



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS, MEDIANTE IOT UTILIZANDO UN  
MICROCONTROLADOR PARA EL MONITOREO DE MÁQUINAS  
ROTATIVAS”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORAS:**

**MARÍA FERNANDA TENE GUAPI**

**ROSA ELIZABETH TENE GUAPI**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS, MEDIANTE IOT UTILIZANDO UN  
MICROCONTROLADOR PARA EL MONITOREO DE MÁQUINAS  
ROTATIVAS”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORAS: MARÍA FERNANDA TENE GUAPI**

**ROSA ELIZABETH TENE GUAPI**

**DIRECTOR: Ing. FÉLIX ANTONIO GARCÍA MORA**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **María Fernanda Tene Guapi & Rosa Elizabeth Tene Guapi**

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 las Autoras.

Nosotras, MARÍA FERNANDA TENE GUAPI y ROSA ELIZABETH TENE GUAPI declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 25 de mayo del 2022



---

María Fernanda Tene Guapi

C.I: 060477173-3




---

Rosa Elizabeth Tene Guapi

CI: 060477175-8

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS, MEDIANTE IOT UTILIZANDO UN MICROCONTROLADOR PARA EL MONITOREO DE MÁQUINAS ROTATIVAS**”, realizado por las señoritas: **MARÍA FERNANDA TENE GUAPI y ROSA ELIZABETH TENE GUAPI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-05-25
Ing. Félix Antonio García Mora <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-05-25
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>		2022-05-25

## **DEDICATORIA**

El presente Trabajo de Integración Curricular lo dedico con todo mi amor y cariño a mis amados padres, Marco Tene y Sonia Guapi por su enorme sacrificio, esfuerzo y por creer en mis capacidades, por darme la mejor herencia que puede existir en la vida, una carrera universitaria la cual será un gran sustento para mi futuro, a mis hermanos Elizabeth, Marcos y Carlos David por su apoyo constante e incondicional, sin olvidarme de mis abuelitas Leonor y Gladys, las cuales compartieron momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestas a escucharme y ayudarme en todo momento.

**María Fernanda**

Dedico el presente trabajo a mis padres, Sonia y Marco, por ser los pilares de mi vida, ser todo lo que un hijo desea tener, y a mis queridos hermanos María Fernanda, Marcos Israel y Carlos David por ser siempre mis aliados y lo que más quiero en la vida.

**Rosa Elizabeth**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por bendecirme y guiarme a lo largo de mi existencia, a mis padres, hermanos, familia y amigos por confiar y creer en mis sueños de ser una mejor persona.

También expreso mi agradecimiento a todos los docentes de la Escuela de Mantenimiento Industrial, por haber compartido sus conocimientos, haciendo que pudiera crecer como persona y profesional.

De manera especial, a los Ingenieros Félix García y Marco Santillán tutores del Trabajo de Integración Curricular, quienes me han guiado con paciencia y profesionalismo, el cual me ha permitido llevar a culminar con éxito esta etapa de mi vida.

**María Fernanda**

Agradezco el presente trabajo en primer lugar a Dios y a la Virgen por regalarnos la vida y ayudarnos a muchos a seguir adelante junto a nuestros seres queridos.

A mi familia y amigos que fueron como mis hermanos en ciertos momentos, por ayudarme a salir siempre del estrés y la rutina, por sacarme una sonrisa en momentos complicados y no complicados, y por seguir siempre apoyándome con sus palabras de aliento.

A los docentes de la Escuela de Mantenimiento Industrial. En especial quiero agradecer al ingeniero Félix Antonio García Mora quien sin conocernos personalmente aceptó ser nuestro director, nos ha guiado en cada etapa del Trabajo de Integración Curricular, también al ingeniero Marco Santillán quien nos ha colaborado como tutor con la culminación del presente proyecto.

**Rosa Elizabeth**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Sistema de adquisición de datos.....	6
2.2. Sensores.....	7
2.2.1. <i>Sensor de temperatura</i> .....	7
2.2.2. <i>Sensor de velocidad</i> .....	8
2.2.3. <i>Sensor de vibración</i> .....	9
2.3. Acondicionamiento de señal.....	10
2.3.1. <i>Hardware y software para la adquisición de datos</i> .....	11
2.3.1.1. <i>Microcontrolador</i> .....	11
2.4. <b>Industria 4.0</b> .....	12
2.4.1. <i>Tecnologías en la Industria 4.0</i> .....	13
2.4.2. <i>Importancia de la Industria 4.0</i> .....	14
2.5. <b>Internet de las Cosas (IoT)</b> .....	14
2.5.1. <i>Elementos básicos de Internet de las Cosas (IoT)</i> .....	15



2.5.1.1.	<i>Hardware</i> .....	15
2.5.1.2.	<i>Software</i> .....	15
2.5.1.3.	<i>Infraestructura</i> .....	16
<b>2.5.2.</b>	<b><i>Plataformas de IoT</i></b> .....	16
2.5.2.1.	<i>Dispositivos IoT</i> .....	17
2.5.2.2.	<i>Servicios de las plataformas</i> .....	17
<b>2.6.</b>	<b>Monitoreo de condición</b> .....	18
<b>2.6.1.</b>	<b><i>Monitoreo de temperatura</i></b> .....	18
<b>2.6.2.</b>	<b><i>Monitoreo de velocidad</i></b> .....	19
<b>2.6.3.</b>	<b><i>Monitoreo de vibraciones</i></b> .....	19
<b>2.7.</b>	<b>Máquinas rotativas</b> .....	21
<b>2.7.1.</b>	<b><i>Componentes de un motor eléctrico</i></b> .....	22
<b>2.7.2.</b>	<b><i>Modos de funcionamiento del motor eléctrico</i></b> .....	22
2.7.2.1.	<i>Funcionamiento a corto plazo</i> .....	22
2.7.2.2.	<i>Funcionamiento continuo</i> .....	23
2.7.2.3.	<i>Modo de operación intermitente</i> .....	23
<b>2.7.3.</b>	<b><i>Fallos</i></b> .....	23
2.7.3.1.	<i>Desequilibrio</i> .....	23
2.7.3.2.	<i>Desalineación</i> .....	23
<b>2.8.</b>	<b>Softwares para programación y diseño</b> .....	24
<b>2.8.1.</b>	<b><i>Proteus</i></b> .....	24
<b>2.8.2.</b>	<b><i>SolidWorks</i></b> .....	25
<b>2.8.3.</b>	<b><i>Arduino IDE</i></b> .....	26
<b>2.8.4.</b>	<b><i>MATLAB</i></b> .....	26
<b>2.8.5.</b>	<b><i>Cayenne myDevices</i></b> .....	27

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</b> .....	28
<b>3.1.</b>	<b>Diseño del sistema de adquisición de datos</b> .....	28
<b>3.2.</b>	<b>Selección de los sensores para el SAD.</b> .....	28
<b>3.2.1.</b>	<b><i>Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614</i></b> .....	29
3.2.1.1.	<i>Características</i> .....	30
3.2.1.2.	<i>Esquema del sensor</i> .....	30
<b>3.2.2.</b>	<b><i>Sensor de velocidad, encoder incremental E6B2-CWZ3E</i></b> .....	31
3.2.2.1.	<i>Características</i> .....	31
3.2.2.2.	<i>Diagrama del circuito de salida</i> .....	32

<b>3.2.3.</b>	<b><i>Sensor de vibración MPU9250</i></b> .....	33
3.2.3.1.	<i>Características</i> .....	34
<b>3.2.4.</b>	<b><i>Selección del hardware para el SAD (microcontrolador)</i></b> .....	34
3.2.4.1.	<i>Características</i> .....	35
<b>3.2.5.</b>	<b><i>Diagrama de bloques funcionales del microcontrolador ESP-32</i></b> .....	36
<b>3.3.</b>	<b>Diseño Proteus 8 Professional con los sensores y microcontrolador para el SAD</b>	36
<b>3.3.1.</b>	<b><i>Dispositivo MAE de temperatura</i></b> .....	37
3.3.1.1.	<i>Tabla de conexiones del dispositivo MAE de temperatura</i> .....	37
<b>3.3.2.</b>	<b><i>Dispositivo MAE de velocidad</i></b> .....	38
3.3.2.1.	<i>Tabla de conexiones del dispositivo MAE de velocidad</i> .....	38
<b>3.3.3.</b>	<b><i>Dispositivo MAE de vibración</i></b> .....	39
3.3.3.1.	<i>Tabla de conexiones del dispositivo MAE de vibración</i> .....	39
<b>3.3.4.</b>	<b><i>Diseño de la placa PCB para los dispositivos MAE del SAD</i></b> .....	40
3.3.4.1.	<i>Diagrama de la placa PCB, para los dispositivos MAE</i> .....	40
3.3.4.2.	<i>Diseño de la plancha PCB, para los dispositivos MAE</i> .....	40
3.3.4.3.	<i>Diseño del planchado de la placa PCB</i> .....	40
3.3.4.4.	<i>Diseño 3D de la placa PCB</i> .....	41
<b>3.4.</b>	<b>Elementos adicionales para la construcción de los dispositivos MAE del SAD</b> ...	41
<b>3.5.</b>	<b>Circuito electrónico del SAD, diseñado en el programa Fritzing 0.9</b> .....	43
<b>3.5.1.</b>	<b><i>Circuito electrónico del dispositivo MAE de temperatura</i></b> .....	43
<b>3.5.2.</b>	<b><i>Circuito electrónico del dispositivo MAE de velocidad</i></b> .....	43
<b>3.5.3.</b>	<b><i>Circuito electrónico del dispositivo MAE de vibración</i></b> .....	44
<b>3.6.</b>	<b>Software de adquisición y programación del SAD</b> .....	44
<b>3.7.</b>	<b>Configuración en la plataforma de IoT Cayenne myDevices</b> .....	45
<b>3.8.</b>	<b>Programación de MATLAB con Cayenne myDevices</b> .....	50
<b>3.9.</b>	<b>Diagramas de flujo del SAD</b> .....	52
<b>3.9.1.</b>	<b><i>Diagramas de flujo de MATLAB con Cayenne myDevices</i></b> .....	52
<b>3.9.2.</b>	<b><i>Diagramas de flujo del sensor MLX90614</i></b> .....	53
3.9.2.1.	<i>Diagramas de flujo del sensor MLX90614</i> .....	54
3.9.2.2.	<i>Diagrama de flujo del botón de envió de datos a Cayenne myDevices</i> .....	54
3.9.2.3.	<i>Diagrama de flujo, etapa de filtrado</i> .....	55
3.9.2.4.	<i>Diagrama de flujo, del envió de datos a Cayenne myDevices</i> .....	55
3.9.2.5.	<i>Diagrama de flujo, de las variables que muestra el LCD</i> .....	55
<b>3.9.3.</b>	<b><i>Diagramas de flujo del sensor E6B2-CWZ3E</i></b> .....	56
3.9.3.1.	<i>Diagrama de flujo de la batería</i> .....	57
3.9.3.2.	<i>Diagrama de flujo del botón de envió de datos a Cayenne myDevices</i> .....	57
3.9.3.3.	<i>Diagrama de flujo, etapa de filtrado</i> .....	58

3.9.3.4.	<i>Diagrama de flujo, del envío de datos a Cayenne myDevices</i> .....	58
3.9.3.5.	<i>Diagrama de flujo, de las variables que muestra el LCD</i> .....	58
<b>3.9.4.</b>	<b><i>Diagramas de flujo del sensor MPU9250</i></b> .....	<b>59</b>
3.9.4.1.	<i>Diagrama de flujo de la batería</i> .....	60
3.9.4.2.	<i>Diagrama de flujo del botón de envío de datos a Cayenne myDevices</i> .....	60
3.9.4.3.	<i>Diagrama de flujo, etapa de filtrado</i> .....	61
3.9.4.4.	<i>Diagrama de flujo, del envío de datos a Cayenne myDevices</i> .....	62
3.9.4.5.	<i>Diagrama de flujo, de las variables que muestra el LCD</i> .....	62
<b>3.10.</b>	<b>Implementación del sistema de adquisición de datos</b> .....	<b>63</b>
<b>3.10.1.</b>	<b><i>Selección de la máquina a implementar el SAD</i></b> .....	<b>63</b>
<b>3.10.2.</b>	<b><i>Implementación de los dispositivos MAE de temperatura</i></b> .....	<b>63</b>
<b>3.10.3.</b>	<b><i>Implementación de los dispositivos MAE de velocidad</i></b> .....	<b>64</b>
<b>3.10.4.</b>	<b><i>Implementación de los dispositivos MAE de vibración</i></b> .....	<b>65</b>

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
<b>4.1.</b>	<b>Resultados obtenidos</b> .....	<b>67</b>
<b>4.2.</b>	<b>Características de la plataforma para la recolección de datos</b> .....	<b>67</b>
<b>4.3.</b>	<b>Resultados obtenidos con la cámara termográfica, chumacera</b> .....	<b>68</b>
<b>4.4.</b>	<b>Resultados del dispositivo MAE de temperatura, chumacera</b> .....	<b>68</b>
<b>4.5.</b>	<b>Resultados obtenidos con la cámara termográfica, motor</b> .....	<b>69</b>
<b>4.6.</b>	<b>Resultados del dispositivo MAE de temperatura, motor</b> .....	<b>69</b>
<b>4.7.</b>	<b>Resultados obtenidos con el tacómetro</b> .....	<b>70</b>
<b>4.8.</b>	<b>Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de velocidad</b> .....	<b>70</b>
<b>4.9.</b>	<b>Resultados obtenidos con el VibraCHECK-1 ejex</b> .....	<b>71</b>
<b>4.10.</b>	<b>Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-1 eje x</b> .....	<b>71</b>
<b>4.11.</b>	<b>Resultados obtenidos con el VibraCHECK-2 eje x</b> .....	<b>72</b>
<b>4.12.</b>	<b>Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-2 eje x</b> .....	<b>72</b>
<b>4.13.</b>	<b>Resultados obtenidos con el VibraCHECK-2 eje y</b> .....	<b>73</b>
<b>4.14.</b>	<b>Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-2 eje y</b> .....	<b>73</b>
<b>4.15.</b>	<b>Resultados obtenidos con el VibraCHECK-3 eje x</b> .....	<b>74</b>
<b>4.16.</b>	<b>Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-3 eje x</b> .....	<b>74</b>
<b>4.17.</b>	<b>Resultados obtenidos con el VibraCHECK-3 eje y</b> .....	<b>75</b>
<b>4.18.</b>	<b>Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-3 eje y</b> .....	<b>75</b>
<b>4.19.</b>	<b>Resultados obtenidos con el VibraCHECK-4</b> .....	<b>76</b>
<b>4.20.</b>	<b>Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-4 eje x</b> .....	<b>76</b>

4.21.	Resultados obtenidos con el VibraCHECK-4 eje y .....	77
4.22.	Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-4 eje y .....	77
4.23.	Resultados obtenidos con el VibraCHECK-4 eje z .....	78
4.24.	Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-4 eje z .....	78
4.25.	Análisis de costos .....	79
4.25.1.	<i>Costos directos</i> .....	79
4.25.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	81
4.25.3.	<i>Destino del proyecto</i> .....	81
CONCLUSIONES .....		82
RECOMENDACIONES .....		83
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Clasificación de sensores .....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Clasificación de sensores de temperatura.....	8
<b>Tabla 3-2:</b>	de sensores de velocidad .....	9
<b>Tabla 4-2:</b>	Unidades de medición respecto al tipo de velocidad del MCU .....	9
<b>Tabla 5-2:</b>	Clasificación de sensores de vibración.....	9
<b>Tabla 1-3:</b>	Características técnicas y rangos de medida de los sensores del SAD .....	29
<b>Tabla 2-3:</b>	Características técnicas del MLX90614 (Naylamp 2021, p.1).....	30
<b>Tabla 3-3:</b>	Características técnicas del encoder E6B2-CWZ3E, (OMRON 2022).....	32
<b>Tabla 4-3:</b>	Tiempos del encoder E6B2-CWZ3E respecto a las fases.....	33
<b>Tabla 5-3:</b>	Características técnicas del MPU9250 .....	34
<b>Tabla 6-3:</b>	Características técnicas del ESP-WROOM-32 .....	36
<b>Tabla 7-3:</b>	Pines de conexión del dispositivo MAE de temperatura. ....	37
<b>Tabla 8-3:</b>	Pines de conexión del dispositivo MAE de velocidad.....	38
<b>Tabla 9-3:</b>	Pines de conexión del dispositivo MAE de vibración .....	39
<b>Tabla 10-3:</b>	Elementos adicionales para la construcción de los dispositivos MAE .....	41
<b>Tabla 11-3:</b>	Claves de acceso de Cayenne myDevices .....	46
<b>Tabla 1-4:</b>	Datos obtenidos de la cámara termográfica, chumacera.....	68
<b>Tabla 2-4:</b>	Datos obtenidos de la cámara termográfica, motor .....	69
<b>Tabla 3-4:</b>	Datos obtenidos por el tacómetro .....	70
<b>Tabla 4-4:</b>	Costos directos de los dispositivos MAE de temperatura.....	79
<b>Tabla 5-4:</b>	Costos directos de los dispositivos MAE de velocidad .....	79
<b>Tabla 6-4:</b>	Costos directos de los dispositivos MAE de vibración .....	80
<b>Tabla 7-4:</b>	Costos directos de los elementos adicionales .....	80
<b>Tabla 8-4:</b>	Costos indirectos de los elementos adicionales.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Sistema de Adquisición de Datos.....	6
<b>Figura 2-2:</b>	Filtro paso bajo y alto .....	10
<b>Figura 3-2:</b>	Revolución Industrial 4.0.....	12
<b>Figura 4-2:</b>	Tecnologías de la Industria 4.0 .....	13
<b>Figura 5-2:</b>	Importancia de la Industria 4.0 .....	14
<b>Figura 6-2:</b>	Internet de las Cosas .....	14
<b>Figura 7-2:</b>	Hardware del IoT .....	15
<b>Figura 8-2:</b>	Software del IoT .....	15
<b>Figura 9-2:</b>	Banco de pruebas de rodamientos BPR-6206 .....	18
<b>Figura 10-2:</b>	Monitoreo de temperatura con cámara térmica .....	19
<b>Figura 11-2:</b>	Monitoreo de velocidad con tacómetro. ....	19
<b>Figura 12-2:</b>	Monitoreo de vibración con VibraCHECK.....	20
<b>Figura 13-2:</b>	Transformación de vibración a frecuencia .....	21
<b>Figura 14-2:</b>	Reversibilidad.....	21
<b>Figura 15-2:</b>	Motor asíncrono trifásico.....	22
<b>Figura 16-2:</b>	Desalineación angular.....	23
<b>Figura 17-2:</b>	Desalineación paralela .....	24
<b>Figura 18-2:</b>	Pantalla de Proteus.....	24
<b>Figura 19-2:</b>	Pantalla de SolidWorks.....	25
<b>Figura 20-2:</b>	Módulos existentes en SolidWorks.....	25
<b>Figura 21-2:</b>	Pantalla Arduino IDE.....	26
<b>Figura 22-2:</b>	Pantalla de MATLAB.....	26
<b>Figura 23-2:</b>	Pantalla de Cayenne myDevices .....	27
<b>Figura 1-3:</b>	Sensor de temperatura MLX90614 .....	29
<b>Figura 2-3:</b>	Esquema del sensor MLX90614 .....	30
<b>Figura 3-3:</b>	Encoder incremental E6B2-CWZ3E.....	31
<b>Figura 4-3:</b>	Diagrama de construcción del encoder E6B2-CWZ3E .....	32
<b>Figura 5-3:</b>	Diagrama del circuito de salida del encoder E6B2-CWZ3E .....	32
<b>Figura 6-3:</b>	Sensor de vibración MPU9250 .....	33
<b>Figura 7-3:</b>	Microcontrolador ESP-WROOM-32 .....	35
<b>Figura 8-3:</b>	Diagrama de bloques funcionales del microcontrolador ESP-32 .....	36
<b>Figura 9-3:</b>	Diseño del dispositivo MAE de temperatura.....	37
<b>Figura 10-3:</b>	Diseño del dispositivo MAE de velocidad .....	38
<b>Figura 11-3:</b>	Diseño del dispositivo MAE de vibración .....	39

<b>Figura 12-3:</b>	Diseño PCB de la placa superior.....	40
<b>Figura 13-3:</b>	Diseño PCB de la placa inferior.....	40
<b>Figura 14-3:</b>	Diseño PCB para el planchado.....	40
<b>Figura 15-3:</b>	Vista del diseño en 3D.....	41
<b>Figura 16-3:</b>	Circuito electrónico del dispositivo MAE de temperatura .....	43
<b>Figura 17-3:</b>	Circuito electrónico del dispositivo MAE de velocidad.....	43
<b>Figura 18-3:</b>	Circuito electrónico del dispositivo MAE de vibración .....	44
<b>Figura 19-3:</b>	Creación de la cuenta en Cayenne myDevices .....	45
<b>Figura 20-3:</b>	Elección del dispositivo a utilizar en Cayenne myDevices .....	45
<b>Figura 21-3:</b>	Claves en Cayenne myDevices API.....	46
<b>Figura 22-3:</b>	Códigos de Arduino IDE a Cayenne myDevices .....	46
<b>Figura 23-3:</b>	Enlace del dispositivo a Cayenne myDevices .....	47
<b>Figura 24-3:</b>	Selección de los widgets a utilizar en Cayenne myDevices .....	47
<b>Figura 25-3:</b>	Visualización de los widgets añadidos a Cayenne myDevices .....	47
<b>Figura 26-3:</b>	Programación del Arduino IDE, para Cayenne myDevices .....	48
<b>Figura 27-3:</b>	Widgets configurados en el canal de lectura .....	48
<b>Figura 28-3:</b>	Visualización de la plataforma Cayenne myDevices para el SAD .....	49
<b>Figura 29-3:</b>	Selección de los dispositivos a utilizar en Cayenne myDevices API .....	49
<b>Figura 30-3:</b>	Descarga de los datos obtenidos en Cayenne myDevices .....	50
<b>Figura 31-3:</b>	Búsqueda de los delimitadores.....	50
<b>Figura 32-3:</b>	Visualización de datos y gráfico .....	51
<b>Figura 33-3:</b>	Diagramas de flujo de MATLAB con Cayenne myDevices .....	52
<b>Figura 34-3:</b>	Diagrama de flujo, MLX90614.....	53
<b>Figura 35-3:</b>	Función batería_por .....	54
<b>Figura 36-3:</b>	Lectura_botón() .....	54
<b>Figura 37-3:</b>	Leer_temperatura() .....	55
<b>Figura 38-3:</b>	Cayenne_envío().....	55
<b>Figura 39-3:</b>	Mostrar().....	55
<b>Figura 40-3:</b>	Diagrama de flujo, E6B2-CWZ3E.....	56
<b>Figura 41-3:</b>	Función batería_por .....	57
<b>Figura 42-3:</b>	Lectura_botón() .....	57
<b>Figura 43-3:</b>	Leer_revoluciones().....	58
<b>Figura 44-3:</b>	Cayenne_envío().....	58
<b>Figura 45-3:</b>	Mostrar().....	58
<b>Figura 46-3:</b>	Diagrama de flujo, MPU9250.....	59
<b>Figura 47-3:</b>	Función batería_por .....	60
<b>Figura 48-3:</b>	Lectura_botón() .....	60

<b>Figura 49-3:</b>	Leer MPU().....	61
<b>Figura 50-3:</b>	Cayenne_envío().....	62
<b>Figura 51-3:</b>	Mostrar().....	62
<b>Figura 52-3:</b>	Módulo de pruebas de rodamiento BPR6206 en SolidWorks. ....	63
<b>Figura 53-3:</b>	Dispositivo MAE de temperatura #1.....	64
<b>Figura 54-3:</b>	Dispositivo MAE de temperatura #2.....	64
<b>Figura 55-3:</b>	Dispositivo MAE de velocidad #1 .....	64
<b>Figura 56-3:</b>	Dispositivo MAE de vibración #1.....	65
<b>Figura 57-3:</b>	Dispositivo MAE de vibración #2.....	65
<b>Figura 58-3:</b>	Dispositivo MAE de vibración #3.....	66
<b>Figura 59-3:</b>	Dispositivo MAE de vibración #4.....	66
<b>Figura 1-4:</b>	Características para la recolección de datos .....	67



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de temperatura en la chumacera..	68
<b>Gráfico 2-4:</b>	Datos del dispositivo MAE de temperatura en el motor.....	69
<b>Gráfico 3-4:</b>	Visualización de gráfica del dispositivo MAE de velocidad .....	70
<b>Gráfico 4-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-1 eje x .....	71
<b>Gráfico 5-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-1 eje x .....	71
<b>Gráfico 6-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-2 eje x .....	72
<b>Gráfico 7-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-2 eje x .....	72
<b>Gráfico 8-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-2 eje y .....	73
<b>Gráfico 9-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-2 eje y .....	73
<b>Gráfico 10-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-3 eje x .....	74
<b>Gráfico 11-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-3 eje x .....	74
<b>Gráfico 12-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-3 eje y .....	75
<b>Gráfico 13-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-3 eje y .....	75
<b>Gráfico 14-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-4 eje x .....	76
<b>Gráfico 15-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-4 eje x .....	76
<b>Gráfico 16-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-4 eje y .....	77
<b>Gráfico 17-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-4 eje y .....	77
<b>Gráfico 18-4:</b>	Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-4 eje z .....	78
<b>Gráfico 19-4:</b>	Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-4t eje z .....	78

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Manual de operación y mantenimiento de los sensores
- ANEXO B:** Diseño y construcción del dispositivo mae-1
- ANEXO C:** Toma de datos con el dispositivo mae-1 en protoboard
- ANEXO D:** Construcción de las placas pcb para los dispositivos MAE
- ANEXO E:** Diseño solidworks, acople para eje dispositivo de velocidad
- ANEXO F:** Diseño solidworks, base para el dispositivo de velocidad
- ANEXO G:** Diseño SolidWorks, caja sensor de vibración. vistas 3D
- ANEXO H:** Diseño solidworks, base para el sensor de temperatura 2
- ANEXO I:** Diseño SolidWorks, caja sensor de temperatura 1 vistas 3D
- ANEXO J:** Diseño SolidWorks, temperatura 2 velocidad y vibración
- ANEXO K:** Código de programación del sensor de temperatura
- ANEXO L:** Código de programación del sensor de velocidad
- ANEXO M:** Código de programación del sensor de vibración

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto técnico fue diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos mediante IoT, utilizando un microcontrolador para el monitoreo de máquinas rotativas. En el cual se utilizó el módulo de prueba de rodamientos BPR-6206, en el, se realizó un monitoreo constante utilizando tres tipos de sensores, como son: temperatura, el sensor infrarrojo MLX90614, velocidad, el encoder incremental E6B2-CWZ3E y vibración, el acelerómetro MPU 9250, se programó en Arduino IDE, y se configuró en el microcontrolador ESP-32, uniendo estos elementos electrónicos, se obtuvo los dispositivos MAE, al pulsar su botón de envío, captaron señales físicas, las acondicionaron, para posteriormente enviar la información (datos) a la nube, que, con ayuda de la plataforma de IoT Cayenne myDevices, los datos se visualizaron en tiempo real dentro de la plataforma, los mismos fueron descargados, pero por su forma de descarga que es en bruto, se procesaron por el programa MATLAB, en donde se normalizaron, y son descargables, permitiendo que se lleve un registro de datos en formato excel. Para la adquisición de datos, el operario tenía que estar presente con los instrumentos de laboratorio, pero con los dispositivos MAE, se tiene como resultado, que el operario después de encender los dispositivos y pulsar el botón envío, no tenga que estar presente en el momento de adquirir y enviar datos. Se concluye, que, para su implementación y acople fijo, cuenten con imanes de neodimio en sus bases, sus baterías tienen una duración de 4 a 5 horas, y con el fin de prolongar su vida útil, se elaboró el manual de operación y mantenimiento para el sistema de adquisición de datos. Se recomienda calibrar los sensores, acorde al ambiente en el cual serán utilizados.

