overline{INC} , U/\overline{D} input HIGH Voltage		2			V
V_{IL}	\overline{CS} , \overline{INC} , U/\overline{D} input LOW Voltage				0.8	V
C_{IN}	\overline{CS} , \overline{INC} , U/\overline{D} Input Capacitance (Note 8)	$V_{CC} = 5V$, $V_{IN} = V_{SS}$, $T_A = +25^{\circ}C$, $f = 1MHz$		10		pF

Pin Descriptions

PIN NUMBER	PIN NAME	DESCRIPTION
1	$\overline{\text{INC}}$	INCREMENT The $\overline{\text{INC}}$ input is negative-edge triggered. Toggling $\overline{\text{INC}}$ will move the wiper and either increment or decrement the counter in the direction indicated by the logic level on the $\overline{\text{U/D}}$ input.
2	$\overline{\text{U/D}}$	UP/DOWN The $\overline{\text{U/D}}$ input controls the direction of the wiper movement and whether the counter is incremented or decremented.
3	$\text{V}_\text{H}/\text{R}_\text{H}$	$\text{V}_\text{H}/\text{R}_\text{H}$ The high ($\text{V}_\text{H}/\text{R}_\text{H}$) terminals of the X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 are equivalent to the fixed terminals of a mechanical potentiometer. The minimum voltage is -5V and the maximum is +5V. The terminology of $\text{V}_\text{H}/\text{R}_\text{H}$ and $\text{V}_\text{L}/\text{R}_\text{L}$ references the relative position of the terminal in relation to wiper movement direction selected by the $\overline{\text{U/D}}$ input and not the voltage potential on the terminal.
4	V_SS	V_SS
5	$\text{V}_\text{W}/\text{R}_\text{W}$	$\text{V}_\text{W}/\text{R}_\text{W}$ $\text{V}_\text{W}/\text{R}_\text{W}$ is the wiper terminal and is equivalent to the movable terminal of a mechanical potentiometer. The position of the wiper within the array is determined by the control inputs. The wiper terminal series resistance is typically 40 Ω .
6	$\text{R}_\text{L}/\text{V}_\text{L}$	$\text{R}_\text{L}/\text{V}_\text{L}$ The low ($\text{V}_\text{L}/\text{R}_\text{L}$) terminals of the X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 are equivalent to the fixed terminals of a mechanical potentiometer. The minimum voltage is -5V and the maximum is +5V. The terminology of $\text{V}_\text{H}/\text{R}_\text{H}$ and $\text{V}_\text{L}/\text{R}_\text{L}$ references the relative position of the terminal in relation to wiper movement direction selected by the $\overline{\text{U/D}}$ input and not the voltage potential on the terminal.
7	$\overline{\text{CS}}$	$\overline{\text{CS}}$ The device is selected when the $\overline{\text{CS}}$ input is LOW. The current counter value is stored in non-volatile memory when $\overline{\text{CS}}$ is returned HIGH while the $\overline{\text{INC}}$ input is also HIGH. After the store operation is complete the X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 device will be placed in the low power standby mode until the device is selected once again.
8	V_CC	V_CC