**Palabras clave:** <SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)>, <INTERNET DE LAS COSAS (IOT)>, <MICROCONTROLADOR>, <SENSOR>, <MATLAB (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1383-DBRA-UTP-2022

2022-06-30

## SUMMARY

The objective of this technical project was to design and implement a data acquisition system through IoT, using a microcontroller for monitoring rotating machines. In which the BPR-6206 bearing test module was achieved. Constant monitoring was carried out using three types of sensors, such as: temperature, the MLX90614 infrared sensor, speed, the E6B2-CWZ3E incremental encoder and vibration, the MPU 9250 accelerometer, was programmed in Arduino IDE, and configured in the ESP-32 microcontroller. Joining these electronic elements, we obtained the MAE devices, when pressing their send button. They captured physical signals, conditioned and send the information (data) to the cloud with the help of IoT Cayenne myDevices platform. The data was displayed in real time within the platform. They were downloaded, but due to their rough way of download, they were processed by the MATLAB program. They were normalized, and are downloadable, allowing a data record to be kept in excel format. For data acquisition, the operator had to be present with the laboratory instruments, but with the MAE devices, the result is that the operator. After turning on the devices and pressing the sent button, does not have to be present in the time to acquire and send data. It is concluded that, for its implementation and fixed coupling, they will have neodymium magnets in their bases. The batteries have a duration of 4 to 5 hours, and in order to prolong their useful life, the operation manual and maintenance were prepared for the data acquisition system. It is recommended to calibrate the sensors, according to the environment in which they will be used.

**Keywords:** <DATA ACQUISITION SYSTEM (DAS)>, <INTERNET OF THINGS (IOT)>, <MICROCONTROLLER>, <SENSOR>, <MATLAB (SOFTWARE)>



Sandra Paulina Porras Pumalema

C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

El sector industrial, es uno de los pilares fundamentales para el progreso de la sociedad, éste está compuesto en su mayor parte de máquinas. Para su rentabilidad, dependen del buen funcionamiento de las mismas. En ocasiones tienden a sufrir daños debido a averías presentes al momento de su puesta en marcha, éstas suelen ser ignoradas, ya que no detienen el funcionamiento de la máquina, o se les realiza alguna actividad de mantenimiento para que ésta siga funcionando, sin detectar la verdadera causa del fallo. Si la avería continua esto podría ocasionar un obstáculo en la producción de la empresa. Para esto están los ingenieros para poder resolver estos inconvenientes, manteniendo estable y sin averías a las máquinas, teniendo como solución equilibrar los deterioros que presenta las máquinas dentro de la industria.

Existe un trabajo anterior al nuestro, como el de (Quisay Vera y Gaibor Ramos 2021) denominado sistema de control de condición de activos de motor eléctricos mediante análisis de vibración e internet de las cosas, el cual fue una guía para el presente proyecto, sin dejar de lado otros trabajos de investigación de tuvieron un impacto similar.

Para este Trabajo de Integración Curricular se plantea el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos mediante IoT utilizando un microcontrolador para el monitoreo de máquinas rotativas, para conocer las condiciones de temperatura, velocidad y vibraciones. Como equipo se eligió una máquina rotativa para el diseño del dispositivo, por ser ésta muy utilizada en la industria.

En base a lo anterior, un sistema de adquisición de datos mediante IoT, reemplazará el monitoreo directo del hombre, utilizando un microcontrolador conectado a Wi-Fi, el cual obtendrá y enviará los datos a la nube, éstos se visualizarán a través de la plataforma Cayenne myDevices (recepción y descarga datos), y con el software de MATLAB se ordenarán y se guardarán.

El proyecto brinda información en tiempo real del funcionamiento que presenta la máquina rotativa. Para la realización del proyecto, el dispositivo creado en el presente proyecto se lo denomina MAE, que es un equipo ubicado dentro de una caja y es adecuada para ser instalada en los elementos de la máquina rotativa (motor, chumacera, eje). En su interior posee un sensor y un microcontrolador, el sensor detecta los cambios que presenta el elemento y por medio del microcontrolador lo envía a la plataforma Cayenne myDevices los cuales son descargados, mediante el software de MATLAB. El equipo en su diseño posee 2 botones para controlar el encendido, apagado y la transmisión de datos, éstos son adecuados para controlar la información.

En este Trabajo de Integración Curricular se formula el problema existente para un posterior análisis, diseño e implementación; el cual está compuesto de cuatro capítulos:

Capítulo I, se presenta el motivo del proyecto como también los antecedentes, problema, justificación y objetivos que se deben cumplir de principio a fin para llevar al éxito de este trabajo.

En el capítulo II, se encuentra el marco teórico; como definiciones, bases teóricas e información de trabajos realizados con anterioridad al presente proyecto, los cuales sirven como sustentación de la propuesta en el presente proyecto, explicando aspectos del problema que se va a encontrar dentro del área, para así tener un mejor alcance y comprensión del tema.

Capítulo III, se presenta, los pasos a seguir para el diseño del sistema de adquisición de datos. En el cual, después de una investigación de trabajos anteriores, se pudo seleccionar los componentes electrónicos adecuados, después de su selección se diseñó en el software Proteus 8 Professional y su simulación en Fritzing 0.9, los cuales fueron favorables al momento de las pruebas, gracias a la accesibilidad que nos ofrece el software Arduino IDE se realizó la programación y se cargó en el microcontrolador ESP-32, para su implantación se diseñaron cajas en el software SolidWorks R2020a, su impresión fue en 3D y para que estas permanezcan fijas se colocaron imanes de neodimio.

Capítulo IV, en éste se encuentran los resultados de la implementación del sistema de adquisición de datos, la calibración y comparación obtenidos con los equipos del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética con nuestro dispositivo (MAE).

Finalmente, se encuentran las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a la conclusión del presente proyecto técnico.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

Se han realizado estudios anteriores con el objetivo de comprender aspectos relacionados con nuestro tema, en donde se ha encontrado artículos científicos, y tesis, en el cual uno de ellos propone, un sistema que incorpora la tecnología de adquisición y procesamiento de datos mediante el uso de multi-sensores (voltaje, ultrasónico de posición, intensidad lumínica, temperatura, flexión mecánica, y de efecto Hall) y un microcontrolador PIC-16F870, en este caso incorporado a una interfaz de comunicación USB, con el fin de monitorear estas variables. Así podemos entender que la idea de implementar tecnología facilita el acceso a datos de monitoreo en máquinas, el cual es bien aprovechado en el campo de ingeniería. (González, Pérez, y Dunia 2018, p.2).

Otro estudio muestra, al mantenimiento predictivo y la fabricación inteligente, la cual recibe atención gracias al desarrollo del IoT, en el monitoreo de máquinas con componentes giratorios, utilizando los datos como la vibración y el sonido para recibir un diagnóstico de su estado (Yun et al. 2020, p.1).

La evolución tecnológica de la Industria 4.0 ha dado inicio a la interconexión de dispositivos, aplicaciones, personas y datos, dando paso a la generación del IoT, este busca interconectar dispositivos que se puedan monitorizar, automatizar tareas cotidianas y realizar configuraciones de manera centralizada. (Álvarez, Leguizamón, and Londoño 2021, p.2).

La aplicación de tecnología IoT, con Arduino Wi-Fi, y base de datos, permite recolectar información de diagnóstico, el cual ofrece un sistema de monitoreo que sirve para prevenir y corregir defectos de máquinas eléctricas. (Quisay Vera y Gaibor Ramos 2021, p.2).

### 1.2. Planteamiento del problema

En el área industrial la mayor parte de las máquinas eléctricas rotativas presentan fallas dentro de sus componentes antes de alcanzar su tiempo de vida útil, el monitoreo de las máquinas y componentes se hace de modo tradicional con normas de control, propias de cada institución que en ocasiones no son eficientes porque estos métodos y tecnologías son convencionales, lo que

provoca un problema tanto para el técnico de mantenimiento como para el encargado de la maquinaria. El tiempo para encontrar el motivo de la falla en la máquina puede llevar horas o días, pues no se cuenta con sistemas de monitoreo de información de las variables como, sobrecalentamiento, vibraciones, variación en la velocidad de giro, etc. Por lo cual no se puede anticipar el mantenimiento. Por ello es necesario dar solución al problema e implementar un sistema para prevenir fallas antes que ocurran, con lo que se busca minimizar el tiempo de paros no programados, mismos que afectan el rendimiento y eficiencia de las máquinas eléctricas rotativas.

### **1.3. Justificación**

Uno de los elementos más utilizados en la industria es el motor eléctrico, encontrándose en la operación de varios procesos que son fundamentales para la producción. Con el paso del tiempo los fabricantes de motores eléctricos han mejorado sus técnicas de construcción, sin embargo, la eficacia de los motores eléctricos no depende únicamente de su construcción o material con el cual fue creado, también depende directamente de factores como período de uso, condiciones a las que está expuesto el motor, condiciones ambientales y otros. Actualmente existen varios métodos u opciones para que los motores trabajen en sus valores nominales, como por ejemplo realizar el mantenimiento de rodillos y alineación. Entre los tipos de mantenimiento más conocidos encontramos, el mantenimiento correctivo y preventivo. El mantenimiento correctivo tiene como finalidad corregir los problemas cuando estos hayan aparecido, lo cual no es muy eficiente, ya que por lo general se basa en cambiar el motor cuando sufra un daño y el mantenimiento preventivo consiste en ejecutar mantenimiento en un periodo de tiempo determinado con la finalidad de encontrar daños o posibles desgastes en la estructura del motor que podrían dañarlo de forma permanente, además se hace una revisión y limpieza.

Existe la concepción de practicar el mantenimiento predictivo, sin embargo, dicho mantenimiento es especializado y depende de un sistema que permita analizar de manera constante las variables de operación de la maquinaria o motor. Para adoptar este tipo de mantenimiento es necesario considerar variables como temperaturas, velocidad y vibraciones de rotación de la máquina entre otros. Posterior a analizar estos parámetros como resultado es posible detectar anomalías en el funcionamiento de los motores y comprobarlos a tiempo, y así evitamos que el motor llegue a la avería. (BARBARA 2021, p.1).

Actualmente, se cuenta con la tecnología suficiente para desarrollar un sistema que permita un monitoreo constante de los motores con el fin de evitar que la maquinaria se detenga de manera inesperada. Por ello podemos incorporar la definición de internet de las cosas (IoT) el que permite



crear un equipo que realice mediciones de temperatura, velocidad y vibración. Para posteriormente evaluar estos parámetros y determinar las condiciones en las cuales el motor se encuentra. De esta manera se establecerá un futuro daño o determinaremos si existe alguna anomalía en su funcionamiento. Además, el sistema a desarrollar es fácil de utilizar porque se puede implementar una interfaz amigable para el usuario.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. *Objetivo general***

Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos, mediante IoT utilizando un microcontrolador para el monitoreo de máquinas rotativas.

##### **1.4.2. *Objetivos específicos***

Diseñar un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de temperatura, velocidad y vibración, en el módulo de prueba de rodamientos BPR-6206.

Seleccionar e implementar los sensores y microcontrolador adecuados, para la adquisición de datos, con sus respectivos acoples en el banco de pruebas.

Transmitir los datos recolectados mediante IoT, para el monitoreo de la máquina.

Realizar pruebas del sistema para la validación del correcto funcionamiento.

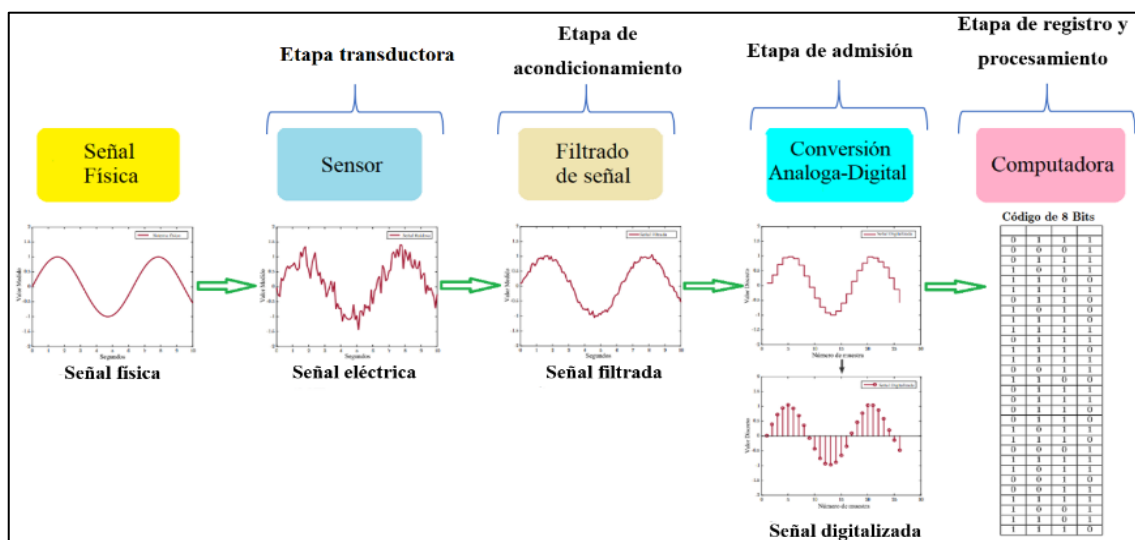
Elaborar un manual de operación y mantenimiento de los sensores.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Sistema de adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos, consiste en obtener datos en tiempo real, inicia en la etapa transductora, en donde los sensores se encargan de convertir las señales físicas a señales eléctricas (sistema analógico), posterior a ello, se da la etapa de acondicionamiento de señal, que básicamente, trata de delimitar los valores de la señal eléctrica, luego esta señal acondicionada ingresa a un conversor analógico digital, generalmente este conversor A/D está integrado en la arquitectura interna de un sistema microprocesador (sistema digital), con el objetivo de procesar los datos para finalmente trasladar los datos a un sistema conocido como interfaz hombre máquina, en la Figura 1-2, se aprecia la obtención de los datos (Agüero 2017, p.1).



**Figura 1-2:** Sistema de Adquisición de Datos

Fuente: (Zarate 2016, p.1).

El proceso de adquisición de datos está compuesto por:

- Sensores.
- Acondicionamiento de señal.
- Hardware y software para la adquisición de datos. (Agüero 2017)

## 2.2. Sensores

Un sensor es un dispositivo que se utiliza para detectar y señalar condiciones de cambio, ya sea la presencia o falta de un material u objeto, también puede ser una cantidad medible, posiblemente un cambio de distancia, el tamaño o el color. Los sensores permiten la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de medición o control, sistemas eléctricos y electrónicos, siendo útil para todo tipo de proceso industrial y no industrial para propósitos de medición, control, procesamiento y monitoreo (DEWESOFT 2020).

Los sensores debido a su gran variedad, construcción interna, diseño del fabricante, y la aplicación para la que fueron fabricados, se los puede ordenar respecto a la variable física medida y a su respectivo transductor, la Tabla 1-2, muestra la clasificación de los sensores.

**Tabla 1-2:** Clasificación de sensores

<b>VARIABLE FÍSICA MEDIDA</b>	<b>TRANSDUCTOR</b>
Velocidad, posición (lineal y angular), aceleración y vibración.	Acelerómetro, encoder, dínamo, taco-métrico, giroscopio.
Temperatura y humedad.	Termopar, RTD, termistor NTC, termistor PTC.
Nivel y proximidad.	Sensor final de carrera, capacitivo, inductivo, fotoeléctrico.
Fuerza y deformación.	Sensor de par, multicomponente.
Flujo (caudal y presión).	Turbina, magnético.
Luz, visión.	Fotodiodo, fotorresistencia, fototransistor, célula fotoeléctrica.
Biométrica.	Matriz de contacto, piel artificial.
Sonido.	Micrófono.
Presencia.	Sensores inductivos, capacitivos y ópticos.

**Fuente:** (BUCHELI NARANJO, & VELÁZQUEZ GARRIDO 2014)

Dada la clasificación de los sensores, nos centraremos en los sensores de temperatura, velocidad y vibración.

### 2.2.1. *Sensor de temperatura*

Los sensores de temperatura son componentes electrónicos y eléctricos que, como sensores, permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica específica, proporcionándonos señales analógicas o digitales en forma de dato. Dependiendo de su funcionamiento y de cómo convierten la señal, existen diferentes tipos de sensores de temperatura, los cuales se agrupan en tres tipos, Tabla 2-2 (Galiana LLinares et al. n.d., p.1).

**Tabla 2-2:** Clasificación de sensores de temperatura

Sensor	Características
<p><b>Sensores RTD</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sensores de temperatura resistivos.</li> <li>✓ Son dispositivos que dependen de la temperatura que, tienen los materiales para variar sus características resistivas, con un rango de medida que oscila entre los -200°C a 800°C.</li> <li>✓ Está formado por dos partes, en un extremo un alambre, por el que circula el fluido y por el otro lado los componentes eléctricos para la toma de mediciones.</li> <li>✓ Entre los tipos de RTD, tenemos las PT100 (referencia respecto a los 100 ohm que se indica a los 0°C), las PT1000 (referencia respecto a los 1000 ohm que se muestra a los 0°C), entre otros.</li> </ul>
<p><b>Sensores termopares</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Su principio de funcionamiento, es conectar un extremo de dos cables metálicos de diferentes materiales, conocido como junta de medición junta caliente, y el otro extremo se denomina unión fría, el diferencial entre ambas temperaturas produce un diferencial de tensión, el cual es la señal enviada al dispositivo electrónico.</li> <li>✓ Los materiales de los que está compuesto, se encuentran los más comunes, como son: termopar tipo J (0°C a 750°C), tipo T (-250°C a 350°C), tipo K (-200°C a 1250°C) y tipo E (-200°C a 900°C), además existen también termopares para altas temperaturas como son: tipo S (0°C a 1650°C) y tipo R (0°C a 1750°C).</li> </ul>
<p><b>Sensores infrarrojos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realiza medidas de alto rendimiento de materiales u objetos inaccesibles o en movimiento.</li> <li>✓ Su rango de medición de temperatura es -20°C a 2000°C.</li> <li>✓ Se los puede configurar por completo desde una PC mediante un software de fácil uso, ya sea fijando el rango y la emisividad, aplicando filtros, seleccionando lecturas mínimas, máximas, medias e instantáneas, entre otros.</li> </ul>

Fuente: (Galiana LLinares et al. n.d.)

### 2.2.2. *Sensor de velocidad*

El sensor de velocidad puede permitir qué tan rápido se mueve un objeto, considerando primero que tipo de velocidad es la que se quiere saber. Éstos miden la velocidad respecto al tiempo, también se encargan de medir la velocidad angular, la frecuencia de impulsos de cualquier tipo de señal, generalmente es de tipo fotónica, porque es fácil de manipular frente al paso de la luz.

Para realizar las mediciones se tienen diferentes tipos de métodos tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos, en donde sí se requiere realizar mediciones superiores al 100 rpm, se manejan instrumentos electrónicos como:

- Tacómetros con o sin contacto.
- Encoders.

La Tabla 3-2, muestra la clasificación de los sensores de velocidad.

**Tabla 3-2:** Clasificación de sensores de velocidad

SENSORES	DESCRIPCIÓN
<b>Sensor de reluctancia magnética variable</b>	Compuesto por un imán permanente y una bobina captadora enrollada en él. A medida que gira la rueda, el flujo magnético cambia; este cambio de flujo produce una tensión variable en la bobina captadora (en forma de pulsos).
<b>Sensor de efecto Hall</b>	Consiste en una pequeña pastilla de material semiconductor circulada por una corriente continua. Los circuitos electrónicos dentro del sensor convierten la variación de corriente en variación de tensión.
<b>Sensor magneto-resistivo</b>	Contiene un elemento magneto-resistivo, montado en el disco. El elemento sensible tiene la propiedad de cambiar su resistencia de acuerdo a la intensidad del campo magnético que lo atraviesa.
<b>Sensores reflectivos o rotativo incremental</b>	Encoder rotativo también conocido como “eje encoder” o “encoder de eje” proporciona una excelente resolución de ángulo, con hasta miles de pasos por revolución de 360°, lo que permite pasos mucho menores de 1°.

Fuente: (MTE-THOMSON 2021)

En la Tabla 4-2, se muestra los tipos de velocidades, las unidades de medición y los instrumentos de medidas.

**Tabla 4-2:** Unidades de medición respecto al tipo de velocidad del MCU

Tipo de velocidad	Unidad de medición	Instrumento de medida
Lineal	km/h	Velocímetro
Angular	rad/s	Tacómetro
Frecuencial	Hz	Frecuencímetro

Fuente: (Fernández 2022)

### 2.2.3. *Sensor de vibración*

Un sensor de vibración tiene la capacidad de medir la magnitud y frecuencia de vibración de un equipo, sistema o componente, estos sensores se denominan acelerómetros, que permiten trabajar en altas frecuencias que se producen vibración.

Entonces se define que un acelerómetro, no es más que un transductor de aceleración que mide su movimiento a través del espacio. El principio de estos no es complicado, mide la fuerza de aceleración (g) y se los puede medir hasta en tres planos. (OMEGA 2022)

**Tabla 5-2:** Clasificación de sensores de vibración

SENSORES	DESCRIPCIÓN	TIPOS O EJEMPLOS
<b>Acelerómetro</b>	Miden la aceleración, cambio en la velocidad por unidad de tiempo, los más conocidos son los acelerómetros piezoeléctricos.	✓ Piezoeléctricos. – Actúan en función de la aceleración aplicada a la masa sísmica, la cual ejerce una fuerza sobre los cristales piezoeléctricos, resultando una carga eléctrica proporcional.

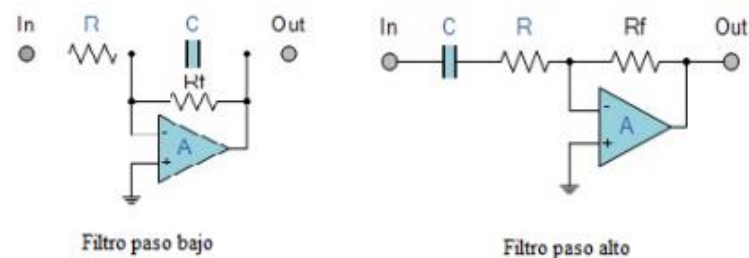
CONTINUA

<b>Sensores de velocidad</b>	Se utilizan para medir frecuencias de baja a media	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Monitorear vibraciones.</li> <li>✓ Balanceo en maquinaria rotativa.</li> <li>✓ Tienen menos sensibilidad a las vibraciones, de alta frecuencia en comparación con los acelerómetros.</li> </ul>
<b>Sensores de proximidad</b>	Se utilizan en equipos de soporte hidrodinámicos, porque las vibraciones que se crean en este tipo de soportes no se transmite a través de la carcasa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ejes montados sobre rodamientos.- Se produce una lectura irreal de lo que sucede en su interior.</li> </ul>
<b>Sensores triaxiales.</b>	Los sensores triaxiales están formados de tres elementos de detección, empaquetados en una sola carcasa.	<p>La orientación general es la siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Horizontal, que se la denomina eje X, vertical, que se denomina eje Y, y axial, que se denomina eje Z.</li> <li>✓ Es posible que con un solo sensor instalado en una sola posición se pueda registrar tres mediciones de las tres direcciones.</li> </ul>

Fuente: (Hernández 2021)

### 2.3. Acondicionamiento de señal

Las señales que se presentan en los diferentes ámbitos, son todas distintas, ya sean señales ruidosas o señales peligrosas para ser medidas directamente. Por ello existe el acondicionamiento de la señal, en donde el circuito de acondicionamiento de señales es el encargado de manipular la señal recibida, ya sea ampliándola, filtrándola, aislándola, etc. Convirtiéndola en una señal apropiada, para su posterior entrega de datos hacia la entrada de la tarjeta de adquisición de datos, la Figura 2-2, muestra un ejemplo de acondicionamiento de señal de los filtros paso bajo y alto.