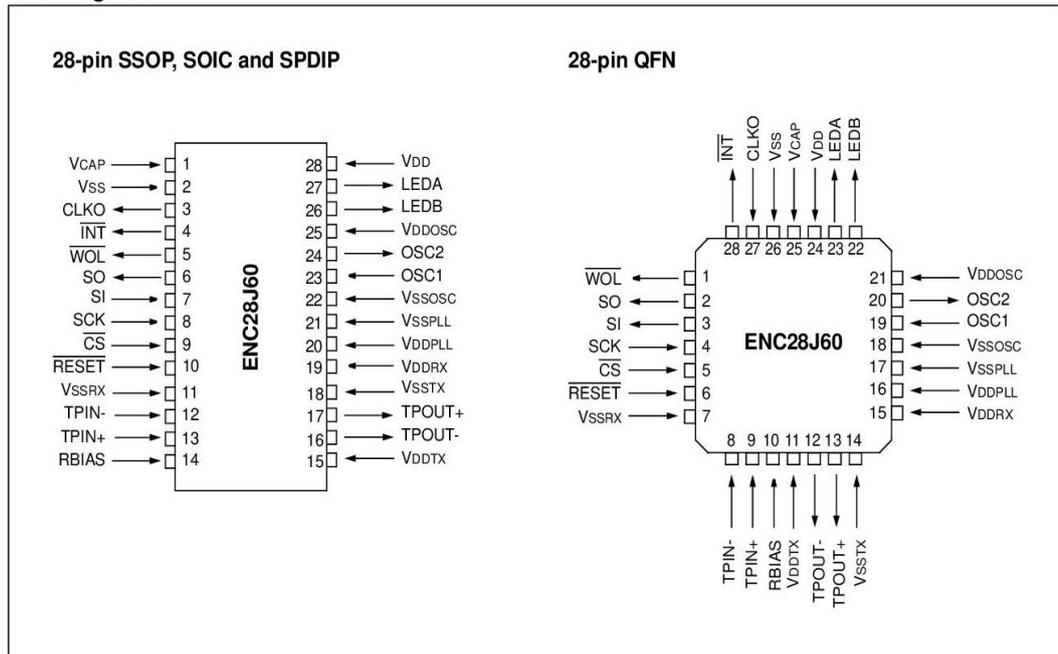
ENC28J60

Stand-Alone Ethernet Controller with SPI™ Product Brief

Features

- IEEE 802.3 Compatible Ethernet Controller
- Integrated MAC and 10BASE-T PHY
- 8-Kbyte Transmit/Receive Packet Dual Port Buffer SRAM
- Receiver and Collision Squelch Circuit
- Supports one 10BASE-T Port with Automatic Polarity Detection and Correction
- Programmable Automatic Retransmit on Collision
- Programmable Padding and CRC Generation
- Programmable Automatic Rejection of Erroneous Packets
- 10 Mbit/s SPI™ Interface
- Buffer:
 - Configurable transmit/receive buffer size
 - Hardware managed circular receive FIFO
 - Byte-wide random and sequential access
 - Internal DMA for fast memory copying
 - Hardware assisted IP checksum calculation
- MAC:
 - Support for Unicast, Multicast and Broadcast packets
 - Programmable pattern matching
 - Programmable wake-up on multiple packet formats, including Magic Packet®, Unicast, Multicast, Broadcast, specific packet match or any packet
 - Loopback mode
- PHY:
 - Wave shaping output filter
 - Loopback mode
- Operational:
 - Outputs for 2 LED indicators
 - Transmit and receive interrupts
 - 25 MHz clock
 - Clock out pin with programmable prescaler
 - Operating voltage range of 3.14V to 3.45V
 - Temperature range: -40°C to +85°C Industrial, 0°C to +70°C Commercial (SSOP only)
- 28-pin SSOP, SOIC, SPDIP and QFN packages

Pin Diagrams



ENC28J60

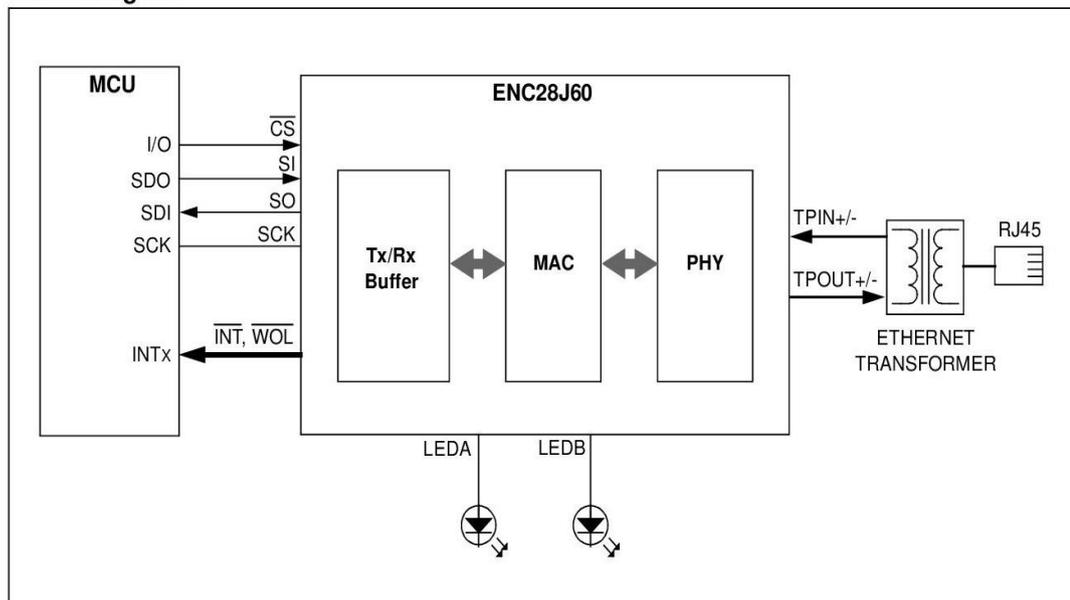
Description

The Microchip Technology Inc. ENC28J60 is a stand-alone Ethernet controller with an industry standard Serial Peripheral Interface (SPI™). It is designed to serve as an Ethernet network interface for any microcontroller equipped with SPI.