**Figura 2-2:** Filtro paso bajo y alto

Fuente: (Ardizio 2020, p.1)

Cada acondicionador de señal, de los diferentes sensores, está diseñado por el fabricante para normalizar básicamente la salida del sensor, asegurando su linealidad y fidelidad a los fenómenos de la fuente, preparándolo así para la digitalización.

### **2.3.1. Hardware y software para la adquisición de datos**

El hardware es el conjunto de elementos físicos, encargados del control central del sistema de adquisición de datos, el cual se encuentra a cargo del microcontrolador, que permite la manipulación del software (conjunto de programas, le permiten a la computadora realizar ciertas tareas) para programar distintas funciones tales como la adquisición de datos, mediante su convertidor análogo - digital, adquisición de la hora y fecha por medio de su módulo interno, configuración de parámetros de operación, entre otras.

#### **2.3.1.1. Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de ejecutar instrucciones almacenadas en su memoria, contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), los pines que tiene son, periféricos de entrada y salida, una fuente de alimentación y un oscilador, estas partes están interconectadas, en su memoria reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada y salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solo se utiliza para gestionar las tareas asignadas. (Alvarado 2019, p.1).

Ventajas:

- Tamaño reducido.
- Bajo consumo de corriente.
- Económico.

Hay varios fabricantes de microcontroladores en el mundo, entre los más importantes encontramos:

- Intel.
- Atmel.
- Espressif Systems.

La empresa Espressif Systems, tiene diferentes familias de microcontroladores, una de ellas es la familia ESP32, que contiene Wi-Fi y Bluetooth en un chip (SOC), este microcontrolador es una versión de doble núcleos, que permite realizar proyecto que intercambie información a la nube y

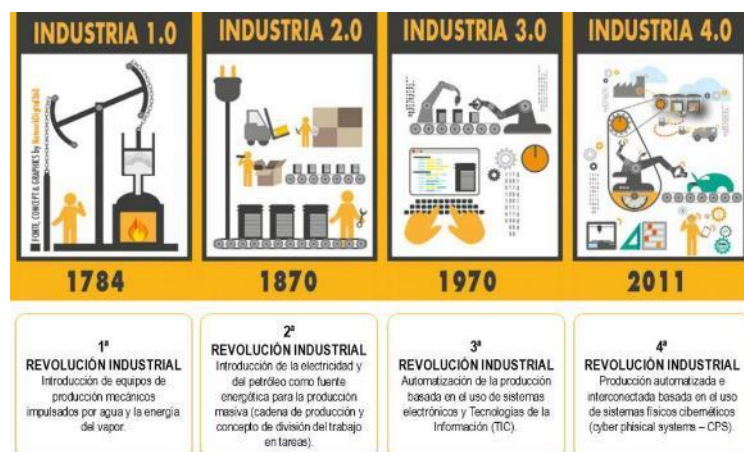
al mismo tiempo gestionar datos de un sensor de manera precisa, gracias a que posee un alto nivel de integración en su pequeño encapsulado. (Valle Hernández 2022, p.1)

- Interruptores de antena.
- Balun de RF (transformador de líneas balanceadas y desbalanceadas).
- Amplificador de potencia.
- Amplificador de recepción de bajo ruido.
- Filtros y módulos de administración de energía.

Teniendo así una capacidad mayor a diferentes microcontroladores como Arduino UNO, además logra un consumo de energía bajo, mediante su función de ahorro de energía, incluye la sincronización de un reloj y múltiples modos de operación. Siendo ideal para proyectos con aplicaciones de IoT, entre otros.

## 2.4. Industria 4.0

La cuarta revolución industrial Figura 3-2, se conoce como la era digital o industrial. Este salto paradigmático se ha logrado gracias al crecimiento explosivo de la tecnología, las tecnologías de la información, la comunicación en las últimas décadas, y la búsqueda incesante de las industrias por adoptar y avanzar en la implementación de estas (Arocena y Sansone 2020, p.4). Sin dejar de lados tecnologías como inteligencia artificial, robotiza, analítica, nanotecnologías y el Internet de las Cosas. (DELOITTE 2021, p.1)



**Figura 3-2:** Revolución Industrial 4.0

Fuente: (Santos Aguirre 2022)

Es definida por la inteligencia y la capacidad de conectarse, dentro de un proceso de fabricación, con máquinas que se comunican y toman decisiones en muchas situaciones sin intervención



humana (Venanzi, Silva y Lhou Hasegawa 2020, p.5), cuyos principios permiten anticipar cambios importantes, ya que está asociado a la digitalización de los sistemas de información y producción de actividades de gestión. (Ynzunza Cortés et al. 2017, p.4).

#### 2.4.1. *Tecnologías en la Industria 4.0*



**Figura 4-2:** Tecnologías de la Industria 4.0

**Fuente:** (Equipo de redacción de Drew 2019)

Entre las tecnologías que respaldan la industria 4.0, Figura 4-2, se encuentran las tecnologías sociales, los sistemas de redes físicas y la colaboración abierta, dispositivos móviles, plataformas y aplicaciones tecnológicas, así como inteligencia artificial y tecnologías de la información.(Ynzunza Cortés et al. 2017, p.5) donde estas tecnologías se basan en:

- La escalabilidad de la capacidad de cómputo.
- El procesamiento y análisis de datos.
- La accesibilidad global de los servicios vía internet u otros dispositivos móviles.
- Creación de nuevos procesos, productos y modelos.(Ynzunza Cortés et al. 2017, p.1).

Con las nuevas tecnologías se tiene:

- A través del Internet de las Cosas (IoT), sistemas que puedan interactuar entre sí, y con humanos en tiempo real.
- El sistema operativo móvil multinacional.
- Con el big data, el cómputo en la nube y la inteligencia artificial, que, junto a la automatización industrial, se tiene el cambio de la forma en que se fabrican los productos. (Uribe Zúñiga 2020, p.4).

#### 2.4.2. *Importancia de la Industria 4.0*

La Industria 4.0, Figura 5-2, propuso un mundo en el que las máquinas están permanentemente conectadas entre sí, con el fin de observar enormes cantidades de datos en tiempo real. Actualmente, es una tendencia real, auto dirigida hacia el futuro de la industria, y hacia las empresas, especialmente empresas de desarrollo de software y hardware, tienen que investigar, innovar y capacitarse constantemente, si quieren seguir vigentes. (García Otero 2020, p.3-7)



**Figura 5-2:** Importancia de la Industria 4.0

**Fuente:** (García Otero 2020, p.1).

#### 2.5. **Internet de las Cosas (IoT)**



**Figura 6-2:** Internet de las Cosas

**Fuente:** (Canales TI 2016, p.1)

El Internet de las Cosas (IoT) Figura 6-2, es el camino hacia una etapa en la vida humana que implica la convergencia de dos mundos paralelos: físico y digital.

El término IoT se lo define como, la interconexión de dispositivos y objetos por medio de una red, puede ser o no privada, donde todos ellos pueden ser visibles y pueden interconectarse, permitiéndose recibir y transmitir datos a otro dispositivo o persona, teniendo como principal objetivo una interacción de máquina a máquina "M2M". Su acogida es debido a: (García 2022, p.3).

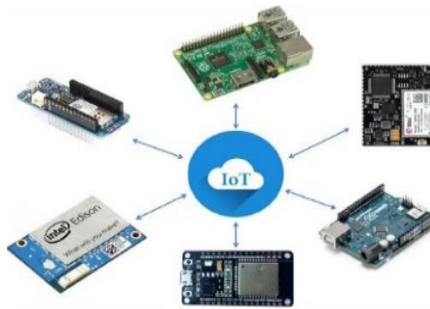
- Popularización de placas de hardware libre (incorporan microcontrolador).
- Abaratamiento de sensores.
- Plataformas de Internet de las Cosas (IoT). (Coronel y Tenelanda 2016, p.3)

### 2.5.1. Elementos básicos de Internet de las Cosas (IoT)

Los elementos básicos de IoT, han permitido el avance continuo de cada una de las aplicaciones desarrolladas para plataformas del Internet de las Cosas.

#### 2.5.1.1. Hardware

Actualmente la tendencia de la miniaturización de componentes electrónicos ha permitido (Coronel y Tenelanda 2016, p.2), fabricación de pequeños dispositivos con una alta eficiencia, rendimiento comparable e incluso superior al de un computador personal.



**Figura 7-2:** Hardware del IoT

Fuente: (jecrespom 2021, p.1)

#### 2.5.1.2. Software

El hardware en sí mismo no puede utilizar la información generada desde IoT, se requiere un software, con algoritmos y aplicaciones debidamente diseñados que permitan interpretar la información recopilada de los dispositivos del IoT, y tomar decisiones si es necesario sin la interacción humano, he ahí la inteligencia de IoT y quizá el componente principal (Coronel y Tenelanda 2016, p.2).



**Figura 8-2:** Software del IoT

Fuente: (jecrespom 2021, p.1)

### 2.5.1.3. *Infraestructura*

Para eliminar la congestión de infraestructuras inalámbricas, se ha desarrollado nuevas tecnologías que optimicen la gestión de recursos, en este caso el espacio radioeléctrico, ya sea brindando alternativas de conectividad, que mejoren el rendimiento como, Wi-Fi, redes móviles, conexiones de fibra óptica, que, al estar juntas, pueden superar las limitaciones que cada una representa. (Coronel & Tenelanda 2016)

### 2.5.2. *Plataformas de IoT*

Una plataforma IoT, es un software que admite conectar sensores, actuadores y equipos industriales en un medio digital, generando una red para que logren comunicarse y crear información valiosa. (BARBARA 2021, p.1).

Existen diferentes tipos de plataformas, como, plataformas IoT cloud, plataformas IoT open source, entre otras, las mismas incluyen elementos principales (Barrera, Guerrero, y Urrutia 2021, p.3).

- Hardware: dispositivos y sensores, su función es captar información del entorno.
- Software: analiza la información enviada por el software y toma decisiones respecto a la información recibida, generalmente el software se encuentra en la nube, generando plataformas de IoT cloud.
- Conectividad: red facilita la transmisión de datos y ordenes desde el hardware a la nube.
- Interfaz de acceso: habilita la interacción entre usuarios y sistemas IoT (BARBARA 2021).

Una plataforma IoT, cumple un papel importante en la arquitectura de soluciones basadas en IoT, al construir un proyecto con estas características, los dispositivos que se conecten, enviarán datos a estas plataformas en la nube, los cuales pueden ser almacenados y sirven para construir gráficos respecto a los mismos. (Diéguez 2020, p.1), proporcionan los siguientes servicios:

- Integración de datos.
- Transformación de datos.
- Creación de una interfaz que indique datos.
- Gestión de reglas.
- Gestión de dispositivos.
- Gestión de seguridad.
- Integración de la plataforma IoT. (Diéguez 2020, p.1)

### 2.5.2.1. *Dispositivos IoT*

Los dispositivos IoT están compuestos por una placa de circuito con sensores conectados que utilizan Wi-Fi para su enlace a internet (ej, sensor de presencia en una habitación), existe una amplia variedad de dispositivos disponibles de diferentes fabricantes para construir su solución, como Arduino, o los microcontroladores que se programan con Arduino IDE. (Betts et al. 2022, p.1).

Estos dispositivos empleados con estas soluciones, envían datos o mediciones desde los sensores que tienen hacia los servicios en la nube en las plataformas IoT, o, también pueden enviar información desde la nube hacia los dispositivos.

Los dispositivos IoT cuentan con características diferentes a otras aplicaciones o dispositivos, como navegadores de internet o aplicaciones móviles, estos dispositivos a menudo funcionan sin la intervención humana, se los puede emplear en sitios remotos, y pueden ser dispositivos diseñados para tener un consumo energético reducido, alargando así su vida útil.

### 2.5.2.2. *Servicios de las plataformas*

Los servicios en la nube proporcionan funcionalidades como:

- Recibir telemetría, procesa y almacena los datos recibidos.
- Analizar la telemetría para tomar información, en tiempo real o después de recibir datos. (Diéguez 2020, p.1).
- Enviar comandos desde la nube a un dispositivo específico. (Betts et al. 2022, p.1)
- Controlar el estado de los dispositivos y monitorizar su actividad. (Delgado Prieto y Fernández Sobrino 2021)
- Administrar el firmware instalado en sus dispositivos. (Diéguez 2020, p.1)

Estos servicios permiten el monitoreo constante de diferentes dispositivos, conectados a internet, entre las plataformas de IoT se tiene:

- UBIDOTS
- THETHINGS
- KAA
- GOOGLE CLOUD IOT
- INTERNET DE LAS COSAS DE AMAZON
- MY DEVICES

## 2.6. Monitoreo de condición

Se denomina monitoreo de condición (MC), al proceso que evalúa periódicamente uno o más parámetros del equipo que se está monitoreando, para identificar cambios significativos que indiquen fallas operativas, lo cual permite evitar una mayor probabilidad de fallas antes del mantenimiento, también protege de posibles accidentes que se podría suscitar al personal que se encuentre laborando cerca de la maquinaria monitoreada. (Quisay Vera y Gaibor Ramos 2021, p.41).

A través de un monitoreo continuo, se pueden detectar fallas eléctricas, mecánicas y de proceso, también se pueden detectar fallas en el funcionamiento e incluso fallas de componentes, en determinadas máquinas (Saucedo Dorantes, Pérez Cruz, y Osornio Ríos 2021, p.5), , como en el banco de pruebas (Ausay Baquero y Estrada Tualombo 2020) de la Figura 9-2.



**Figura 9-2:** Banco de pruebas de rodamientos BPR-6206

**Fuente:** (Ausay Baquero y Estrada Tualombo 2020, p.41)

Se diferencian distintos tipos de monitoreo, como:

### 2.6.1. Monitoreo de temperatura

Someter a un motor a temperaturas superiores a las nominales por períodos de tiempo elevados puede provocar una reducción de la capacidad de aislamiento de los bobinados, disminución de su vida útil o incluso provocarles daños irreversibles.

En muchas aplicaciones la temperatura interna del motor es medida empleando sensores. A partir del monitoreo de las mediciones de temperatura, el accionamiento es capaz de evitar que el motor supere la temperatura nominal durante períodos de tiempo demasiado largos, reduciendo o interrumpiendo la corriente suministrada al motor (Sonnaillon et al. 2006, p.2).

La temperatura, aunque es difícil de determinar, se puede medir de muchas maneras diferentes y por factores. La física térmica es la rama de la física que estudia los fenómenos de temperatura, transformación y transferencia de energía (JM Industrial 2022, p.1).



**Figura 10-2:** Monitoreo de temperatura con cámara térmica

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### **2.6.2. Monitoreo de velocidad**

El monitoreo de velocidad de motores eléctricos posee sistemas realimentados, que usualmente requiere la incorporación de sensores mecánicos a fin de conocer la posición del rotor y calcular su velocidad para determinar las acciones necesarias de control, en la Figura 11-2 se aprecia el control de velocidad del eje de un motor trifásico. (Ramírez Betancour et al. 2018, p.2).



**Figura 11-2:** Monitoreo de velocidad con tacómetro.

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### **2.6.3. Monitoreo de vibraciones**

Todas las máquinas generan vibraciones como parte normal de su actividad, sin embargo, las características de las vibraciones cambian al fallar alguno de sus componentes, si se detecta

vibraciones anómalas en la maquinaria es posible detectar dichos fallos, la Figura 12-2, muestra el monitoreo de vibraciones, con el VibraCHECK de un motor eléctrico trifásico.



**Figura 12-2:** Monitoreo de vibración con VibraCHECK

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

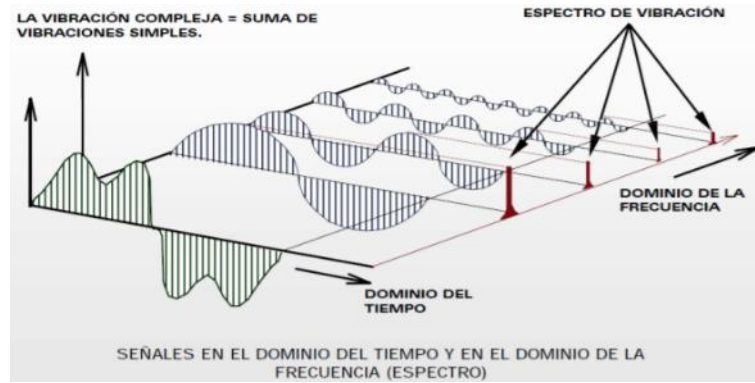
Al utilizar plenamente las vibraciones como fuente de información para el monitoreo de condición, se necesita de las medidas de amplitud, frecuencia y fase. En algunos casos la amplitud es el indicador primario de calidad de condición, la frecuencia y fase son parámetros que ayudan a la identificación de defectos específicos en elementos afectados, también pueden identificar la calidad de estado (Palomino Marín, Cabrera Gómez y Cepero Aguilera 2018, p.5).

Parámetros característicos de las vibraciones, como:

- **Desplazamiento.** – Indica la cantidad de movimiento que experimenta la masa respecto a su punto de reposo.
- **Periodo.** – Tiempo que tarda la masa o el cuerpo experimental en realizar un ciclo completo.
- **Frecuencia.** – Número de ciclos que se dan en una unidad de tiempo.
- **Velocidad.** – Es la proporción del cambio de posición con respecto al tema.
- **Aceleración.** – Proporciona la medida del cambio de velocidad con respecto al tiempo.

Debido a la complejidad que presentan las señales de vibraciones, muchas veces, es necesario convertirlas en señales más sencillas para facilitar su análisis e interpretación. Esto se consigue transformando la señal al dominio de la frecuencia a través de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), la cual captura la señal en el tiempo, la transforma en una serie de señales sinusoidales y las conduce al dominio de la frecuencia, como se muestra en el Figura 13-2, mostrando así el proceso de transformación de una señal, desde el dominio del tiempo hasta el dominio de la frecuencia. (Olarde C, Botero A, y Cañon Z 2010, p.4).





**Figura 13-2:** Transformación de vibración a frecuencia

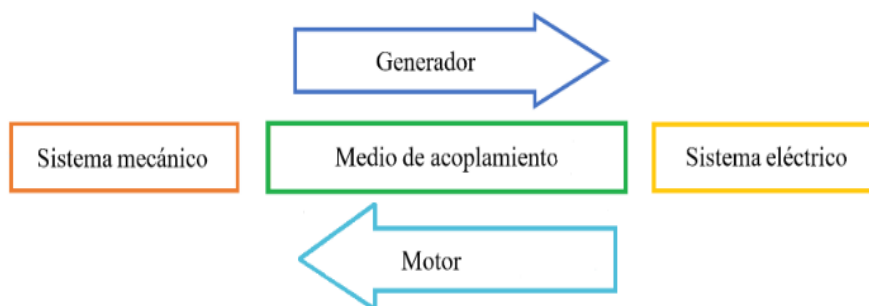
Fuente: (Olarate C et al. 2010)

Los instrumentos que analizan vibraciones capturan las señales por medio de sensores conocidos como acelerómetros. Estos son colocados directamente sobre la máquina en los puntos que son susceptibles a fallas. por lo general los ejes, ya que son las piezas que tienden a dañarse con mayor frecuencia, razón por la cual, un buen sitio para colocar los sensores es sobre los apoyos de los rodamientos, ya que por ellos se transmiten las vibraciones (Olarate C et al. 2010, p.3).

## 2.7. Máquinas rotativas

Las máquinas rotativas, transforman la energía eléctrica en mecánica, o viceversa, Figura 14-2, se dividen en dos grandes grupos que son; motores y generadores, los motores se encargan de transformar la fuerza electromotriz en energía mecánica, y los generadores se encargan de transformar la energía mecánica en energía eléctrica (Lupac 2012, p.1).

En la actualidad no existe una industria de producción considerable que no contenga como mínimo un motor o un generador, ya que, por su versatilidad, se han convertido en una pieza fundamental para las industrias.

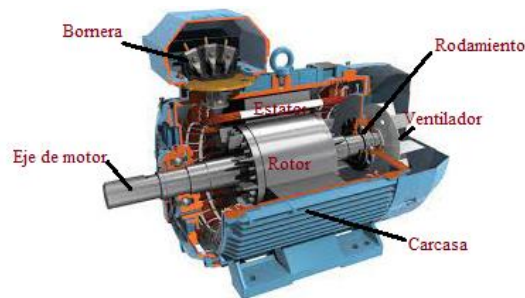


**Figura 14-2:** Reversibilidad

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 2.7.1. Componentes de un motor eléctrico

Toda máquina eléctrica rotativa, posee características que les son comunes, y en su mayoría constan de los siguientes elementos, como se aprecia en la Figura 15-2.



**Figura 15-2:** Motor asíncrono trifásico

Fuente: (Distribimotor 2021)

- Inductor o estator.
- Inducido o rotor.
- Escobillas.
- Culata o carcasa.
- Entrehierro.
- Rodamientos.

### 2.7.2. Modos de funcionamiento del motor eléctrico

Los motores eléctricos, son empleados por su funcionamiento, mismo que se basa en los principios del electromagnetismo, es decir, cuando se aplica una fuerza en presencia de una corriente eléctrica, en un campo magnético, esta crea una fuerza de torsión en un bucle de alambre presente en el campo magnético, que hace que el motor gire, y realice un trabajo (Gonzalez Fuquene 2015, p.3) de alta potencia, como mover o levantar cosas pesadas, entre otras operaciones.

Se deben distinguir los siguientes tres modos de funcionamiento:

#### 2.7.2.1. Funcionamiento a corto plazo

Se da durante el período de trabajo, cuando la temperatura del motor no es suficiente para alcanzar el estado estable, su período de inactividad generalmente ocurre después de que la vida útil es tan larga que la temperatura del motor desciende a la temperatura ambiente. (motor de puentes levadizos, cerraduras).

### 2.7.2.2. *Funcionamiento continuo*

Caracterizado por el periodo de trabajo prolongado, para que el calentamiento de la máquina alcance su estado estable. (motores de ventiladores, compresores, bombas, grupos electrógenos, entre otros). (Salcedo Martínez 2018, p.1).

### 2.7.2.3. *Modo de operación intermitente*

Se caracteriza por la alternancia de periodos de trabajo y periodos de descanso. La duración de un periodo de trabajo y una pausa no debe exceder los primeros minutos, el modo intermitente se determina por la duración relativa del periodo de trabajo.

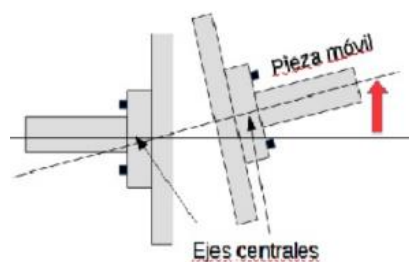
## 2.7.3. *Fallos*

### 2.7.3.1. *Desequilibrio*

No siempre es necesario que exista un desequilibrio mecánico real, para que exista un desequilibrio en la máquina. La inestabilidad aerodinámica o hidráulica también puede causar un desequilibrio en la máquina. (Arias 2018, p.1)

### 2.7.3.2. *Desalineación*

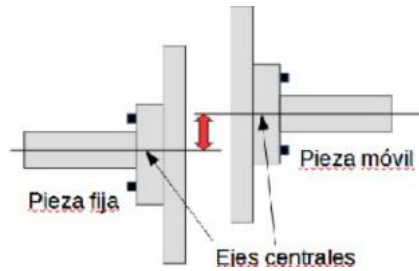
La desalineación es el defecto más usual en la industria, es el producto de dos ejes conectados mediante acoplamientos. Pero también se puede dar entre dos puntos de la máquina o entre cojinetes de un eje sólido (Arias 2018, p.1). Las desalineaciones pueden darse tanto de manera vertical, como horizontal, si en los acoplamientos se notan niveles elevados de vibraciones del tipo radial, generalmente tiende a sufrir una desalineación paralela de los ejes acoplados. (Cabrera Meza 2019, p.23)



**Figura 16-2:** Desalineación angular

Fuente: (MYG Inc 2020)

En la Figura 16-2, se aprecia la desalineación angular, la cual se da después de que la línea central de los ejes que están acoplados, forme un ángulo entre sí. Este tipo de desalineación generará una vibración axial.



**Figura 17-2:** Desalineación paralela

Fuente: (MYG Inc 2020)

En la Figura 17-2, se aprecia la desalineación paralela, la cual se presenta por la distancia perpendicular existente entre la línea central de un eje respecto al otro eje.

## 2.8. Softwares para programación y diseño

Para el diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos mediante IoT, es necesario el manejo de diversos softwares y plataformas de IoT, como, Proteus, SolidWorks, Arduino IDE, MATLAB, Cayenne myDevices. Las mismas cumplen funciones esenciales para el desarrollo de un sistema de adquisición de datos.

### 2.8.1. Proteus

Proteus es un software para la simulación de circuitos electrónicos y diseño de tarjetas o placas PCB, permite la visualización 3D de las tarjetas diseñadas, crea componentes simulables dentro de su entorno, y cuenta con sistema de tabulación de costos (Universo de la Mecatrónica, p.1), en la Figura 18-2, se visualiza la pantalla de Proteus.