The ENC28J60 meets all of the specifications for IEEE 802.3. It incorporates a number of packet filtering schemes to limit incoming packets. It also provides internal DMA for fast data throughput and support for hardware assisted IP checksum calculation.

Communication with the microcontroller is implemented via SPI, with data rates up to 10 Mbit/s. Dedicated pins are used for LED link and activity indication and for transmit and receive interrupts.

Block Diagram



Anexo I: Programación modulo de generación.

```
#include <EtherCard.h>
#include <Modbus.h>
#include <ModbusIP_ENC28J60.h>

#include <Adafruit_MCP4725.h>

#include <DigiPotX9Cxxx.h>

Adafruit_MCP4725 dac;

//Modbus Registers Offsets (0-9999)
const int SENSOR_IREG = 1;
const int LAMP1_COIL = 2;
const int ACTIVADOR_COIL = 3;
const int DESACTIVADOR_ISTS = 5;
const int POTENCIOMETRO_IREG = 10;

//////// PARO DESDE PLC

int frecuencia = 0;
int paro = 0;
int desactivador = 0;

///// Potenciometro Digital
DigiPot pot(2,3,4); //Pines Arduino
int input, i;
int potenciometro;
int activador = 0;//Variable desde PLC
int amplitud = 0;

int full_array[] =
{ 1, 0, 0, 488, 328, 231, 167, 120, 85, 59, 37,
  20, 440, 398, 361, 355, 327, 300, 275, 252, 230,
  213, 196, 180, 166, 154, 142, 130, 120, 111, 102,
  94, 86, 78, 71, 65, 59, 54, 48, 43, 37,
  33, 28, 24, 20, 16, 12, 9, 166, 160, 154,
  148, 142, 136, 131, 125, 120, 116, 111, 107, 102,
```