**Figura 18-2:** Pantalla de Proteus

Fuente: (Ribado 2015)

## 2.8.2. SolidWorks

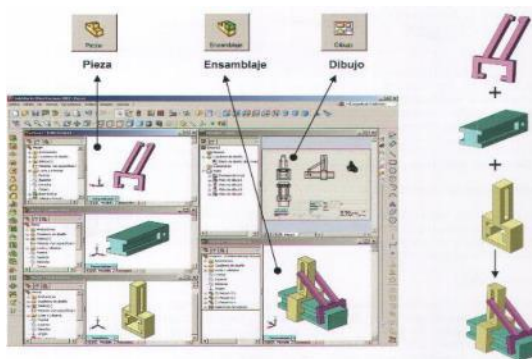
SolidWorks es un software de diseño CAD 3D, para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D, mediante la creación, diseñar y simular de forma precisa, también nos permite tener una animación en tiempo real del diseño. (SOLIDDBI 2022, p.1), en la Figura 19-2, se ilustra la pantalla de SolidWorks.



**Figura 19-2:** Pantalla de SolidWorks

**Fuente:** (Hirschtick M.S. 2022)

SolidWorks ofrece tres módulos para el diseño: Módulo Pieza, Módulo Ensamblaje y Módulo Dibujo; los mismos que están relacionados entre sí. En la Figura 20-2, se ilustran los Módulos existentes en SolidWorks



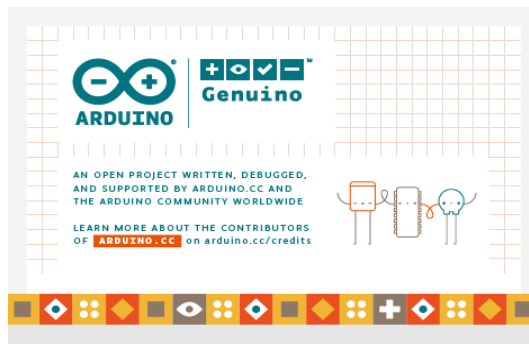
**Figura 20-2:** Módulos existentes en SolidWorks

**Fuente:** (Mecatrónica Y Mecanizado 2013)

- **El módulo pieza:** permite crear modelos tridimensionales a partir de diagramas en 2D; para luego convertirlos en figuras sólidas.
- **El módulo ensamblaje:** crea conjuntos gráficos a partir de diseños creados en el módulo pieza, para verificar un acople adecuado entre las piezas del diseño.
- **El módulo dibujo:** permite obtener las vistas estándar, las acotaciones, los materiales, secciones y cortes, entre otras.

### 2.8.3. *Arduino IDE*

Arduino IDE es un software de código abierto basado en Java, es un conjunto de herramientas de software que permite escribir, depurar, editar y grabar nuestro programa (llamados “sketches” en el mundo Arduino) de una manera sumamente sencilla, para posteriormente cargarlo al módulo PCB (microcontrolador). (ARDUINO 2022, p.1). Figura 21-2, la pantalla de Arduino IDE.

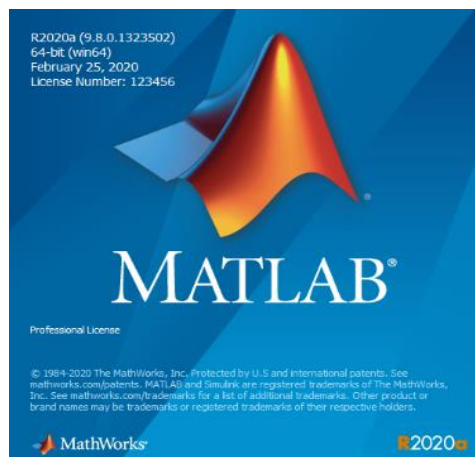


**Figura 21-2:** Pantalla Arduino IDE

**Fuente:** (Banzi et al. 2022)

### 2.8.4. *MATLAB*

MATLAB es un software para analizar datos, desarrollar algoritmos, crear modelos y aplicaciones, las funciones matemáticas integradas, permiten explorar rápidamente múltiples enfoques para llegar a una solución, permite llevar ideas de investigación a la producción mediante la implementación en aplicaciones empresariales y dispositivos integrados, así como la integración con Simulink® y el diseño basado en modelos.(Guerrero Pilco 2020, p.1). Figura 22-2

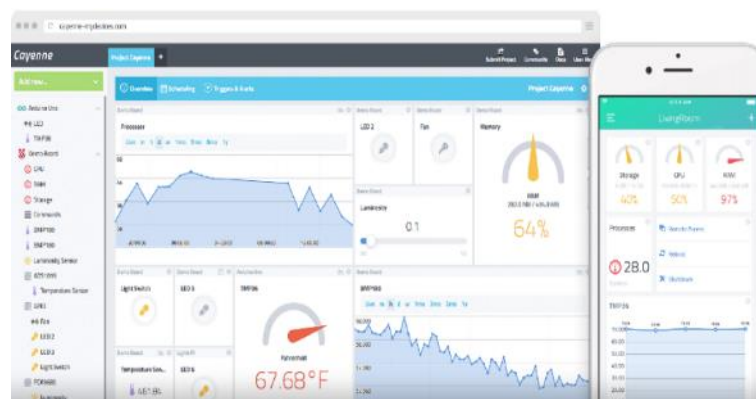


**Figura 22-2:** Pantalla de MATLAB

**Fuente:** (Moler 2022)

### 2.8.5. Cayenne myDevices

Es una plataforma de prototipado de dispositivos del IoT. La mayor ventaja es que nos permite configurar el sistema sin programar, es una solución visual, se arrastran y se sueltan widgets para gestionar y controlar dispositivos conectados a internet, es una API MQTT, compatible con redes inalámbricas, tiene apoyos de grandes empresas de la industria tecnológica como Microchip y Smetch y del hardware libre como Arduino IDE, soporta varios tipos de placas y hardware: Raspberry Pi, Arduino, ESP8266 y varias redes y dispositivos LoRaWan. (Valle Hernández 2022, p.1), Figura 23-2, muestra la pantalla de Cayenne myDevices, la visualización de las ventanas para dispositivos de escritorio como móviles.



**Figura 23-2:** Pantalla de Cayenne myDevices

**Fuente:** (Valle Hernández 2022)

## CAPÍTULO III

### 3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

#### 3.1. Diseño del sistema de adquisición de datos

Para el diseño del sistema de adquisición de datos, se ha tomado como punto de partida los tipos de datos a capturar (variables), los sensores que acondicionarán las señales captadas (con ayuda de trimmer), el hardware que digitalizará y cuantificará las señales capturadas (microcontrolador), y finalmente el software que adquirirá los datos (plataforma de IoT Cayenne myDevices).

Los datos a adquirir serán de máquinas eléctricas rotativas, en donde existen muchos parámetros que pueden ser analizados con el fin de entender su comportamiento, para el presente trabajo técnico se ha seleccionado las variables de: temperatura, velocidad y vibración, en donde, éstas se definen como las variables a monitorear.

#### 3.2. Selección de los sensores para el SAD.

En la selección de los sensores o transductores se tiene en cuenta variables asociadas a los rangos de operación, linealidad, costo y disponibilidad.

También se considera las condiciones de funcionamiento, como son:

- Precisión
- Sensibilidad
- Temperatura
- Salida discreta o análoga
- Frecuencia de trabajo máxima
- Capacidad para medir parámetros eléctricos
- Velocidad de respuesta
- Distancia al objetivo
- Voltajes de salida

La Tabla 1-3 muestra los sensores finalmente seleccionados junto a sus rangos de medida y relaciones de transformación.



**Tabla 1-3:** Características técnicas y rangos de medida de los sensores del SAD

Variable a capturar	Sensor seleccionado	Rango de medida	Relación de transformación
Temperatura	Sensor infrarrojo MLX90614	-40 °C a 125 °C TA -70 °C a 380 °C TO	
Velocidad	Encoder incremental E6B2-CWZ3E	0 - 100 kHz	1000 pulsos/rotación
Vibración	Acelerómetro triaxial MPU9250	Rango acelerómetro:	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$
		Rango giroscopio:	$\pm 250\text{Grad/s}, \pm 500\text{Grad/s}, \pm 1000\text{Grad/s}, \pm 2000\text{Grad/s}$
		Rango magnetómetro:	$\pm 4800\mu\text{T}$

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.2.1. *Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614*

El sensor MLX90614, es un termómetro infrarrojo para mediciones de temperatura sin contacto, tanto el chip detector de termopila sensible a IR como el (Robot 2022) acondicionador de señal ASIC, están integrados en la misma base TO-39. Gracias a su amplificador de bajo ruido, su ADC de 17 bits y su potente procesador digital, se consigue una alta precisión y resolución del sensor.

El sensor viene calibrado de fábrica con una salida digital SMBus, la cual brinda acceso total a la temperatura medida en el rango de temperatura completo con una resolución de 0,02 °C, se puede configurar la salida digital para que sea modulación de ancho de pulso, como estándar el PWM de 10 bits está configurado para transmitir continuamente la temperatura medida en un rango de -20 a 120 °C, con una resolución de salida de 0,14 °C (COLOMBIANIZATE 2022, p.1). Figura 1-3 muestra al sensor.



**Figura 1-3:** Sensor de temperatura MLX90614

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.2.1.1. Características

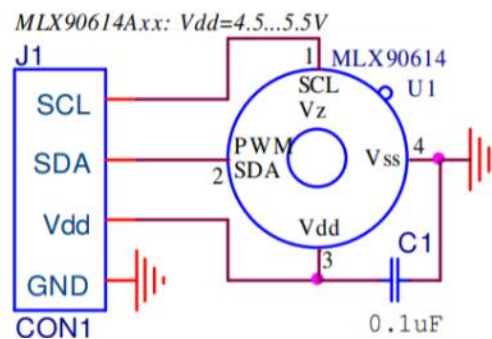
- Tamaño pequeño y bajo costo.
- Fácil de integrar.
- Versiones de 1 o 2 zonas.
- Modo de ahorro de energía.
- Salida PWM personalizable para lectura continua.
- Adaptación simple para aplicaciones de 8 a 16V.
- Diferentes opciones de paquetes para versatilidad de aplicaciones y medidas.
- Interfaz digital compatible con SMBus para lecturas rápidas de temperatura y redes de sensores de construcción.

**Tabla 2-3:**Características técnicas del MLX90614 (Naylamp 2021, p.1)

Descripción	Valor de medida
Tensión de alimentación	3 V (3,6 V a 5 V)
Corriente de suministro	1,5 mA
Rango de temperatura del objeto	-70 °C – 382,2 °C
Rango de temperatura ambiente	40 °C – 125 °C
Precisión	0,02 °C
Campo de visión	80°
Precisión de medida	0.1 °C
Distancia entre objeto y sensor	2 cm – 5 cm (aprox.)

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.2.1.2. Esquema del sensor



**Figura 2-3:** Esquema del sensor MLX90614

Fuente: (Thermometer, 2013.)

Por sus diversas características y modo de uso, este sensor ha sido seleccionado para conformar el SAD, también los otros 2 sensores que vemos a continuación:

### 3.2.2. *Sensor de velocidad, encoder incremental E6B2-CWZ3E*

El encoder incremental E6B2-CWZ3E Figura 3-3, incorpora una cubierta con junta de goma de construcción IP64 a prueba de salpicaduras, lo que permite al usuario utilizarlo en lugares con salpicaduras de agua o pulverizaciones de aceite, su eje soporta cargas elevadas gracias a que su robustez se lo permite. Cuenta con un circuito de protección contra daños provocados por el cableado incorrecto de la salida, utiliza un receptor LED, PCB de alta densidad y soporte sellado. (OMRON 2022, p.1) Tiene una salida oblicua del cable que facilita la posición de montaje, este encoder es ideal ya que, en funcionamiento, determina el ángulo de posición a raíz de realizar cuentas incrementales, donde cada posición es completamente única, (CLR 2022) entregando 1.000 pulsos por revolución/vuelta dada.



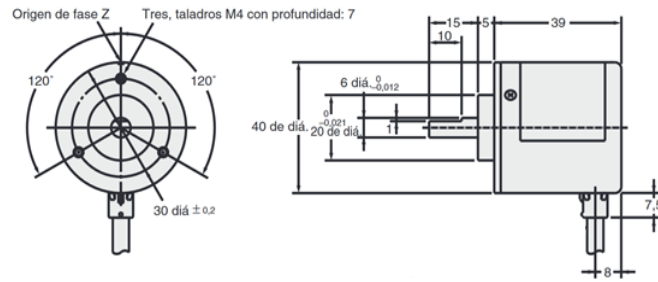
**Figura 3-3:** Encoder incremental E6B2-CWZ3E

**Fuente:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 3.2.2.1. *Características*

- El circuito de protección contra cortocircuito y conexión invertida aseguran una alta fiabilidad en su funcionamiento.
- El eje de acero inoxidable tiene una mayor estabilidad y protección.
- La carcasa de metal es más sólida y anti impacto.
- Soporta carga pesadas, anti aceite y agua.
- Aplicaciones a una amplia variedad de control mecánico e industrial.
- Alta resolución (1000 pulsos por rotación).
- Fácil ajuste de la posición inicial (gracias a la función de paso por cero).
- Permiten una carga grande de 30 N en dirección radial y de 20 N en dirección axial.

La Figura 4-3, muestra el diagrama de construcción del E6B2-CWZ3E.



**Figura 4-3:** Diagrama de construcción del encoder E6B2-CWZ3E

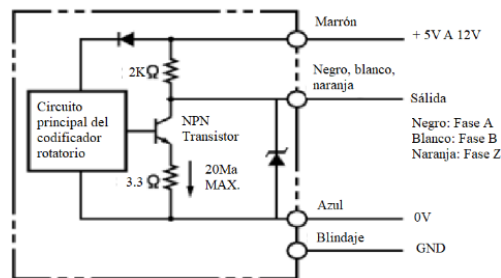
Fuente: (Guerra Carmenate 2022)

### 3.2.2.2. Diagrama del circuito de salida

**Tabla 3-3:** Características técnicas del encoder E6B2-CWZ3E, (OMRON 2022)

<b>Tensión de alimentación</b>	5 a 12 Vc.c.	
<b>Configuración de salida</b>	Salida de tensión PNP	
<b>Resolución (impulsos/rotación)</b>	0, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 300, 360, 400, 500, 600, 1000	
<b>Consumo actual</b>	100 mA máx	
<b>Resolución</b>	1000 P/R	
<b>Corriente de irrupción</b>	Aprox. 9 A (0,3 ms)	
<b>Fases de salida</b>	A, B y Z	
<b>Salida de control</b>	<b>Tipo de salida</b>	NPN
	<b>Resistencia de salida</b>	2 k $\Omega$
	<b>Corriente de salida</b>	20 mA MÁX.
	<b>Voltaje residual</b>	0,4 Vmáx. (a corriente de sumidero 20 mA)
<b>Frecuencia máx. de respuesta</b>	100 kHz	
<b>Diferencia de fase de salida</b>	90° +- 40° entre Ay B	
<b>Tiempo de subida y bajada de salida</b>	1 $\mu$ s máx	
<b>Par de arranque</b>	0,98 mN*m Máx	
<b>Momento de inercia</b>	3 x - 10 <sup>-7</sup> kg * m <sup>2</sup> máx	
<b>Carga del eje</b>	Radial: 30 N, Empuje: 20N	
<b>Máx. rotación permitida</b>	1000 RPM	
<b>Resistencia de aislamiento</b>	Entre las partes cargadas y la carcasa 20M $\Omega$	
<b>Resistencia dieléctrica</b>	Entre partes cargadas y la caja: 500 VAC 50/60 Hz 1 min	
<b>Resistencia de vibración</b>	Destrucción: 10 a 500 Hz, 2mm o 150 m/s <sup>2</sup> doble amplitud durante 11 min, 3 veces en cada una de las direcciones X, Y y Z.	
<b>Resistencia a los golpes</b>	Destrucción: 1000m/s <sup>2</sup> por 3 veces en cada una de las direcciones X, Y y Z.	

Fuente: (OMRON 2022)



**Figura 5-3:** Diagrama del circuito de salida del encoder E6B2-CWZ3E

Fuente: (Guerra Carmenate 2022)

**Tabla 4-3:** Tiempos del encoder E6B2-CWZ3E respecto a las fases

Fase de salida	Dirección de rotación	Modo de salida
Fase A Fase B Fase C	CW (sentido del reloj) visto desde el extremo del eje	
	CCW (sentido contrario del reloj) visto desde el extremo del eje	

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.2.3. Sensor de vibración MPU9250

El sensor MPU9250 contiene todo lo necesario para realizar rastreo de movimiento de 9 ejes, integra tres funcionalidades, giroscopio de 3 ejes, acelerómetro de 3 ejes y magnetómetro de 3 ejes, en un solo chip, integra también un DMP (procesador digital de movimiento), capaz de realizar complejos algoritmos de captura de movimiento de 9 ejes. (Naylamp Mechatronics 2022)

Se comunica con microcontroladores a través de una interfaz I2C, posee una librería muy difundida para su uso inmediato, este sensor puede entregar 9 grados de libertad e incorporar un regulador de tensión a 3.3 V y resistencia pull-up para su uso directo por I2C. Para capturar movimientos rápidos y lentos el sensor posee un rango de escala programable de 250/500/1000/2000 grados/seg para el giroscopio, 2/4/6/8 grados para el acelerómetro y +-4800µT para el magnetómetro. (Naylamp Mechatronics 2022, p.1)

Teniendo en cuenta esta información nos enfocamos en la parte del acelerómetro triaxial MPU9250, Figura 30-3, el cual es el más utilizado, ya que cuenta con una estructura que consiste en un sistema de tres acelerómetros, midiendo la aceleración en una dirección diferente, en los planos X, Y y Z, si la aceleración en cualquier plano actúa en dirección opuesta al sensor, la aceleración medida tendrá un valor negativo.



**Figura 6-3:** Sensor de vibración MPU9250

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.2.3.1. Características

- Sensor y acelerómetro de tres ejes con rangos de escala completa programable.
- Brújula de tres ejes con un rango de escala completa.
- Menor efecto de ajustes y deriva del sensor al eliminar los errores de alineación de los ejes transversales a nivel de la placa entre acelerómetro, el giroscopio y la brújula.
- El motor DMP (digital motion processing) elimina el movimiento de fusión complejo, la sincronización del tiempo del sensor y la detección de gestos.
- Cuenta con un algoritmo integrado para la calibración de la brújula y derivación del tiempo de ejecución, no se requiere la intervención del usuario.
- Las interrupciones programables admiten funciones, entre ellas reconocimiento de gestos, paneo, zoom, desplazamiento, detección de golpes y vibraciones.
- Es generador de sincronización en chip con +- 1 % de variación de frecuencia en el rango de temperatura completo.
- Tolerancia a choques de 10,000 g.

En la Tabla 5-3, se indican las características técnicas del MPU9250. (José 2014).

**Tabla 5-3:** Características técnicas del MPU9250

Descripción	Unidad/Condición
Voltaje de operación:	3,3 V – 5 V
Grados de libertad (DoF)	9°
Rango acelerómetro:	±2g, ±4g, ±8g, ±16g
Rango giroscopio:	±250Grad/Seg, ±500Grad/Seg, 1000Grad/Seg, ±2000Grad/Seg
Rango magnetómetro:	±4800μT
Interfaz:	I2C y SPI
Convertor AD:	16 Bits (salida digital)
Regulador de voltaje de	3.3 V integrado en placa
Dimensiones:	20*16*3 mm

Fuente: (José 2014).

### 3.2.4. Selección del hardware para el SAD (microcontrolador)

Para la implementación del SAD se cuenta con el hardware que digitalizará y cuantificará las señales capturadas, este hardware es el microcontrolador ESP-WROOM-32, Figura 25-3, es un potente módulo que integra Wi-Fi y Bluetooth de 2,4 GHz, ideal para dispositivos electrónicos portátiles y móviles, y para el desarrollo de productos de IoT. La integración de Wi-Fi permite una comunicación de mediano alcance, y el poder conectarse a una red LAN, a través de un Modem Router conexión a Internet (SSDielect 2022).

Los módulos MCU ESP-32-WROOM utilizan un chip ESP32-D0WD en su núcleo, este SoC cuenta con dos núcleos de CPU que se pueden controlar individualmente y la frecuencia de reloj de la CPU se puede ajustar desde 80 MHz a 240 MHz, integra un amplio conjunto de periféricos, que van desde sensores táctiles capacitivos, sensores Hall, interfaz de tarjeta SD Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2C e I2S (API 2021).

El microcontrolador también es ideal para aplicaciones de bajo consumo, ya que cuenta con activación de reloj de grano fino, múltiples modos de alimentación y escalado dinámico de alimentación. El ciclo de trabajo bajo se utiliza para minimizar la cantidad de energía que gasta el SoC ESP32, la salida del amplificador de potencia también es ajustable, lo que contribuye a un compromiso óptimo entre rango de comunicación, velocidad de datos y consumo de energía. El ESP32 SoC está altamente integrado con interruptores de antena incorporados, balun de RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, filtro y módulos de administración de energía, el ESP32 también agrega funcionalidad y versatilidad invaluable a las aplicaciones de IoT con requisitos mínimos de PCB.



**Figura 7-3:** Microcontrolador ESP-WROOM-32

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 3.2.4.1. *Características*

- Dos microprocesadores Xtensa® de 32 bits.
- Núcleo ESP32 D0WD.
- Capacidad de admitir múltiples chips QSPI flash y SRAM externos.
- ROM de 448 kB.
- Cifrado flash, flash SPI de 32 Mbits 3,3 V.
- Cristal de 40 MHz.
- Protocolo Wi-Fi 802.11 b/g/n (802.11n hasta 150Mbps)
- Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE
- Seguridad estándar IEEE 802.11.
- Regulador interno de baja caída.

- Dominio de potencia individual para RTC.
- Corriente de sueño profundo de 5  $\mu$ A.
- Cuenta con la función de despertar de la interrupción GPI, temporizador, medidas ADC, interrupción del sensor táctil capacitivo.
- Tarjetas SD, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S e interfaces de módulo IR.

En el datasheet Microcontrolador ESP-WROOM-32, se puede observar más especificaciones del microcontrolador.

La Tabla 6-3, indica las características técnicas del microcontrolador ESP-WROOM-32. (Systems 2022, p.1)

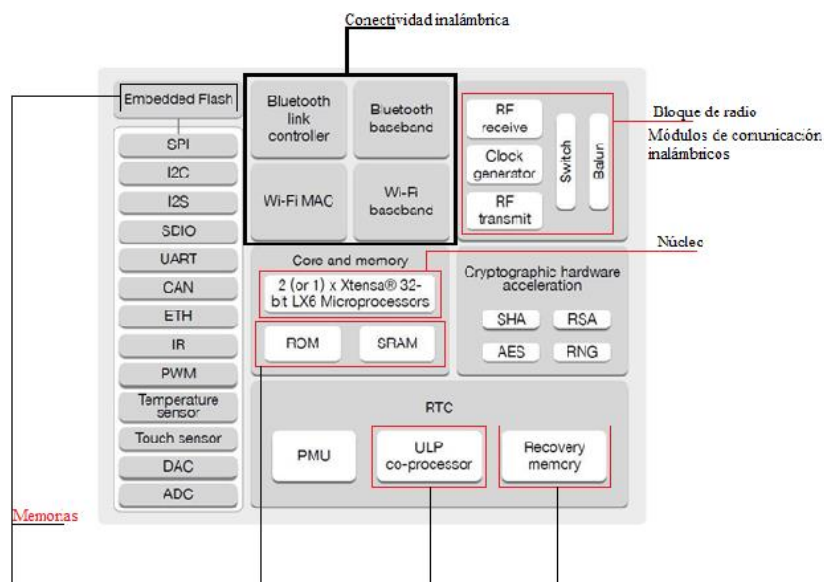
**Tabla 6-3:** Características técnicas del ESP-WROOM-32

Descripción	Unidad/Condición
Voltaje de alimentación:	3.3V DC (2.7~ 3.6V)
Voltaje lógico entradas/salida:	3.3V
Corriente de operación:	~80mA (fuente superior a 500mA)
Pines digitales GPIO:	34 (incluyendo todos los periféricos)
I2C:	2
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 °C a 85 °C

Fuente: (Systems 2022, p.1)

### 3.2.5. Diagrama de bloques funcionales del microcontrolador ESP-32

La Figura 8-3, muestra el diagrama de bloques funcionales del microcontrolador ESP-32.



**Figura 8-3:** Diagrama de bloques funcionales del microcontrolador ESP-32

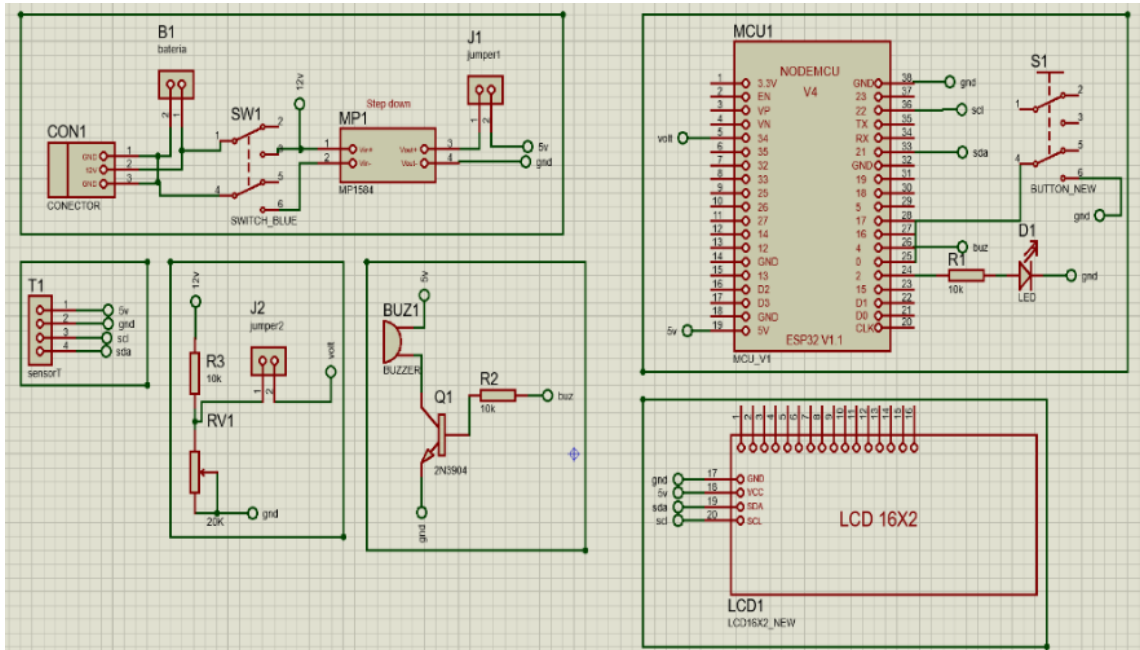
Fuente: (Systems 2022, p.1)



### 3.3. Diseño Proteus 8 Professional con los sensores y microcontrolador para el SAD

#### 3.3.1. Dispositivo MAE de temperatura

La Figura 9-3, da a conocer las conexiones de todos los elementos que conforman el dispositivo MAE de temperatura, para el diseño se utilizó el software Proteus 8 Professional



**Figura 9-3:** Diseño del dispositivo MAE de temperatura

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

##### 3.3.1.1. Tabla de conexiones del dispositivo MAE de temperatura

En la Tabla 7-3, se muestran los pines utilizados para la conexión del dispositivo MAE de temperatura, con el microcontrolador ESP-32.

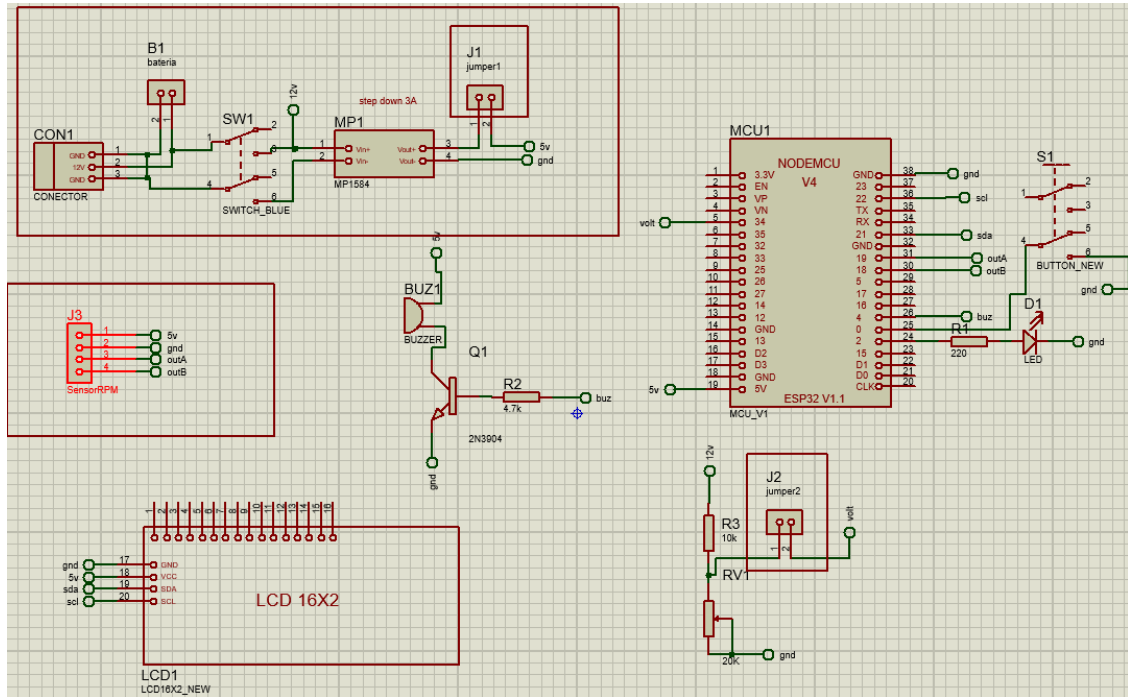
**Tabla 7-3:** Pines de conexión del dispositivo MAE de temperatura.

Tablas de conexiones del dispositivo MAE de temperatura		
No	Pin ESP 32	Conexión
1	34	Conexión al divisor de voltaje para cálculo del porcentaje batería
2	5V	Conexión al voltaje de alimentación de ESP32
3	GND	GND
4	22	Conexión SCL para la comunicación de la LCD y el sensor de temperatura
5	21	Conexión SDA para la comunicación de la LCD y el sensor de temperatura
6	4	Conexión para la activación del buzzer
7	0	Conexión para el botón de envío de datos
8	2	Conexión al led rojo

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.3.2. Dispositivo MAE de velocidad

La Figura 10-3 muestra las conexiones de todos los elementos que conforman el dispositivo MAE de velocidad.



**Figura 10-3:** Diseño del dispositivo MAE de velocidad

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 3.3.2.1. Tabla de conexiones del dispositivo MAE de velocidad

En la Tabla 8-3, se muestran los pines utilizados para la conexión del dispositivo MAE de velocidad, con el microcontrolador ESP-32.

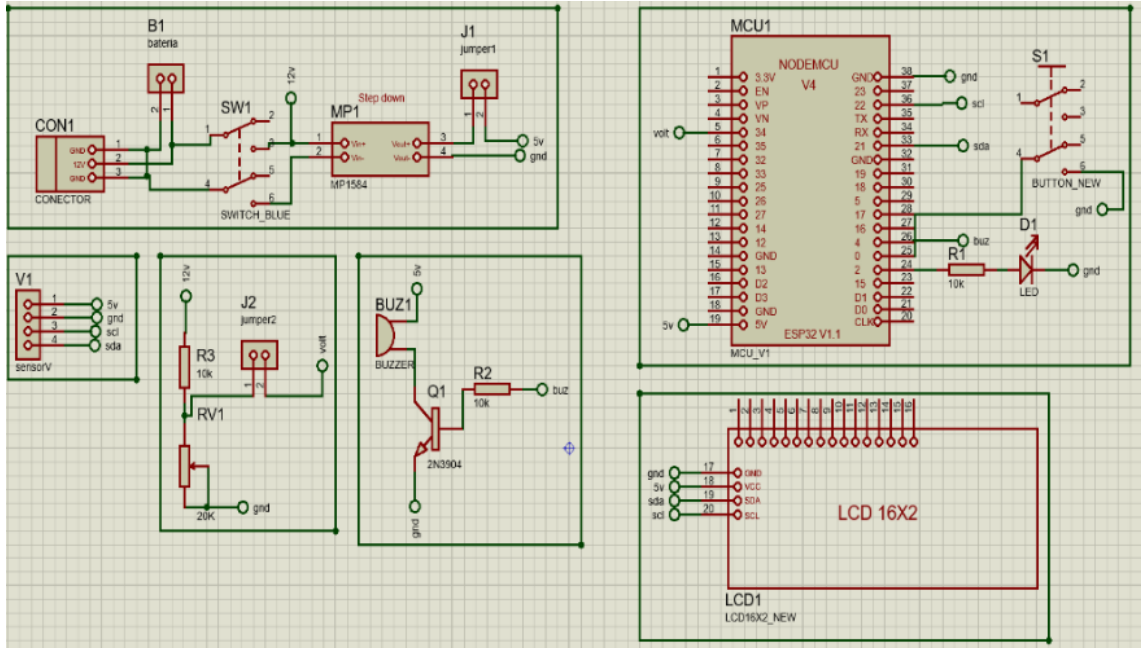
**Tabla 8-3:** Pines de conexión del dispositivo MAE de velocidad.

Tablas de conexiones del dispositivo MAE r de velocidad		
No	Pin ESP 32	Conexión
1	34	Conexión al divisor de voltaje para cálculo del porcentaje batería
2	5 V	Conexión al voltaje de alimentación de ESP32
3	GND	GND
4	22	Conexión SCL para la comunicación de la LCD y el sensor de temperatura
5	21	Conexión SDA para la comunicación de la LCD y el sensor de temperatura
6	4	Conexión para la activación del Buzzer
7	0	Conexión para el botón de envío de datos
8	2	Conexión al led rojo

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.3.3. Dispositivo MAE r de vibración

La Figura 11-3 da a conocer las conexiones de todos los elementos que conforman el dispositivo MAE de vibración.



**Figura 11-3:** Diseño del dispositivo MAE de vibración

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 3.3.3.1. Tabla de conexiones del dispositivo MAE de vibración

En la Tabla 9-3, se muestran los pines utilizados para la conexión del dispositivo MAE de vibración, con el microcontrolador ESP-32.

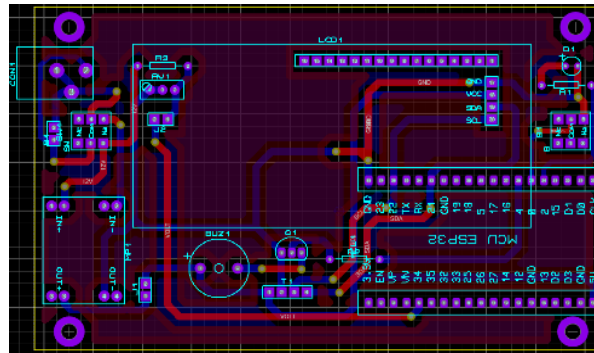
**Tabla 9-3:** Pines de conexión del dispositivo MAE de vibración

Tablas de conexiones del dispositivo MAE de vibración		
No	Pin ESP 32	Conexión
1	34	Conexión al divisor de voltaje para cálculo del porcentaje batería
2	5 V	Conexión al voltaje de alimentación de ESP32
3	GND	GND
4	22	Conexión SCL para la comunicación de la LCD y el sensor de temperatura
5	21	Conexión SDA para la comunicación de la LCD y el sensor de temperatura
6	4	Conexión para la activación del Buzzer
7	0	Conexión para el botón de envío de datos
8	2	Conexión al led rojo

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.3.4. *Diseño de la placa PCB para los dispositivos MAE del SAD*

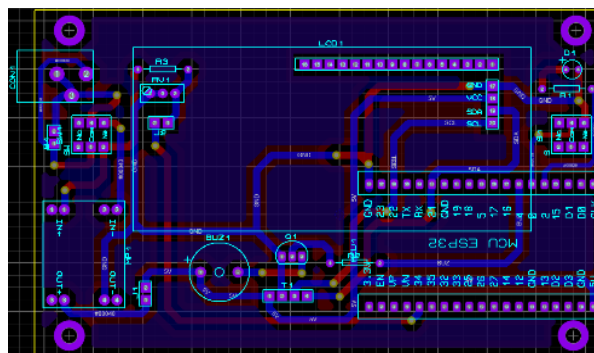
#### 3.3.4.1. *Diagrama de la placa PCB, para los dispositivos MAE*



**Figura 12-3:** Diseño PCB de la placa superior

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

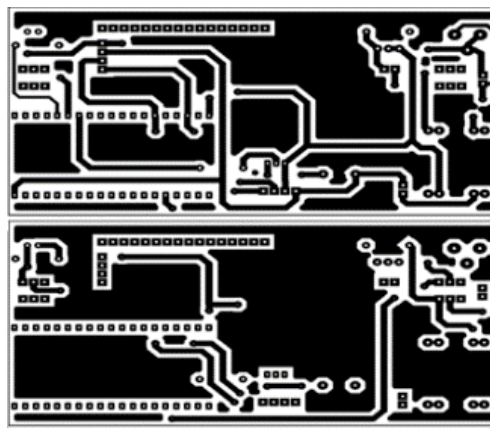
#### 3.3.4.2. *Diseño de la plancha PCB, para los dispositivos MAE*



**Figura 13-3:** Diseño PCB de la placa inferior

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

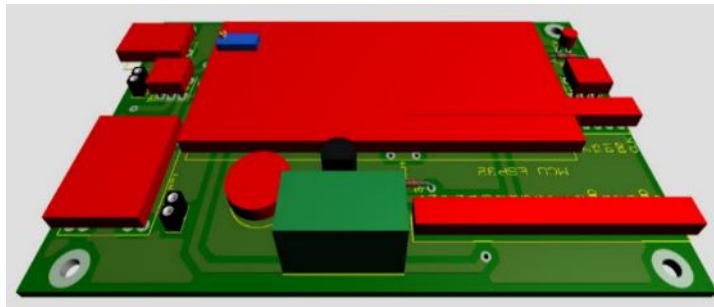
#### 3.3.4.3. *Diseño del planchado de la placa PCB*



**Figura 14-3:** Diseño PCB para el planchado.

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.3.4.4. Diseño 3D de la placa PCB


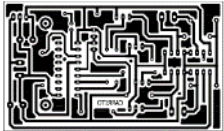












**Figura 15-3:** Vista del diseño en 3D

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.4. Elementos adicionales para la construcción del dispositivo MAE del SAD

**Tabla 10-3:** Elementos adicionales para la construcción de los dispositivos MAE

Componente	Gráfico	Componente	Gráfico
Baquelita fibra de vidrio, doble cara.		Papel para circuitos impresos	
Cloruro férrico		Pantalla LCD 16x2	
Pulsador		Switch de encendido y apagado	
Buzzer		Jumper	
Regulador de voltaje mp1584		6 conectores molex de 3 pines (macho + hembra + terminales de conexión)	
6 conectores molex de 4 pines (macho + hembra + terminales de conexión)		Potenciómetro	

CONTINUA

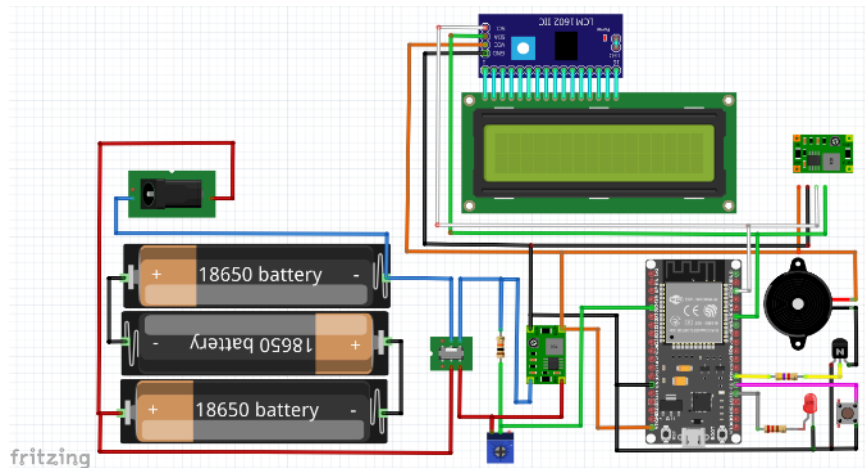
8 resistencias de 4.7 kΩ		Bornera	
Módulo I2C para LCD		Transistor 2N3904	
Conector hembra para cargador		Diodo led transparente rojo	
Baterías de litio 18650		Módulo cargador BMS, para 3 baterías de litio	
Alimentador para Arduino de 3 baterías		Espadines hembra y machos	
Router		Cargador de 12 V	
Papel para circuito impresos		Imanes de neodimio con orificio	
Caja para el dispositivo de velocidad		Caja para el dispositivo de vibración	
Caja para el dispositivo de temperatura # 1		Caja para el dispositivo de temperatura # 2	

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.5. Circuito electrónico del SAD, diseñado en el programa Fritzing 0.9

#### 3.5.1. Circuito electrónico del dispositivo MAE de temperatura

En la Figura 16-3, se puede visualizar, las selecciones de los componentes electrónicos, que están unidos en un solo circuito electrónico en el programa de Fritzing versión 210.9, para la construcción del dispositivo MAE de temperatura.

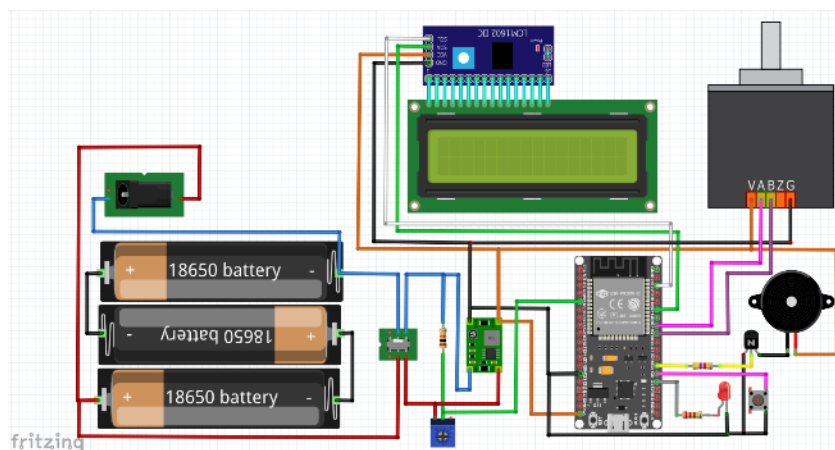


**Figura 16-3:** Circuito electrónico del dispositivo MAE de temperatura

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 3.5.2. Circuito electrónico del dispositivo MAE de velocidad

En la Figura 17-3, se puede visualizar, las selecciones de los componentes electrónicos, que están unidos en un solo circuito electrónico en el programa de Fritzing versión 210.9, para la construcción del dispositivo MAE de velocidad.

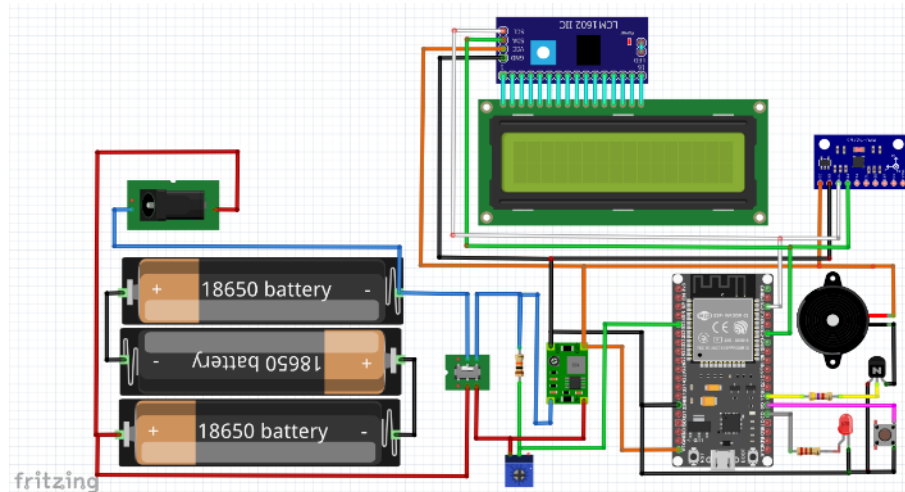


**Figura 17-3:** Circuito electrónico del dispositivo MAE de velocidad

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.5.3. Circuito electrónico del dispositivo MAE de vibración

En la Figura 18-3, se puede visualizar, las selecciones de los componentes electrónicos, que están unidos en un solo circuito electrónico en el programa de Fritzing versión 210.9, para la construcción del dispositivo MAE de vibraciones.



**Figura 18-3:** Circuito electrónico del dispositivo MAE de vibración

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.6. Software de adquisición y programación del SAD

La comunicación vía WI-Fi entre los sensores cada uno conectado a un microcontrolador ESP32 y la PC, se da configurando la plataforma de IoT Cayenne myDevices, obteniendo de ella sus códigos de ingreso, para posteriormente utilizarlos en la programación del microcontrolador con Arduino IDE, permitiéndonos así la adquisición de los datos con los sensores ya en línea, los datos se podrán observar en tiempo real en la plataforma, se programará también en MATLAB, con el fin de que una vez descargados los datos de la plataforma, éstos puedan ser procesados por el programa, para mostrarnos a los mismos de una forma más amigable.

Se ha seleccionado a Cayenne myDevices, ya que es una plataforma de prototipado de dispositivos del IoT, una de las mayores ventajas que tiene es que permite configurar el sistema sin programar. Permite crear paneles de control de una forma muy sencilla arrastrando y soltando widgets para visualizar, gestionar y controlar dispositivos conectados del IoT, a través de un broker MQTT, entre los servicios que ofrece, cabe resaltar el monitoreo remoto, alertas de aviso, código personalizado, una API MQTT y compatibilidad con redes LoRaWAN. Soporta varios tipos de placas y hardware, como ESP32.



### 3.7. Configuración en la plataforma de IoT Cayenne myDevices

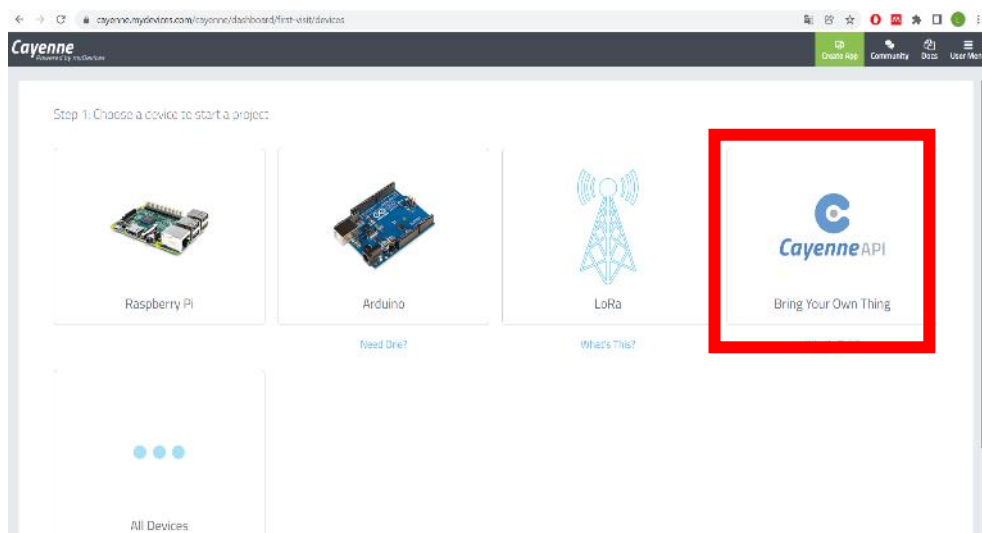
- a) Creación de la cuenta en la página oficial de Cayenne myDevices.



**Figura 19-3:** Creación de la cuenta en Cayenne myDevices

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- b) Una vez creada la cuenta en Cayenne myDevices, se direcciona al menú principal para añadir algún dispositivo. Cayenne myDevices tiene la opción de añadir casi cualquier dispositivo que tenga conexión a internet. Para el desarrollo del dispositivo se escogió la opción Cayenne myDevices API.



**Figura 20-3:** Elección del dispositivo a utilizar en Cayenne myDevices

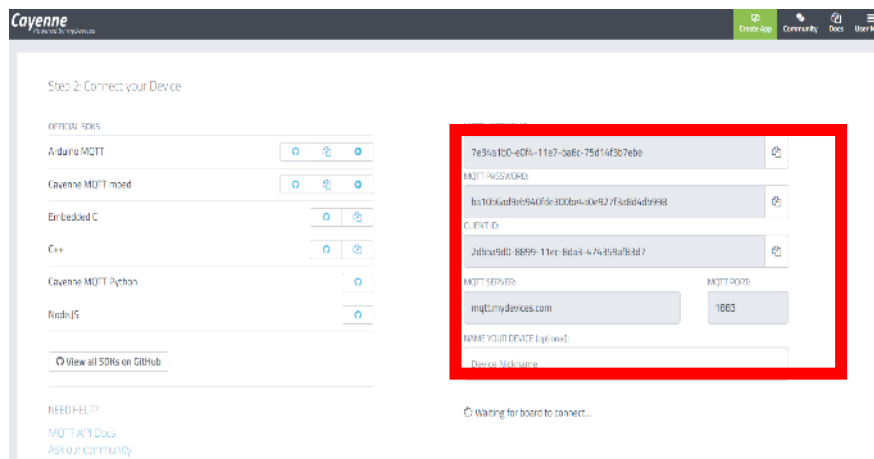
Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- c) Una vez seleccionado la opción, se realiza el segundo paso, que consiste en la conexión al dispositivo; para ello se deben copiar las claves que proporciona la plataforma, que son:

**Tabla 11-3:** Claves de acceso de Cayenne myDevices

Claves de acceso de Cayenne myDevices	
MQTT USERNAME	7e34a1b0-e0f4-11e7-ba6c-75d14f3b7ebe
MQTT PASSWORD	Ba10b6ad9eb940fde300be4a0e927f3a8d4db998
CLIENT ID	2dbba9d0-8899-11ec-8da3-474359af83d7

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



**Figura 21-3:** Claves en Cayenne myDevices API

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- d) Las claves se copiarán al código en Arduino IDE, como se nombró anteriormente, cada sensor posee una id diferente.



**Figura 22-3:** Códigos de Arduino IDE a Cayenne myDevices

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- e) Una vez culminada la configuración y colocando el nombre del sensor a la plataforma, se puede buscar automáticamente el dispositivo para enlazarlo.

NAME YOUR DEVICE (optional):

Sensor de Vibracion 1

⌄ Waiting for board to connect...