4095,	4095,	4095,	4095,	4094,	4092,	4090,	4088,
4086,	4084,	4081,	4077,	4074,	4070,	4066,	4061,
4057,	4052,	4046,	4041,	4035,	4028,	4022,	4015,
4008,	4000,	3993,	3985,	3976,	3968,	3959,	3950,
3940,	3930,	3920,	3910,	3899,	3888,	3877,	3866,
3854,	3842,	3830,	3817,	3805,	3792,	3778,	3765,
3751,	3737,	3722,	3708,	3693,	3678,	3663,	3647,
3631,	3615,	3599,	3582,	3565,	3548,	3531,	3514,
3496,	3478,	3460,	3442,	3423,	3405,	3386,	3367,
3347,	3328,	3308,	3288,	3268,	3248,	3227,	3207,
3186,	3165,	3144,	3122,	3101,	3079,	3057,	3036,
3013,	2991,	2969,	2946,	2924,	2901,	2878,	2855,
2832,	2808,	2785,	2762,	2738,	2714,	2690,	2667,
2643,	2618,	2594,	2570,	2546,	2521,	2497,	2472,
2448,	2423,	2398,	2373,	2349,	2324,	2299,	2274,
2249,	2224,	2199,	2174,	2148,	2123,	2098,	2073,
2048,	2023,	1998,	1973,	1948,	1922,	1897,	1872,
1847,	1822,	1797,	1772,	1747,	1723,	1698,	1673,
1648,	1624,	1599,	1575,	1550,	1526,	1502,	1478,
1453,	1429,	1406,	1382,	1358,	1334,	1311,	1288,
1264,	1241,	1218,	1195,	1172,	1150,	1127,	1105,
1083,	1060,	1039,	1017,	995,	974,	952,	931,
910,	889,	869,	848,	828,	808,	788,	768,
749,	729,	710,	691,	673,	654,	636,	618,
600,	582,	565,	548,	531,	514,	497,	481,
465,	449,	433,	418,	403,	388,	374,	359,
345,	331,	318,	304,	291,	279,	266,	254,
242,	230,	219,	208,	197,	186,	176,	166,
156,	146,	137,	128,	120,	111,	103,	96,
88,	81,	74,	68,	61,	55,	50,	44,
39,	35,	30,	26,	22,	19,	15,	12,
10,	8,	6,	4,	2,	1,	1,	0,
0,	0,	1,	1,	2,	4,	6,	8,
10,	12,	15,	19,	22,	26,	30,	35,
39,	44,	50,	55,	61,	68,	74,	81,
88,	96,	103,	111,	120,	128,	137,	146,
156,	166,	176,	186,	197,	208,	219,	230,
242,	254,	266,	279,	291,	304,	318,	331,

```
    98,  94,  90,  86,  82,  79,  74,  71,  68,  65,  
    62,  59,  56,  54,  51,  48,  45,  43,  40,  37 };  
    // 81 datos : 81 frecuencias (0-80)Hz
```

```
ModbusIP mb;
```

```
long ts;
```

```
const PROGMEM uint16_t DACLookup_FullSine_6Bit[64] =  
{  
    2048, 2248, 2447, 2642, 2831, 3013, 3185, 3346,  
    3495, 3630, 3750, 3853, 3939, 4007, 4056, 4085,  
    4095, 4085, 4056, 4007, 3939, 3853, 3750, 3630,  
    3495, 3346, 3185, 3013, 2831, 2642, 2447, 2248,  
    2048, 1847, 1648, 1453, 1264, 1082,  910,  749,  
    600,  465,  345,  242,  156,   88,   39,   10,  
    0,   10,   39,   88,  156,  242,  345,  465,  
    600,  749,  910, 1082, 1264, 1453, 1648, 1847  
};
```

```
const PROGMEM uint16_t DACLookup_FullSine_9Bit[512] =  
{  
    2048, 2073, 2098, 2123, 2148, 2174, 2199, 2224,  
    2249, 2274, 2299, 2324, 2349, 2373, 2398, 2423,  
    2448, 2472, 2497, 2521, 2546, 2570, 2594, 2618,  
    2643, 2667, 2690, 2714, 2738, 2762, 2785, 2808,  
    2832, 2855, 2878, 2901, 2924, 2946, 2969, 2991,  
    3013, 3036, 3057, 3079, 3101, 3122, 3144, 3165,  
    3186, 3207, 3227, 3248, 3268, 3288, 3308, 3328,  
    3347, 3367, 3386, 3405, 3423, 3442, 3460, 3478,  
    3496, 3514, 3531, 3548, 3565, 3582, 3599, 3615,  
    3631, 3647, 3663, 3678, 3693, 3708, 3722, 3737,  
    3751, 3765, 3778, 3792, 3805, 3817, 3830, 3842,  
    3854, 3866, 3877, 3888, 3899, 3910, 3920, 3930,  
    3940, 3950, 3959, 3968, 3976, 3985, 3993, 4000,  
    4008, 4015, 4022, 4028, 4035, 4041, 4046, 4052,  
    4057, 4061, 4066, 4070, 4074, 4077, 4081, 4084,  
    4086, 4088, 4090, 4092, 4094, 4095, 4095, 4095,  
};
```

```

    345, 359, 374, 388, 403, 418, 433, 449,
    465, 481, 497, 514, 531, 548, 565, 582,
    600, 618, 636, 654, 673, 691, 710, 729,
    749, 768, 788, 808, 828, 848, 869, 889,
    910, 931, 952, 974, 995, 1017, 1039, 1060,
    1083, 1105, 1127, 1150, 1172, 1195, 1218, 1241,
    1264, 1288, 1311, 1334, 1358, 1382, 1406, 1429,
    1453, 1478, 1502, 1526, 1550, 1575, 1599, 1624,
    1648, 1673, 1698, 1723, 1747, 1772, 1797, 1822,
    1847, 1872, 1897, 1922, 1948, 1973, 1998, 2023
};

const PROGMEM uint16_t DACLookup_FullSine_7Bit[128] =
{
    2048, 2148, 2248, 2348, 2447, 2545, 2642, 2737,
    2831, 2923, 3013, 3100, 3185, 3267, 3346, 3423,
    3495, 3565, 3630, 3692, 3750, 3804, 3853, 3898,
    3939, 3975, 4007, 4034, 4056, 4073, 4085, 4093,
    4095, 4093, 4085, 4073, 4056, 4034, 4007, 3975,
    3939, 3898, 3853, 3804, 3750, 3692, 3630, 3565,
    3495, 3423, 3346, 3267, 3185, 3100, 3013, 2923,
    2831, 2737, 2642, 2545, 2447, 2348, 2248, 2148,
    2048, 1947, 1847, 1747, 1648, 1550, 1453, 1358,
    1264, 1172, 1082, 995, 910, 828, 749, 672,
    600, 530, 465, 403, 345, 291, 242, 197,
    156, 120, 88, 61, 39, 22, 10, 2,
    0, 2, 10, 22, 39, 61, 88, 120,
    156, 197, 242, 291, 345, 403, 465, 530,
    600, 672, 749, 828, 910, 995, 1082, 1172,
    1264, 1358, 1453, 1550, 1648, 1747, 1847, 1947
};

void setup() {

    // The media access control (ethernet hardware) address
    byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };

```

```

// The IP address for the shield
byte ip[] = { 192, 168, 100, 20 };
//Config Modbus IP
mb.config(mac, ip);
mb.addHreg(SENSOR_IREG);
mb.addCoil(LAMP1_COIL);
mb.addCoil(ACTIVADOR_COIL);
mb.addHreg(POTENCIOMETRO_IREG);
mb.addIsts(DESACTIVADOR_ISTS);

dac.begin(0x60); //My ADDR pin is connected to GND
}

void loop() {
  mb.task();

  frecuencia = mb.Hreg(SENSOR_IREG);
  paro = mb.Coil(LAMP1_COIL);
  activador = mb.Coil(ACTIVADOR_COIL);
  potenciometro = mb.Hreg(POTENCIOMETRO_IREG);

  uint16_t i;
  if(paro == 0){
    if (frecuencia >= 48){
      for (i = 0; i < 64; i++){
        dac.setVoltage(pgm_read_word(&(DACLookup_FullSine_6Bit[i])), false);
        delayMicroseconds(full_array[frecuencia]);
      }
    }else if(frecuencia < 48 && frecuencia >=12){
      for (i = 0; i < 128; i++)
      {
        dac.setVoltage(pgm_read_word(&(DACLookup_FullSine_7Bit[i])), false);
        delayMicroseconds(full_array[frecuencia]);
      }
    }else{
      for (i = 0; i < 512; i++){
        dac.setVoltage(pgm_read_word(&(DACLookup_FullSine_9Bit[i])), false);
        delayMicroseconds(full_array[frecuencia]);
      }
    }
  }

  if (activador == 1){
    for (int i=0; i<101; i++) {
      pot.decrease(1);
    }

    for (int i=0; i<potenciometro; i++) {
      pot.increase(1);
    }
  }
}

```

Anexo J: Programación PLC.

PROGRAMAR

POU

Tarea maestra

1 - Nuevo POU

Tarea maestra

Rung0



Variables utilizadas:

%I0.0	PARO	
%I0.1	INICIO	
%M1	M1	Indicador inicio
%M5	M5	Indicador Paro

Rung1



Variables utilizadas:

%I0.0	PARO	
%M1	M1	Indicador inicio
%M5	M5	Indicador Paro

Rung2



Leyenda:

1 %QN302.0.0

Variables utilizadas:

%I0.2 EMERGENCIA

%M1 M1 Indicador inicio

%M5 M5 Indicador Paro

%QN302.0.0 PARO_SLAVE

Rung3



Leyenda:

1 %MW11 := %IWN300.0.2

2 %MW15 := %IWN300.0.2

3 %MW20 := %MW11 * 10

4 %MW28 := (%MW15 * 10) / 98

5 %MW33 := %MW28 * 10

Variables utilizadas:

%I0.0 PARO

%IWN300.0.2 Choque(a_Peak)

%M1 M1 Indicador inicio

%MW11

%MW15

%MW20

%MW33

Rung4



Leyenda:

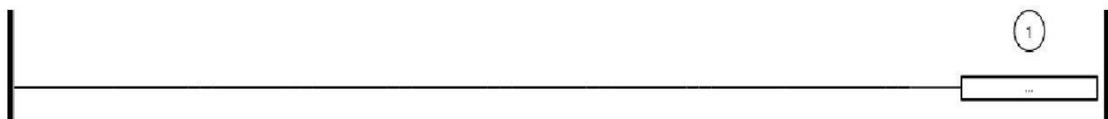
```
1 %MF40 := INT_TO_REAL(%MW11)
```

Variables utilizadas:

%MF40

%MW11

Rung5



Leyenda:

```
1 %MF30 := %MF40 * 0.1
```

Variables utilizadas:

%MF30

%MF40

Rung6



Leyenda:

```
1 %MF46 := INT_TO_REAL(%MW15)
```

Variables utilizadas:

%MF46

%MW15

Rung7

Comentario: Valor real del sensor



Leyenda:

```
1 %MF47 := (%MF46 * 0.1) / 9.8
```

Variables utilizadas:

%MF46

Rung8

Comentario: Bloque de entrada de frecuencia



Leyenda:

1 %MW60 := %MW50

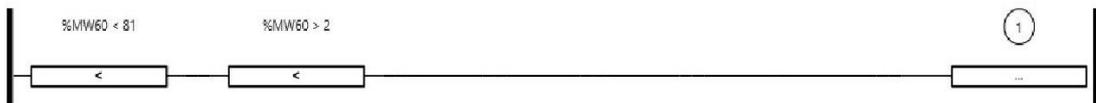
Variables utilizadas:

%MW50

%MW60

Rung9

Comentario: Limites de frecuencia



Leyenda:

1 %MW70 := %MW50

Variables utilizadas:

%MW50

%MW60

%MW70

Rung10

Comentario: Envio al Esclavo Arduino



Leyenda:

1 %QWN301.0.0 := %MW70

Variables utilizadas:

%I0.0 PARO

%M1 M1 Indicador inicio

%MW70

%QWN301.0.0 FREC_SLAVE

Rung11



Leyenda:

1 %TM0.Q

Variables utilizadas:

%M43 M_RESET_ARD Reestablecer valor

%TM0.Q TEMP Tiempo activar continuamente Memoria Reset

Rung12



Variables utilizadas:

%M9 BOTONENVIO
%M19 FLANCO

Rung13

Comentario: Bloque de tiempo, usado para resetear valor de la memoria a la que se envia la frecuencia al arduino



Leyenda:

1 %TMO.Q

Variables utilizadas:

%TMO
%TMO.Q TEMP Tiempo activar continuamente Memoria Reset

Rung14

Comentario: Bloque tiempo auxiliar



Variables utilizadas:

%S6 SB_TB1S Base de tiempo de 1 s generada por un reloj interno
%TM1

Rung15



Leyenda:

1 %MW81 := %MW80

Variables utilizadas:

%MW80
%MW81

Rung16



Leyenda:

1 %MW82 := %MW80

2 %TM1.Q

Variables utilizadas:

%MW80

%MW82

%TM1.Q

Rung17



Leyenda:

1 %MW82 < %MW81

Variables utilizadas:

%M16

%MW81

%MW82

Rung18



Leyenda:

1 %MW82 > %MW81

Variables utilizadas:

%M17

%MW81

%MW82

Rung19



Variables utilizadas:

%M12

M12

%TM2

Auxiliar_Activador

Rung20



Variables utilizadas:

%M9 BOTONENVIO
%M12 M12 Auxiliar_Activador

Rung21



Leyenda:

1 %QN303.0.0

Variables utilizadas:

%M12 M12 Auxiliar_Activador
%QN303.0.0 ACTIVADOR_SLAVE

Rung22



Leyenda:

1 %QWN304.0.0 := %MW80

Variables utilizadas:

%I0.0 PARO
%M1 M1 Indicador inicio
%MW80
%QWN304.0.0 POT_SLAVE

Rung23



Variables utilizadas:

%M93 RESET
%MW50
%MW80

Rung24



Variables utilizadas:

%I0.2	EMERGENCIA	
%M1	M1	Indicador inicio
%Q0.1	INDICADOR_INICIO	

Rung25



Variables utilizadas:

%I0.2	EMERGENCIA	
%M5	M5	Indicador Paro
%Q0.0	INDICADOR_PARO	FRECUENCIA



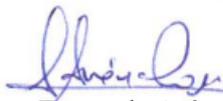
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 28/ 04 / 2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: Israel Alexis Marcatoma López Mildred Korina Jaramillo Vásquez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Ingeniería en Electrónica y Automatización
Título a optar: Ingeniero/a en Electrónica y Automatización
f. Analista de Biblioteca responsable:  Ing. Fernanda Arévalo M.