**Figura 23-3:** Enlace del dispositivo a Cayenne myDevices

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

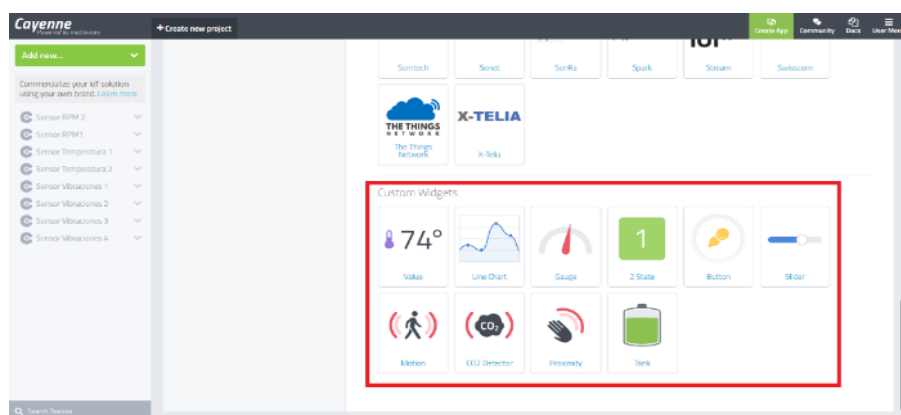
- f) Cuando la comunicación se establece se puede acceder al dashboard en el cual se agrega los widgets de control y visualización.



**Figura 24-3:** Selección de los widgets a utilizar en Cayenne myDevices

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- g) Para la visualización de los elementos se debe añadir, los diferentes widgets que se desea usar.



**Figura 25-3:** Visualización de los widgets añadidos a Cayenne myDevices

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

Los widgets a utilizar son:

- Widget de Value, en este campo se mostrará el valor numérico del sensor.
  - Widget line Chart, grafica en el tiempo el valor del sensor.
  - Widget tank, en este campo se mostrará el nivel de batería del sensor.
- h) Una vez añadido los widgets se debe configurar el canal de lectura, el canal 1 será la medida del sensor y el canal 2 el nivel de batería, en la etapa de programación.

```
oid cayenne_envio()  
  
if(millis() > Tiempo_envio + periodo_envio)  
{  
  Cayenne.virtualWrite(1, frecuencia, "analog_sensor", "null");  
  Cayenne.virtualWrite(2, porcentaje, "analog_sensor", "null");  
  CAYENNE_PRINT.println( "Enviando RRM a Cayenne. ");  
  CAYENNE_PRINT.println(frecuencia);  
  Tiempo_envio = millis();  
}
```

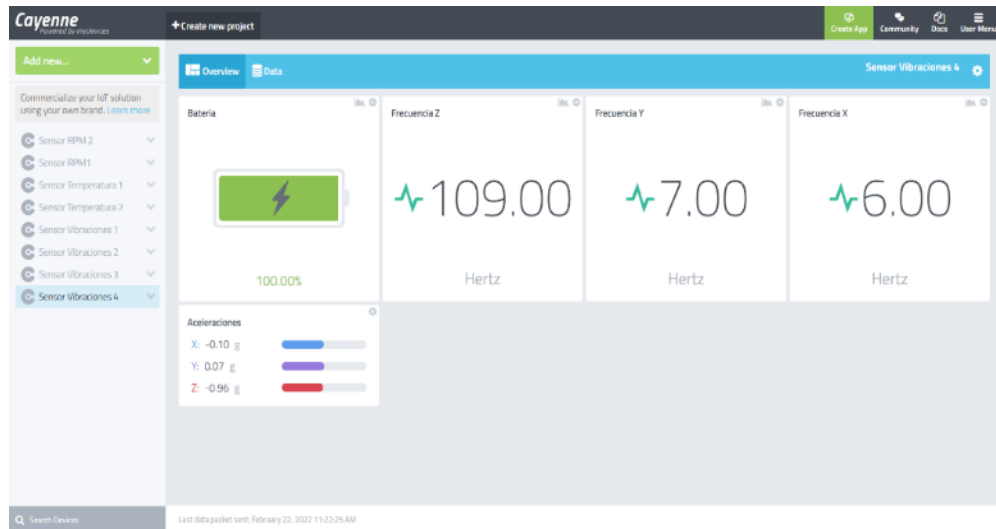
**Figura 26-3:** Programación del Arduino IDE, para Cayenne myDevices

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

The image shows two configuration panels for Cayenne myDevices widgets. The left panel is for a 'Value' widget, and the right panel is for a 'Tank' widget. Both are connected to the device 'Sensor Vibraciones Nodo1'. The 'Value' widget is set to display 'Frequency' in 'Hertz' on 'Channel 1'. The 'Tank' widget is set to display 'Tank Level' in 'Analog' on 'Channel 2'. The 'Channel' input fields for both widgets are highlighted with red boxes.

**Figura 27-3:** Widgets configurados en el canal de lectura

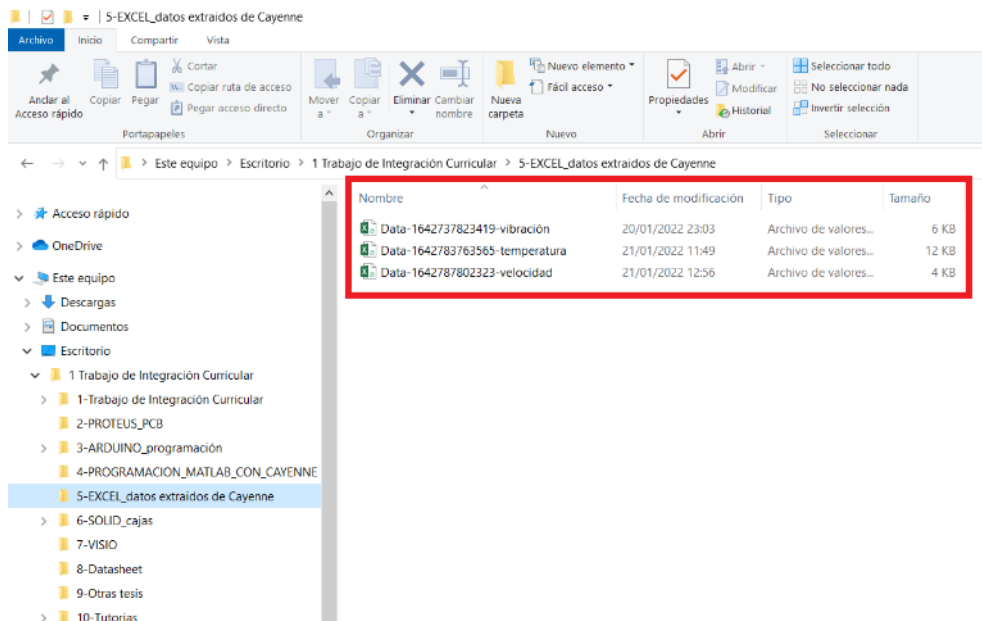
Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



**Figura 28-3:** Visualización de la plataforma Cayenne myDevices para el SAD

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- i) Una vez que se empieza a recibir los datos en la plataforma Cayenne myDevices, se pueden descargar como archivos csv.



**Figura 29-3:** Selección de los dispositivos a utilizar en Cayenne myDevices API

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- j) Los datos descargados se muestran de forma tal, que no se los puede manipular fácilmente, por ello se programa en MATLAB, para que el programa permita ordenarlos y descargarlos de forma fácil.

### 3.8. Programación de MATLAB con Cayenne myDevices

Configuración de MATLAB con Cayenne myDevices. La programación de MATLAB, como ya se ha dicho tiene como único fin, normalizar los datos que se descargan de la plataforma Cayenne myDevices (en Excel), debido a que los datos descargados no están ordenados adecuadamente como muestra la Figura 30-3.

Para la realización de la programación, se puede visualizar en el Gráfico 3-3. Al iniciar la aplicación, todos los componentes que lo constituyen; además de cargar los iconos, se selecciona el archivo de descarga de Cayenne myDevices, mediante una ventana de selección. Una vez se conoce el archivo se importan los datos y se calcula la longitud de los datos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Timestamp,"DeviceID","Channel","SensorName","SensorID","DataType","Unit","Value"										
2	2022-01-21T03:22:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
3	2022-01-21T03:23:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
4	2022-01-21T03:24:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","90"										
5	2022-01-21T03:25:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
6	2022-01-21T03:26:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","405"										
7	2022-01-21T03:27:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
8	2022-01-21T03:28:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","45"										
9	2022-01-21T03:29:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
10	2022-01-21T03:30:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
11	2022-01-21T03:31:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","165"										
12	2022-01-21T03:32:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","120"										
13	2022-01-21T03:33:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
14	2022-01-21T03:34:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
15	2022-01-21T03:35:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","675"										
16	2022-01-21T03:36:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
17	2022-01-21T03:37:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","0"										
18	2022-01-21T03:38:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","330"										
19	2022-01-21T03:39:00.000Z,"fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e","1","Channel 1","68c3cd20-7a69-11ec-8c44-371df593ba58","null","undefined","30"										

**Figura 30-3:** Descarga de los datos obtenidos en Cayenne myDevices

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

Mediante un ciclo FOR se realiza la separación de los datos mediante la búsqueda de los delimitadores en este caso el delimitador es “;” con un vector se almacena la posición de todos los delimitadores, se extrae los datos según la posición de cada uno de ellos.

```
data1=C(1:k(1)-1);
data2=C(k(1)+1:k(2)-1);
data3=C(k(2)+1:k(3)-1);
data4=C(k(3)+1:k(4)-1);
data5=C(k(4)+1:k(5)-1);
data6=C(k(5)+1:k(6)-1);
data7=C(k(6)+1:k(7)-1);
data8=C(k(7)+1:b);
```

**Figura 31-3:** Búsqueda de los delimitadores

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

Dichos datos son representaciones de:

- a) Tiempo de muestreo.
- b) Id del dispositivo.
- c) Canal.
- d) Nombre del sensor.
- e) Id del sensor.
- f) Tipo de dato.
- g) Unidad de medida.
- h) Valor.

Para la visualización, sólo se tomarán datos importantes como:

- a) Tiempo de muestreo.
- d) Nombre del sensor.
- g) Unidad de medida.
- h) Valor.

Una vez seleccionado las variables que se van a visualizar, se guardan en una variable tipo celda donde se almacenarán dichos datos.

En la Figura 32-3 se muestra a MATLAB normalizando los datos descargados de la plataforma de IoT Cayenne myDevices, y la ventana para guardar los datos ya normalizados.



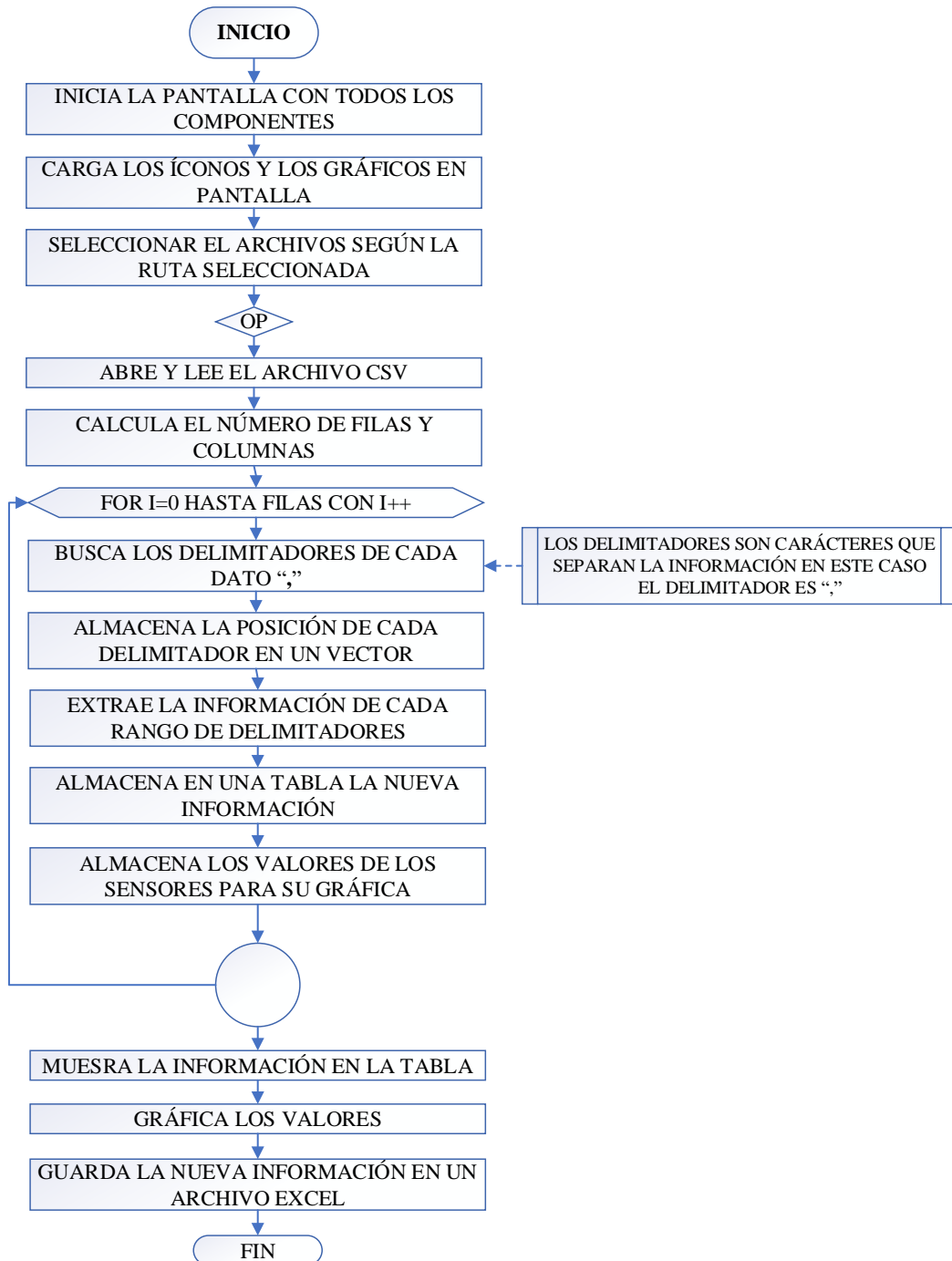
Figura 32-3: Visualización de datos y gráfico

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.9. Diagramas de flujo del SAD

#### 3.9.1. Diagramas de flujo de MATLAB con Cayenne myDevices

El diagrama de flujo describe el proceso, donde se muestra gráficamente los pasos a seguir para la programación de los diferentes sensores, con el microcontrolador, y la plataforma de IoT Cayenne myDevices.

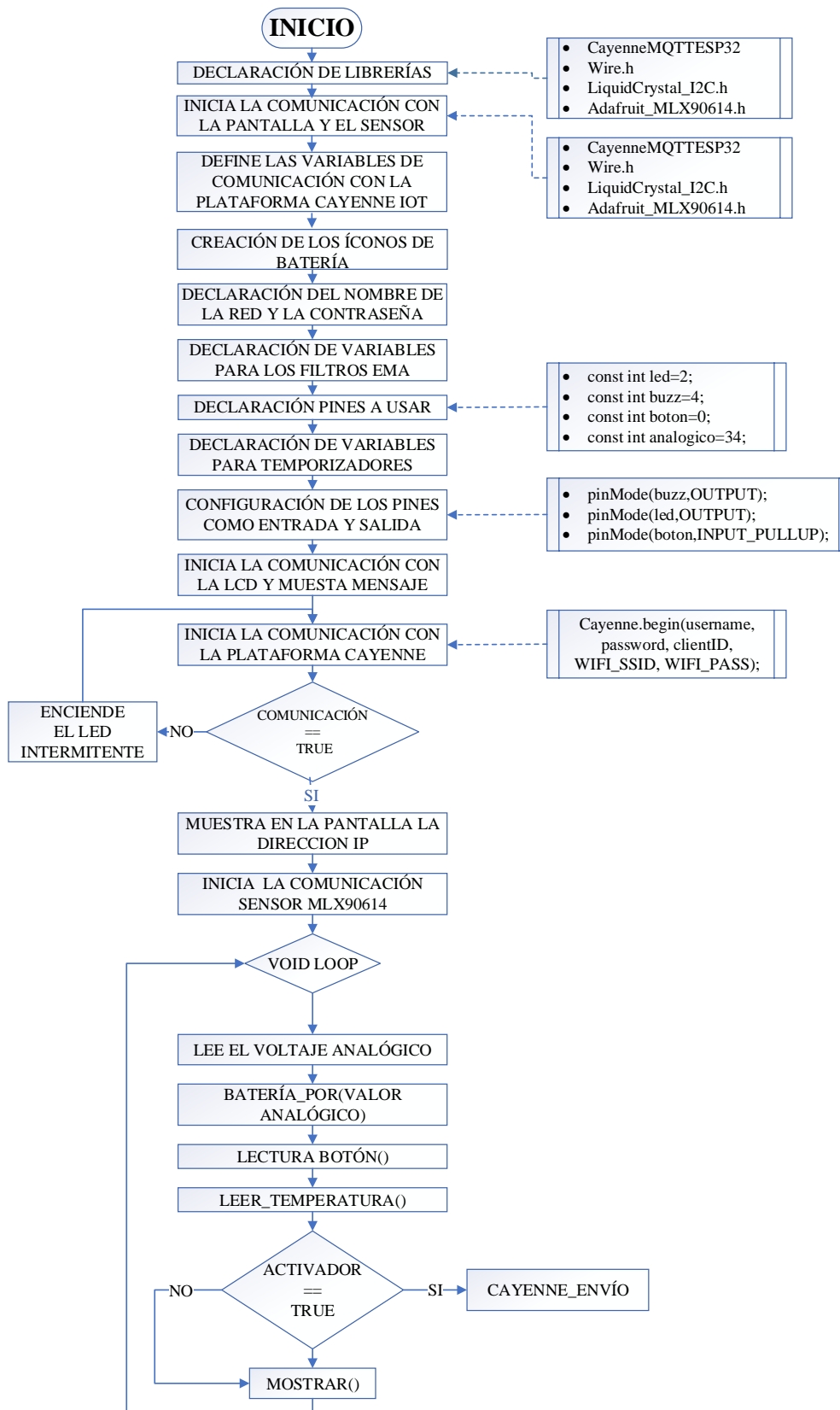


**Figura 33-3:** Diagramas de flujo de MATLAB con Cayenne myDevices

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



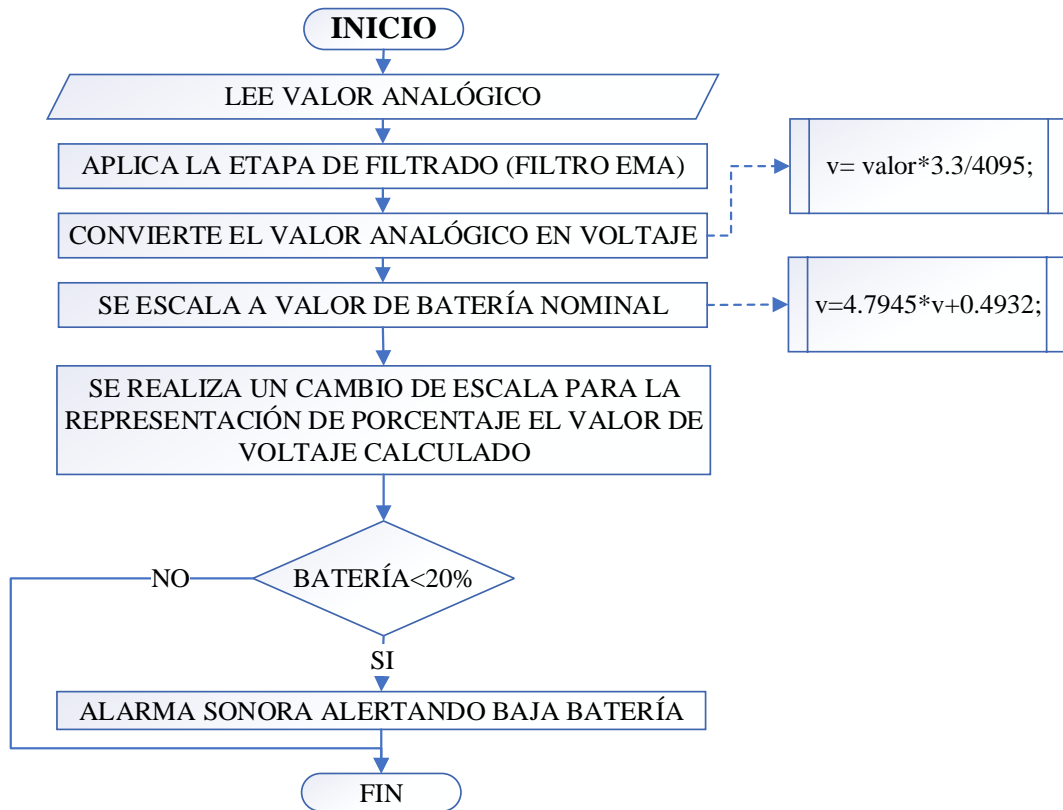
### 3.9.2. Diagramas de flujo del sensor MLX90614



**Figura 34-3:** Diagrama de flujo, MLX90614

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

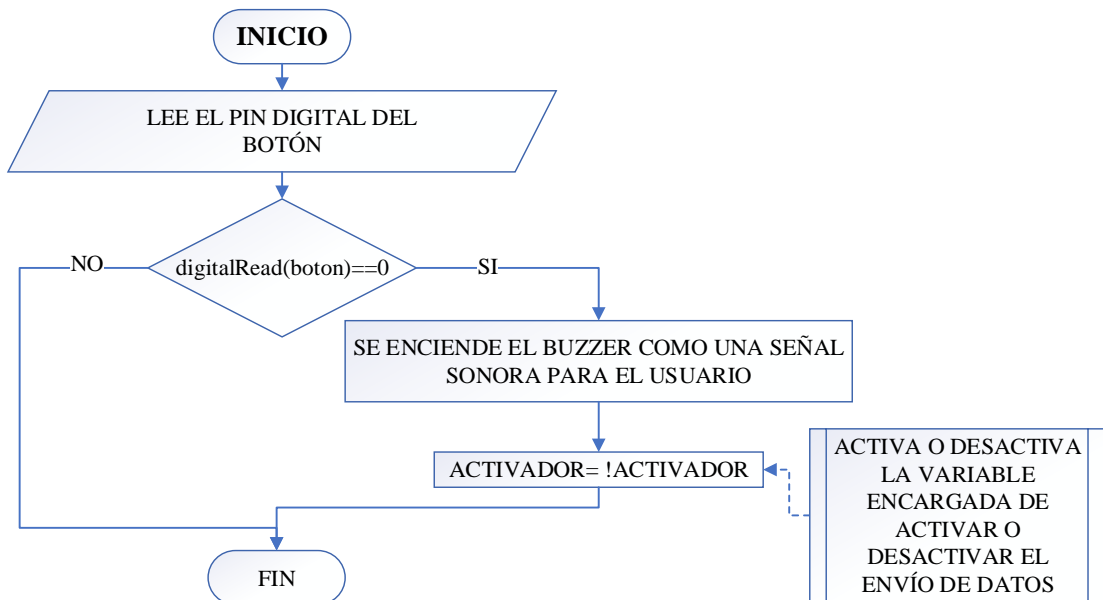
3.9.2.1. Diagramas de flujo del sensor MLX90614



**Figura 35-3:** Función batería\_por

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

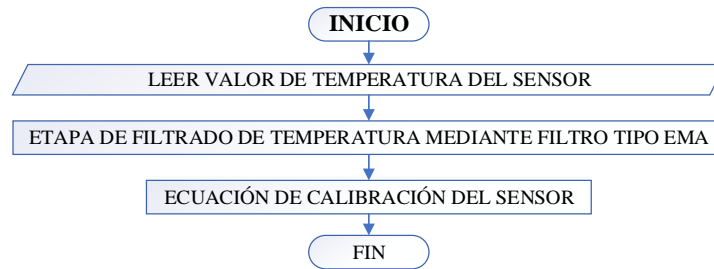
3.9.2.2. Diagrama de flujo del botón de envió de datos a Cayenne myDevices



**Figura 36-3:** Lectura\_botón()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

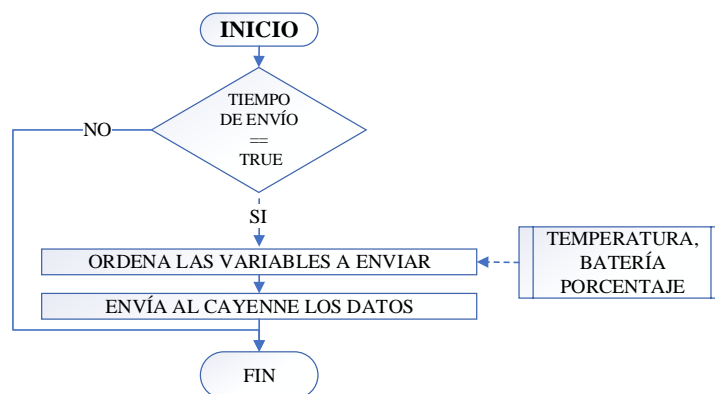
3.9.2.3. Diagrama de flujo, etapa de filtrado



**Figura 37-3:** Leer\_temperatura()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

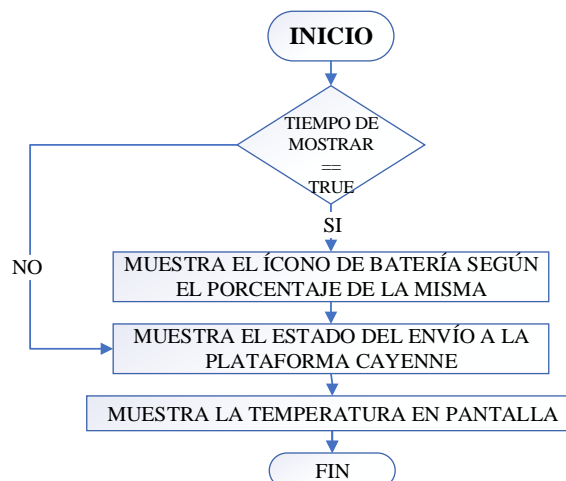
3.9.2.4. Diagrama de flujo, del envío de datos a Cayenne myDevices



**Figura 38-3:** Cayenne\_envío()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

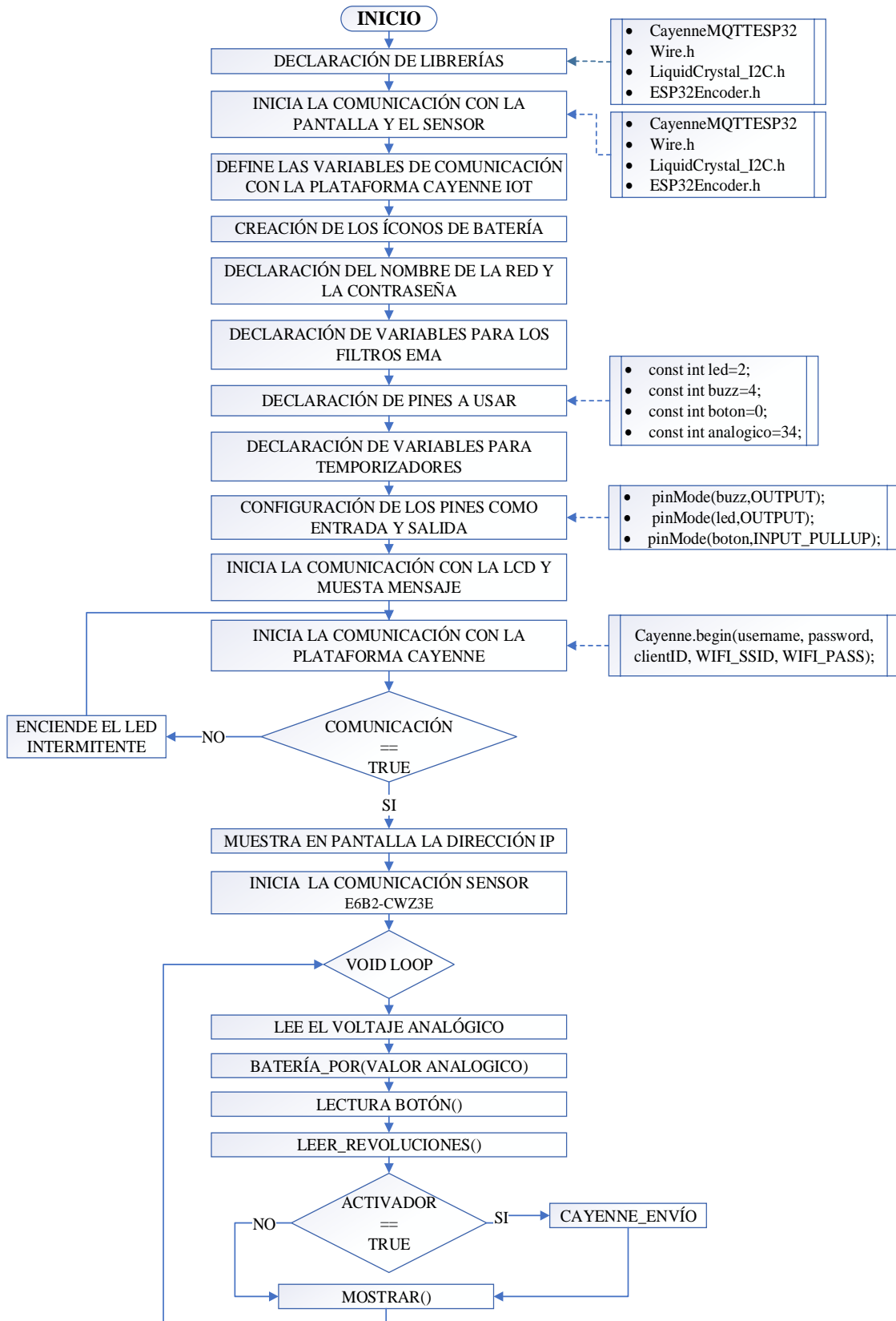
3.9.2.5. Diagrama de flujo, de las variables que muestra el LCD



**Figura 39-3:** Mostrar()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

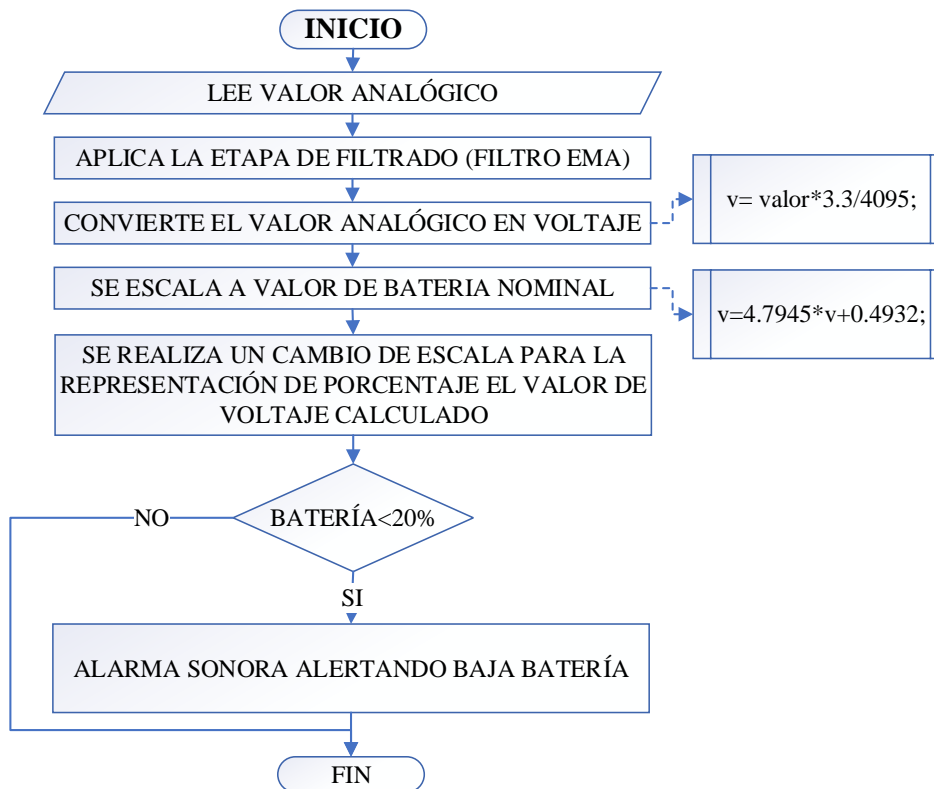
### 3.9.3. Diagramas de flujo del sensor E6B2-CWZ3E



**Figura 40-3:** Diagrama de flujo, E6B2-CWZ3E

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

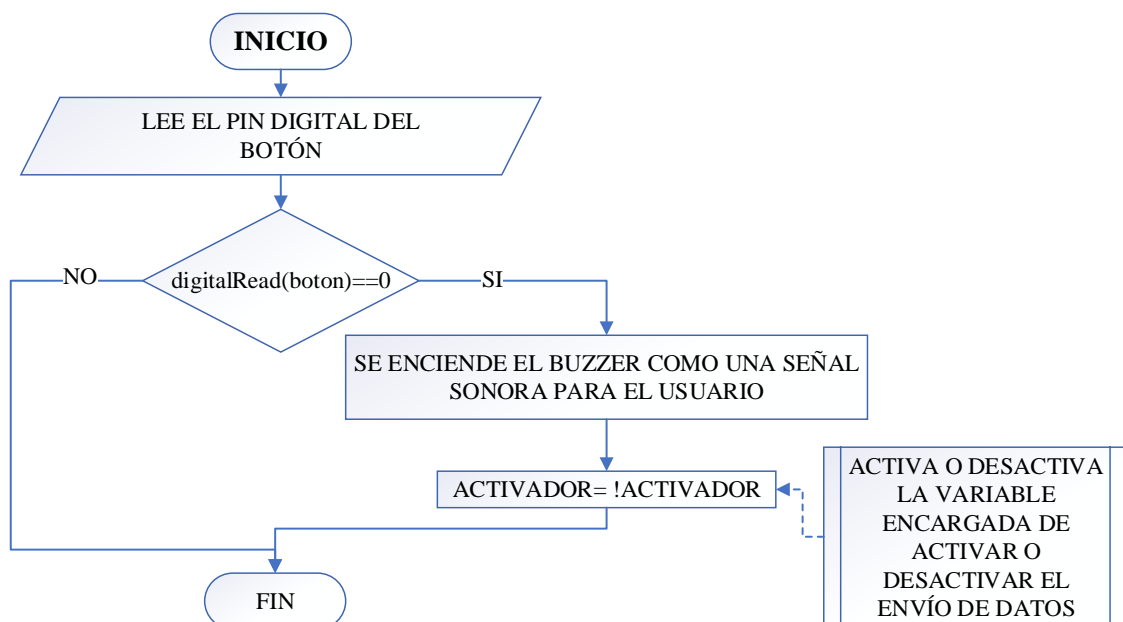
### 3.9.3.1. Diagrama de flujo de la batería



**Figura 41-3:** Función batería\_por

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

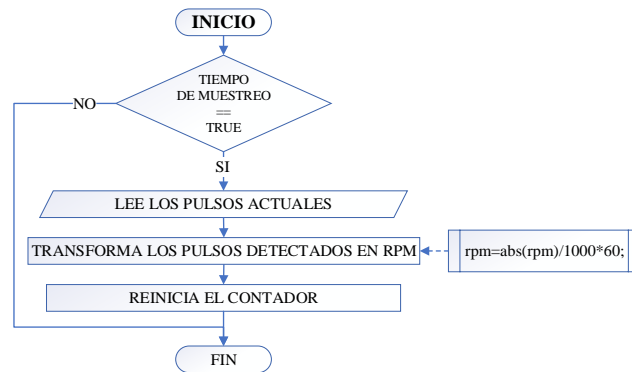
### 3.9.3.2. Diagrama de flujo del botón de envío de datos a Cayenne myDevices



**Figura 42-3:** Lectura\_botón()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

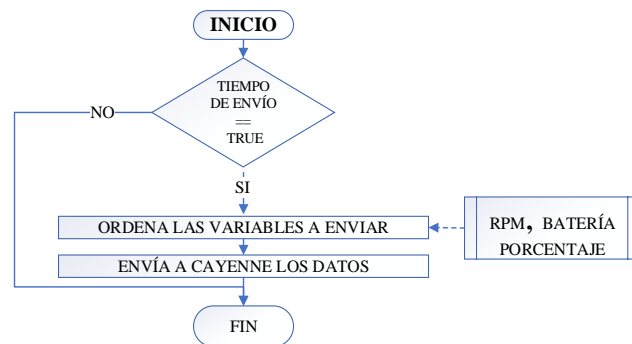
3.9.3.3. Diagrama de flujo, etapa de filtrado



**Figura 43-3:** Leer\_revoluciones()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

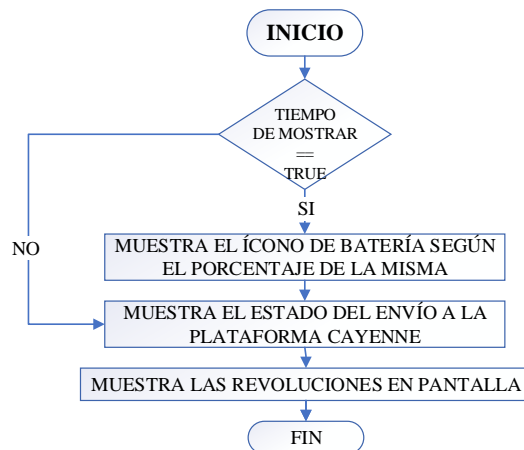
3.9.3.4. Diagrama de flujo, del envío de datos a Cayenne myDevices



**Figura 44-3:** Cayenne\_envío()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

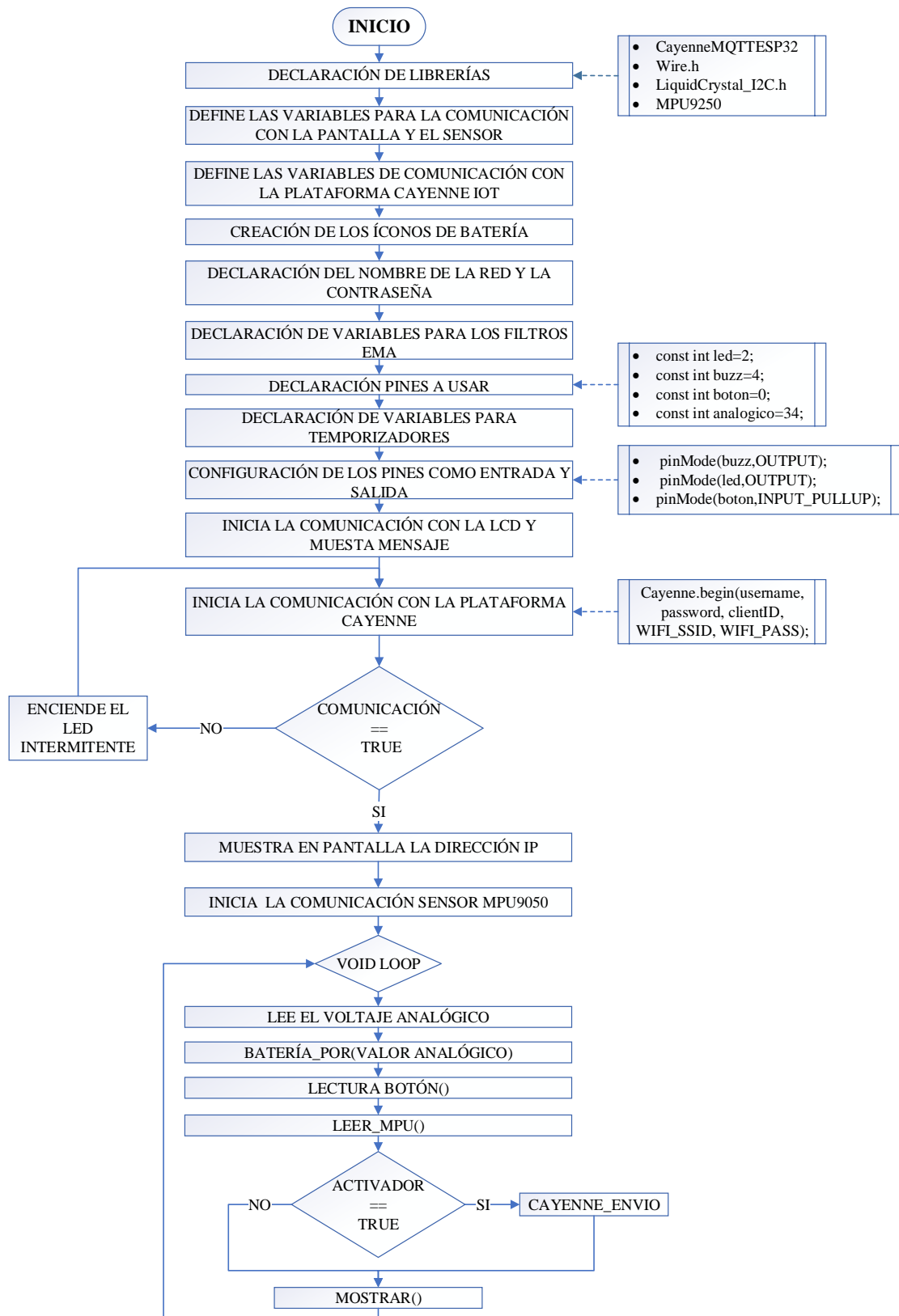
3.9.3.5. Diagrama de flujo, de las variables que muestra el LCD



**Figura 45-3:** Mostrar()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

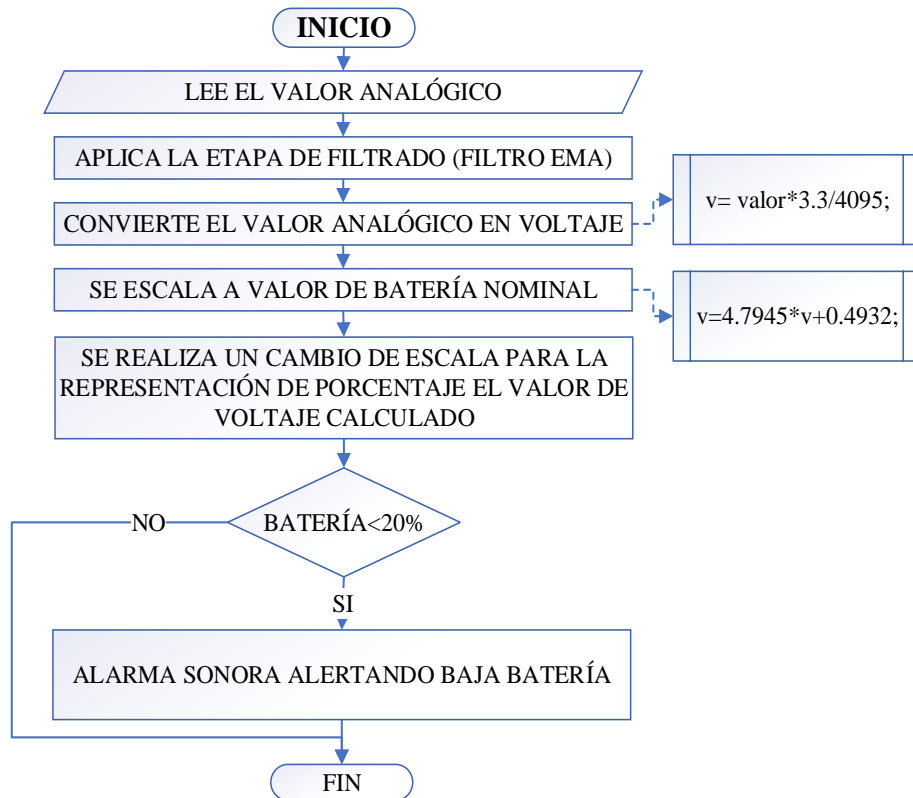
### 3.9.4. Diagramas de flujo del sensor MPU9250



**Figura 46-3:** Diagrama de flujo, MPU9250

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

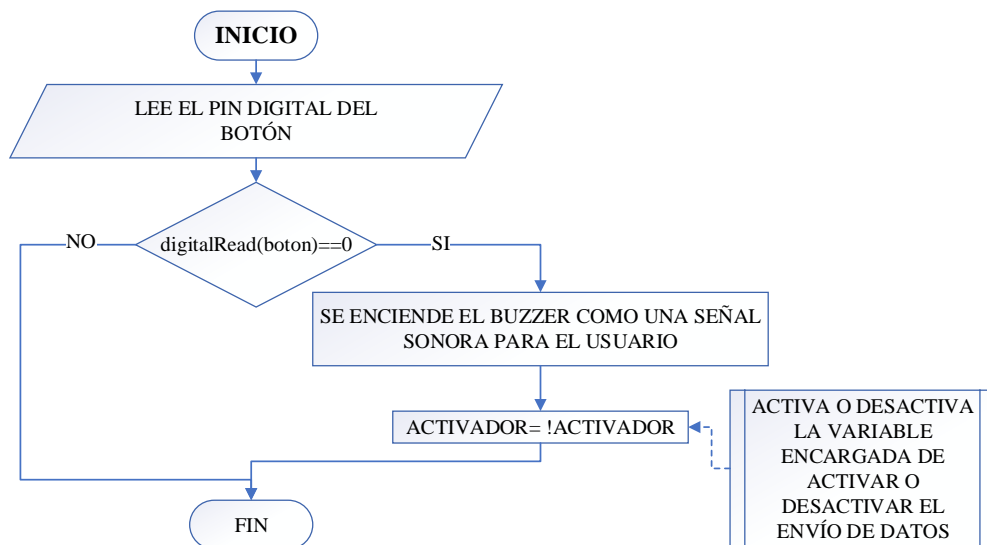
3.9.4.1. Diagrama de flujo de la batería



**Figura 47-3:** Función batería\_por

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

3.9.4.2. Diagrama de flujo del botón de envío de datos a Cayenne myDevices



**Figura 48-3:** Lectura\_botón()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



3.9.4.3. Diagrama de flujo, etapa de filtrado

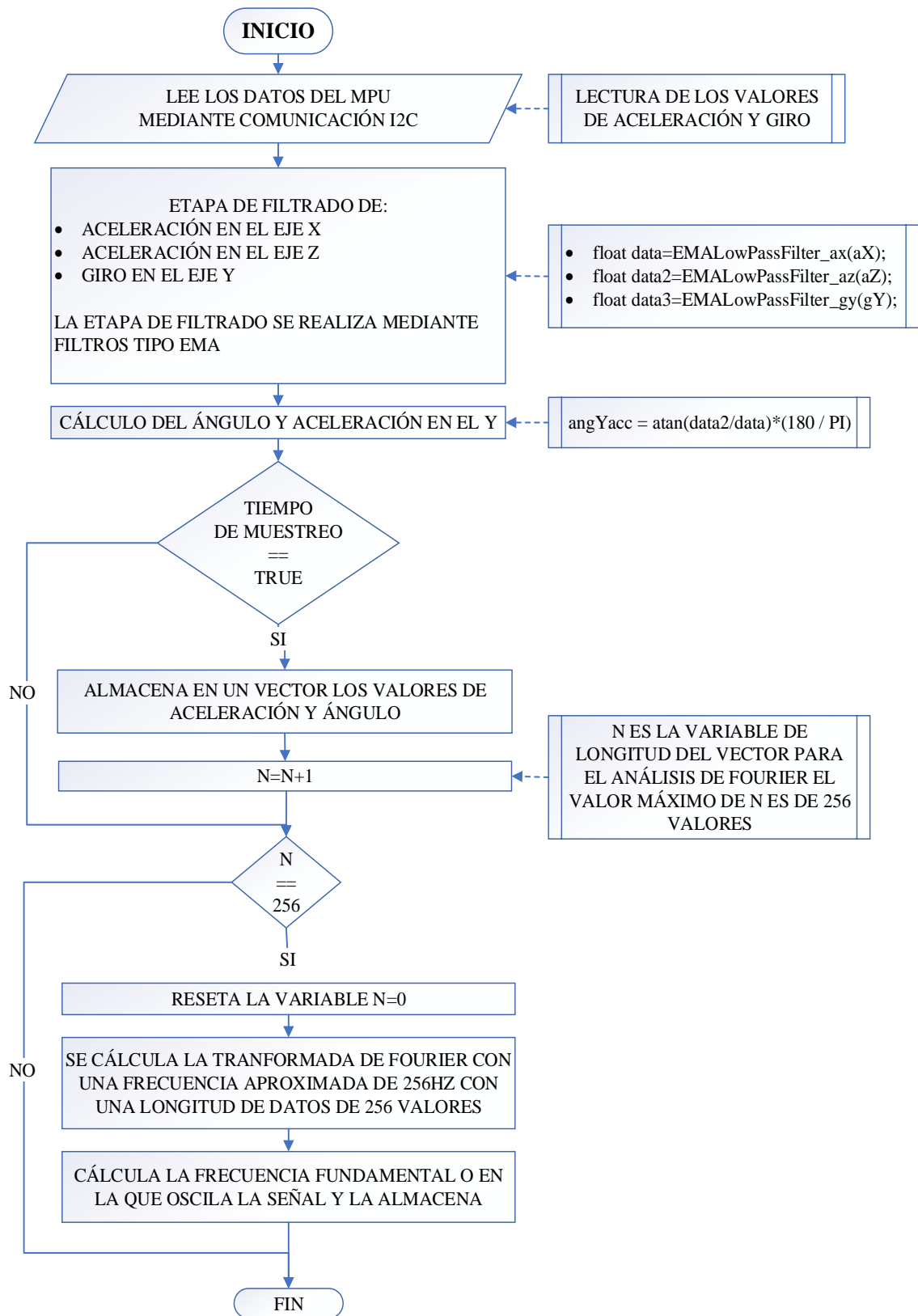
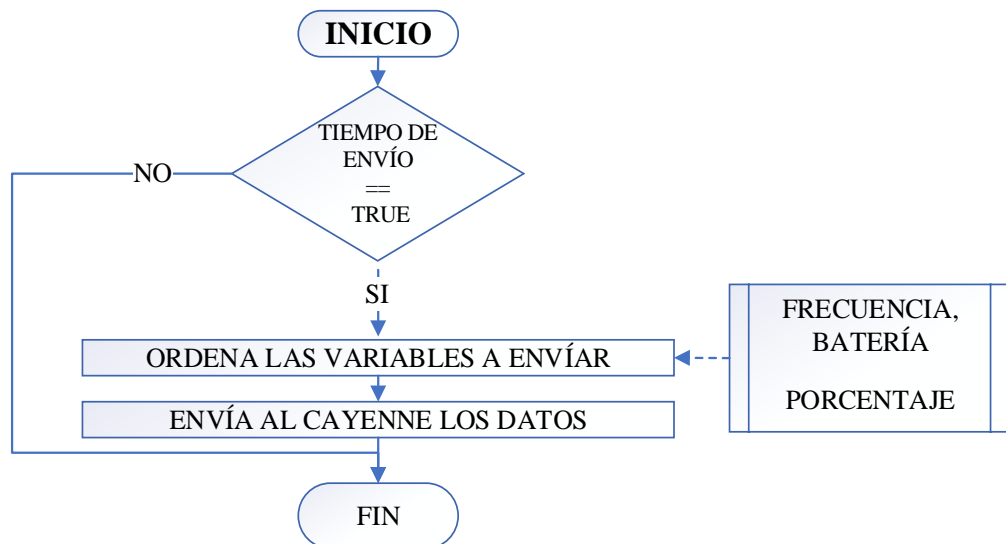


Figura 49-3: Leer MPU()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

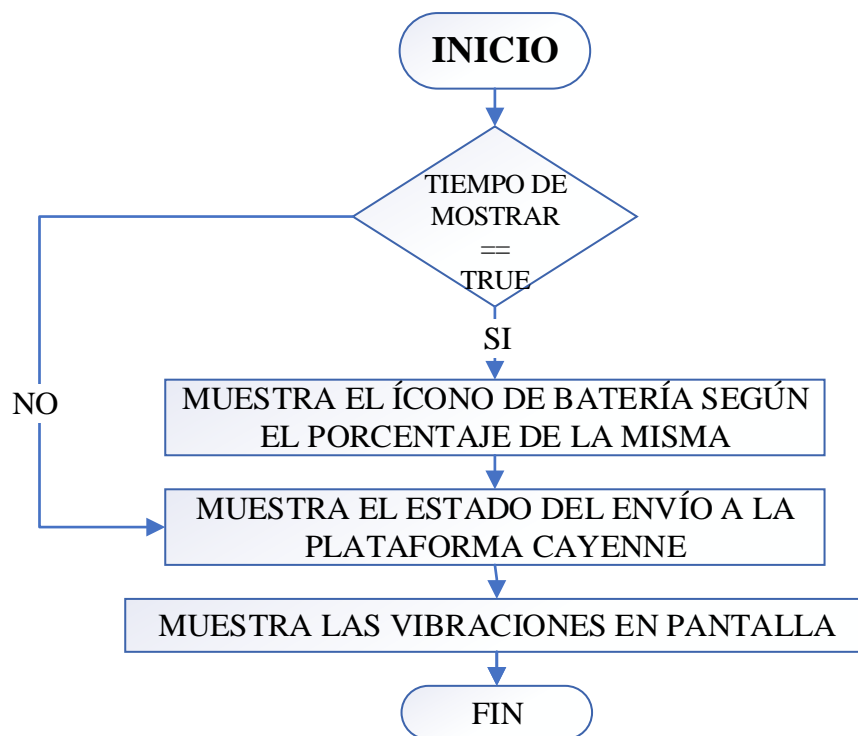
3.9.4.4. Diagrama de flujo, del envío de datos a Cayenne myDevices



**Figura 50-3:** Cayenne\_envío()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

3.9.4.5. Diagrama de flujo, de las variables que muestra el LCD



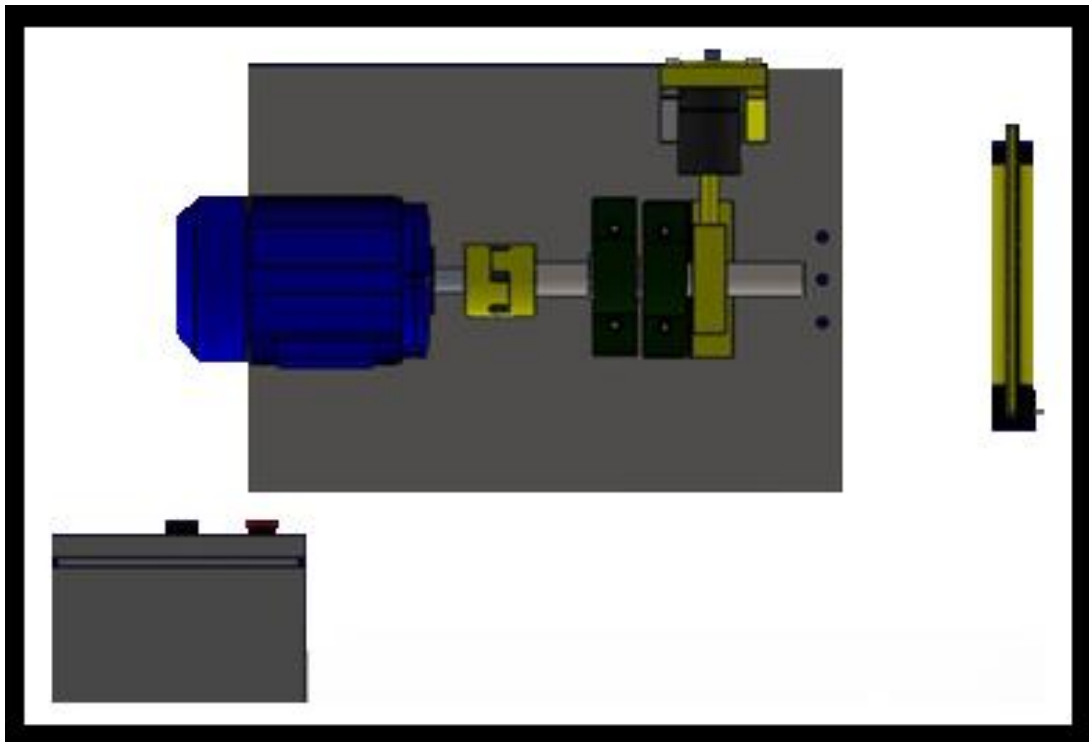
**Figura 51-3:** Mostrador()

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.10. Implementación del sistema de adquisición de datos

#### 3.10.1. Selección de la máquina a implementar el SAD

En el laboratorio de Diagnóstico Técnico, de la Facultad de Mecánica, se encuentran diferentes módulos de pruebas con motores eléctricos, en donde se ha seleccionado el módulo de pruebas de rodamientos BPR-6206, Figura 52-3, en el cual se ha implementado el SAD mediante IoT, el cual permitirá adquirir los datos, y monitorear su funcionamiento acorde a ellos.



**Figura 52-3:** Módulo de pruebas de rodamiento BPR6206 en SolidWorks.

**Realizado por:** (Ausay Baquero y Estrada Tualombo 2020, p.41)

Todos los sensores se incorporan junto a una pantalla LCD 16X2, un conjunto de baterías recargables, los interruptores, el led de detección de carga y a sus lados los conectores para carga de batería y entrada USB micro, para que su agarre sea más eficaz, poseen un imán de neodimio N52 en la parte inferior de la caja.

#### 3.10.2. Implementación de los dispositivos MAE de temperatura

El dispositivo MAE de temperatura #1, es un sensor a distancia que mide la temperatura de las chumaceras. Figura 53-3.



**Figura 53-3:** Dispositivo MAE de temperatura #1

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

El dispositivo MAE de temperatura #2, mide la temperatura del motor Figura 54-3.



**Figura 54-3:** Dispositivo MAE de temperatura #2

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 3.10.3. Implementación del dispositivo MAE de velocidad

El encoder incremental cuenta de una base para estabilizarse, respecto al eje de las ordenadas con acoples eje encoder – eje motor, Figura 55-3.



**Figura 55-3:** Dispositivo MAE de velocidad #1

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

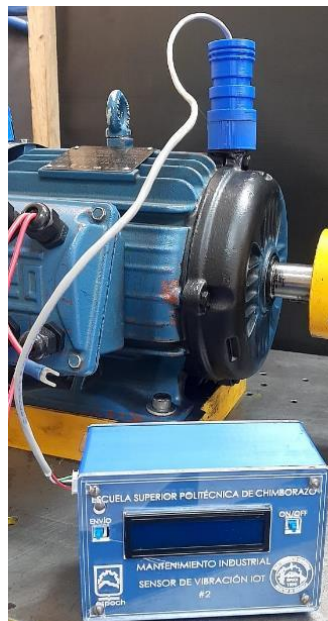
### 3.10.4. Implementación de los dispositivos MAE de vibración

Los sensores de vibración, de tipo triaxial, son 4, que se los puede colocar en el motor, chumaceras, como en la punta del eje del motor.



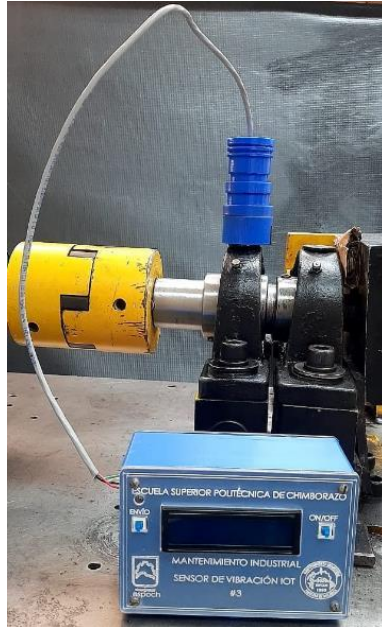
**Figura 56-3:** Dispositivo MAE de vibración #1

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



**Figura 57-3:** Dispositivo MAE de vibración #2

**Realizado por:** Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



**Figura 58-3:** Dispositivo MAE de vibración #3

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



**Figura 59-3:** Dispositivo MAE de vibración #4

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Resultados obtenidos

Para la recolección de datos se requiere:

- El módulo de pruebas de fallos de rodamientos BPR6206.
- Dispositivos para medir temperatura, velocidad y vibración.
- Plataforma para la visualización de resultados.

#### 4.2. Características de la plataforma para la recolección de datos

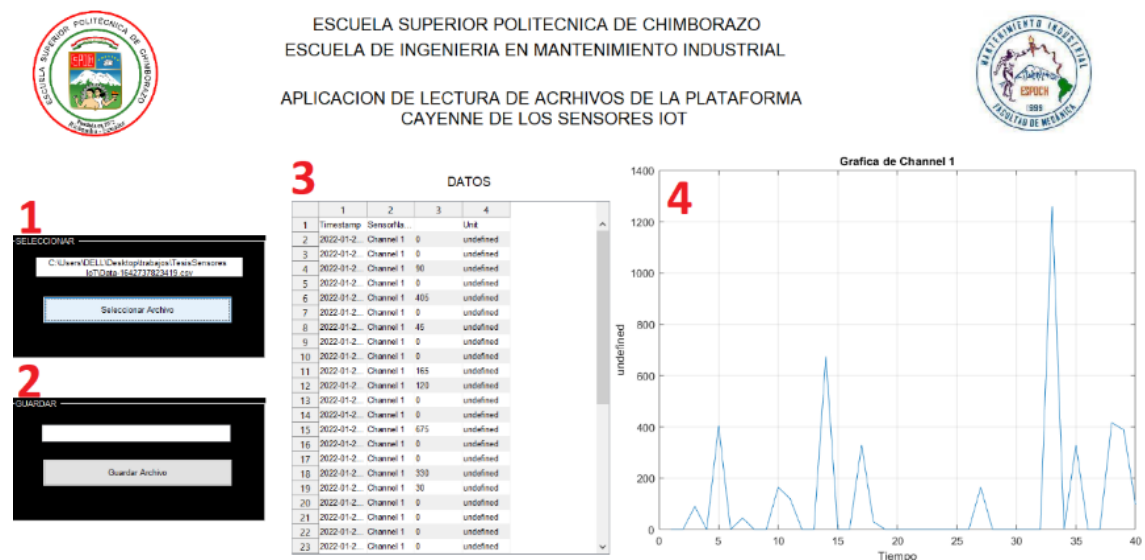


Figura 1-4: Características para la recolección de datos

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

- Panel de selección del archivo.
- Panel de almacenamiento del archivo nuevo.
- Tabla de datos.
- Gráfica del dispositivo.

### 4.3. Resultados obtenidos con la cámara termográfica, chumacera

Tabla 1-4: Datos obtenidos de la cámara termográfica, chumacera

Frecuencia (Hz)	Hora (h)	Tiempo (s)	Grados (°C)	Figura
60	11:48:03	00:00	28,6	
	11:48:13	00:10	28,9	
	11:48:35	00:22	27	
	11:49:01	01:26	30,3	
	11:49:11	01:36	30,5	
	11:49:33	01:58	31,2	
	11:50:04	02:31	31,7	
	11:50:13	02:40	31,9	
	11:50:32	03:01	32,4	
	11:51:12	04:40	32,8	
	11:51:26	05:04	33,3	
	11:52:20	05:54	33,9	
	11:54:27	07:07	34,9	
	11:55:25	07:05	35,4	
	11:55:31	07:11	35,5	
	11:55:37	07:16	35,6	
	11:56:03	08:26	35,8	
11:56:25	08:48	35,8		
11:56:39	09:02	36		
11:57:05	09:28	36,2		
11:57:14	09:42	36,1		

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

### 4.4. Resultados del dispositivo MAE de temperatura, chumacera

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-07T11:48:03	Temperatura	28.67	c
3	2022-03-07T11:48:13	Temperatura	28.89	c
4	2022-03-07T11:48:35	Temperatura	29.56	c
5	2022-03-07T11:49:01	Temperatura	30.21	c
6	2022-03-07T11:49:11	Temperatura	30.41	c
7	2022-03-07T11:49:33	Temperatura	30.99	c
8	2022-03-07T11:50:04	Temperatura	31.59	c
9	2022-03-07T11:50:13	Temperatura	31.75	c
10	2022-03-07T11:50:32	Temperatura	32.11	c
11	2022-03-07T11:51:12	Temperatura	32.75	c
12	2022-03-07T11:51:26	Temperatura	33.03	c
13	2022-03-07T11:52:20	Temperatura	33.57	c
14	2022-03-07T11:54:27	Temperatura	34.83	c
15	2022-03-07T11:55:25	Temperatura	35.27	c
16	2022-03-07T11:55:31	Temperatura	35.35	c
17	2022-03-07T11:55:37	Temperatura	35.41	c
18	2022-03-07T11:56:03	Temperatura	35.61	c
19	2022-03-07T11:56:25	Temperatura	35.69	c
20	2022-03-07T11:56:39	Temperatura	35.83	c
21	2022-03-07T11:57:05	Temperatura	36.07	c
22	2022-03-07T11:57:14	Temperatura	36.01	c
23	2022-03-07T11:57:18	Temperatura	36.07	c

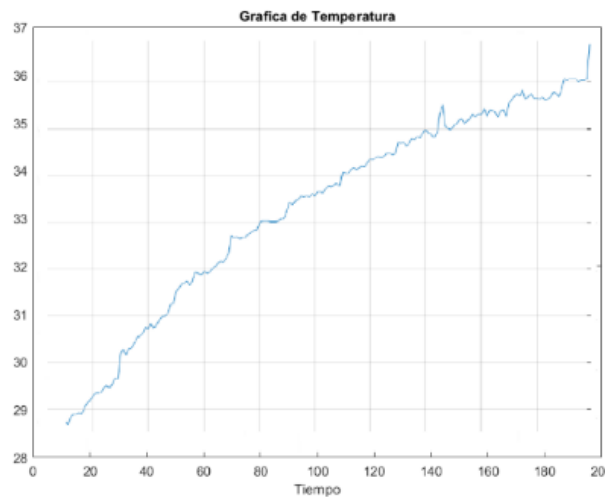


Gráfico 1-4: Visualización de datos del dispositivo MAE de temperatura en la chumacera

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

El error porcentual entre la cámara termográfica y el dispositivo de temperatura tiene un margen de error del 3%.



#### 4.5. Resultados obtenidos con la cámara termográfica, motor

Tabla 2-4: Datos obtenidos de la cámara termográfica, motor

Frecuencia (Hz)	Hora (h)	Tiempo (s)	Grados (°C)	Figura
60	17:57:48	00:00	27,9	
	17:57:58	00:10	27,5	
	17:58:04	00:16	27,2	
	17:58:14	00:20	27	
	17:58:24	00:30	27	
	17:58:30	00:36	27	
	17:59:00	01:06	26,9	
	17:59:10	01:16	26,5	
	17:59:12	01:18	26,8	
	17:59:30	01:36	27,1	
	18:00:00	02:02	26,8	
	18:00:26	02:28	26,7	
	18:01:08	03:06	26,9	
	18:01:27	03:27	26,9	
	18:02:05	04:05	27	
	18:03:33	05:33	27,1	
18:04:08	06:35	27,2		
18:05:01	07:27	27,2		
18:05:27	07:52	27,3		
18:06:12	08:39	27,3		

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.6. Resultados del dispositivo MAE de temperatura, motor

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-07T17:57:48	Temperatura	27.83	c
3	2022-03-07T17:57:58	Temperatura	27.23	c
4	2022-03-07T17:58:04	Temperatura	27.17	c
5	2022-03-07T17:58:14	Temperatura	27.13	c
6	2022-03-07T17:58:24	Temperatura	26.95	c
7	2022-03-07T17:58:30	Temperatura	26.95	c
8	2022-03-07T17:59:00	Temperatura	26.87	c
9	2022-03-07T17:59:10	Temperatura	26.77	c
10	2022-03-07T17:59:12	Temperatura	26.75	c
11	2022-03-07T17:59:30	Temperatura	26.65	c
12	2022-03-07T18:00:00	Temperatura	26.71	c
13	2022-03-07T18:00:26	Temperatura	26.65	c
14	2022-03-07T18:01:08	Temperatura	26.69	c
15	2022-03-07T18:01:27	Temperatura	26.77	c
16	2022-03-07T18:02:05	Temperatura	26.81	c
17	2022-03-07T18:03:07	Temperatura	26.93	c
18	2022-03-07T18:03:33	Temperatura	26.95	c
19	2022-03-07T18:04:08	Temperatura	26.99	c
20	2022-03-07T18:05:01	Temperatura	27.05	c
21	2022-03-07T18:05:27	Temperatura	27.11	c
22	2022-03-07T18:06:12	Temperatura	27.19	c
23	2022-03-07T18:06:30	Temperatura	27.16	c

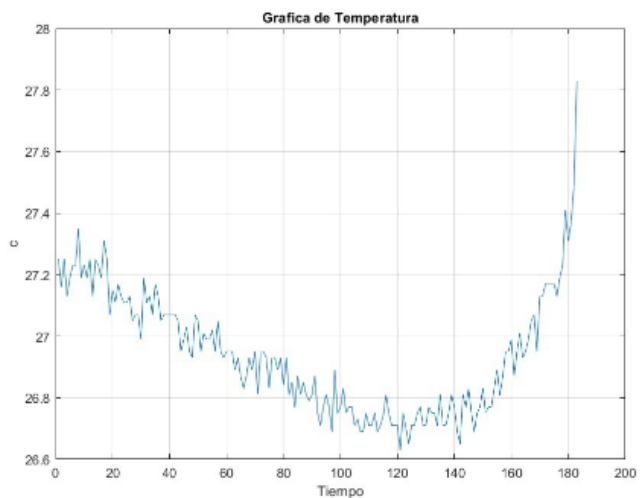



Gráfico 2-4: Datos del dispositivo MAE de temperatura en el motor

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

El error porcentual entre la cámara termográfica y el dispositivo de temperatura tiene un margen de error del 1%.

#### 4.7. Resultados obtenidos con el tacómetro

Tabla 3-4: Datos obtenidos por el tacómetro

Datos del tacómetro			Figura
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Velocidad (rpm)	
60	00:00	0002	
	00:01	1055	
	00:02	1420	
	00:03	1912	
	00:04	1915	
	00:05	1911	
	00:06	1915	
	00:07	1916	
	00:08	1917	
	00:09	1915	
	00:10	1918	
	00:11	1919	
	00:12	1919	
	00:13	1919	
	00:14	1919	
	00:15	1920	
	00:16	1920	
	00:17	1923	
00:18	1920		

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.8. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de velocidad

	1	2	3	
100	2022-03-0...	Velocidad	0	rpm
101	2022-03-0...	Velocidad	0	rpm
102	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
103	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
104	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
105	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
106	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
107	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
108	2022-03-0...	Velocidad	1740	rpm
109	2022-03-0...	Velocidad	1320	rpm
110	2022-03-0...	Velocidad	1860	rpm
111	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
112	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
113	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
114	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
115	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
116	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
117	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm
118	2022-03-0...	Velocidad	1920	rpm

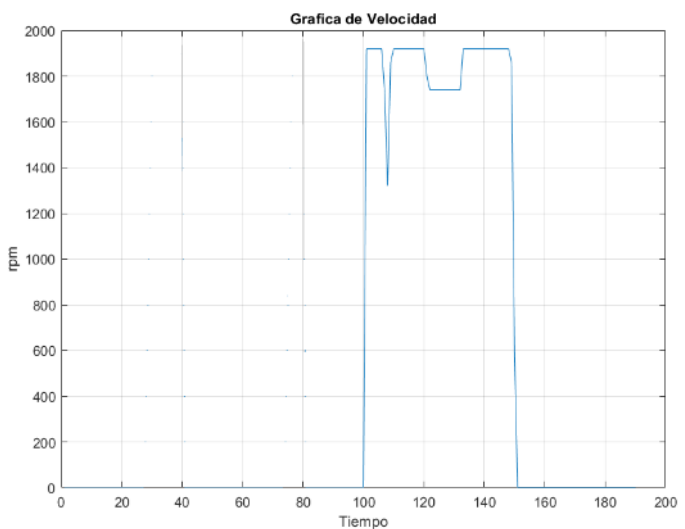


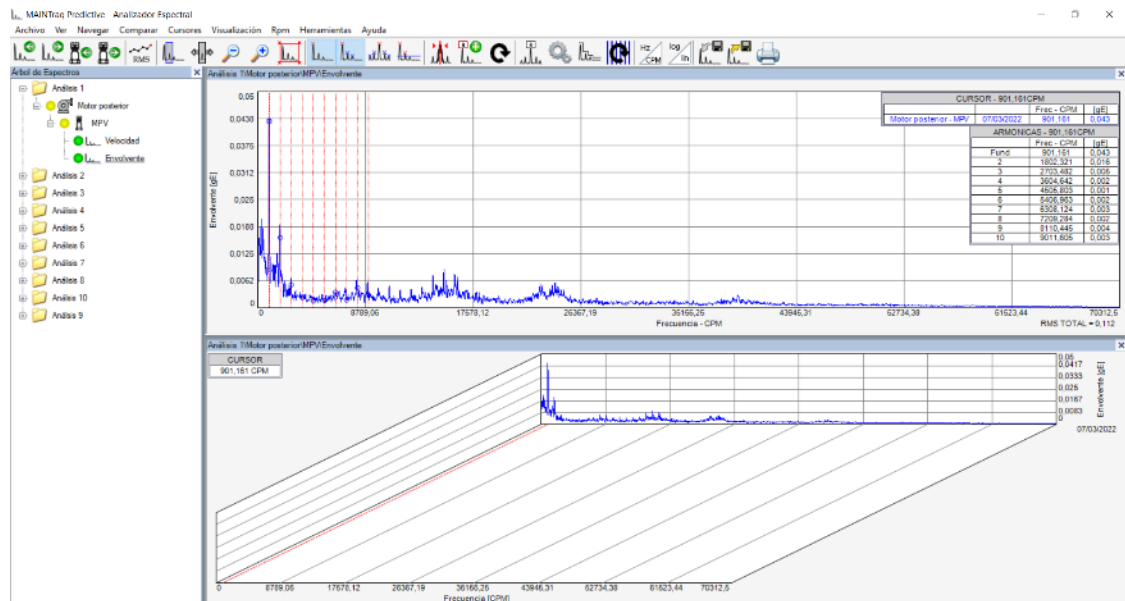
Gráfico 3-4: Visualización de gráfica del dispositivo MAE de velocidad

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

El error porcentual entre la cámara termográfica y el dispositivo de temperatura tiene un margen de error del 2%.

#### 4.9. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-1 ejex

El análisis de vibraciones solo se lo realizo en la parte posterior del motor en el eje x.

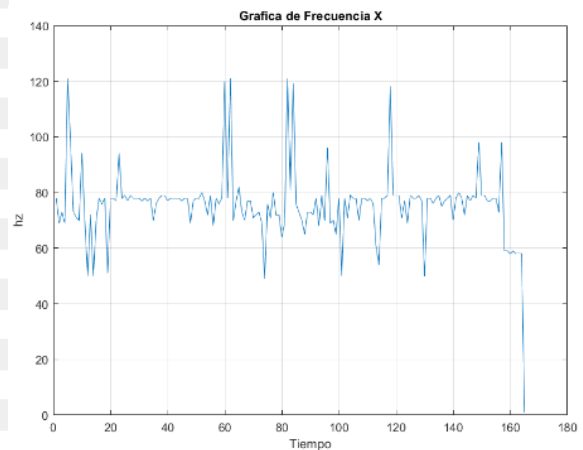


**Gráfico 4-4:** Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-1 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.10. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-1 eje x

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:43:20	Frecuencia X	78	hz
3	2022-03-08T-5:43:15	Frecuencia X	69	hz
4	2022-03-08T-5:43:10	Frecuencia X	73	hz
5	2022-03-08T-5:43:05	Frecuencia X	69	hz
6	2022-03-08T-5:43:00	Frecuencia X	121	hz
7	2022-03-08T-5:42:55	Frecuencia X	98	hz
8	2022-03-08T-5:42:49	Frecuencia X	73	hz
9	2022-03-08T-5:42:44	Frecuencia X	71	hz
10	2022-03-08T-5:42:39	Frecuencia X	70	hz
11	2022-03-08T-5:42:34	Frecuencia X	94	hz
12	2022-03-08T-5:42:29	Frecuencia X	70	hz
13	2022-03-08T-5:42:24	Frecuencia X	50	hz
14	2022-03-08T-5:42:19	Frecuencia X	72	hz
15	2022-03-08T-5:42:14	Frecuencia X	50	hz
16	2022-03-08T-5:42:09	Frecuencia X	70	hz
17	2022-03-08T-5:42:04	Frecuencia X	78	hz
18	2022-03-08T-5:41:59	Frecuencia X	76	hz
19	2022-03-08T-5:41:55	Frecuencia X	78	hz
20	2022-03-08T-5:41:49	Frecuencia X	51	hz
21	2022-03-08T-5:41:44	Frecuencia X	78	hz
22	2022-03-08T-5:41:39	Frecuencia X	78	hz
23	2022-03-08T-5:41:34	Frecuencia X	77	hz

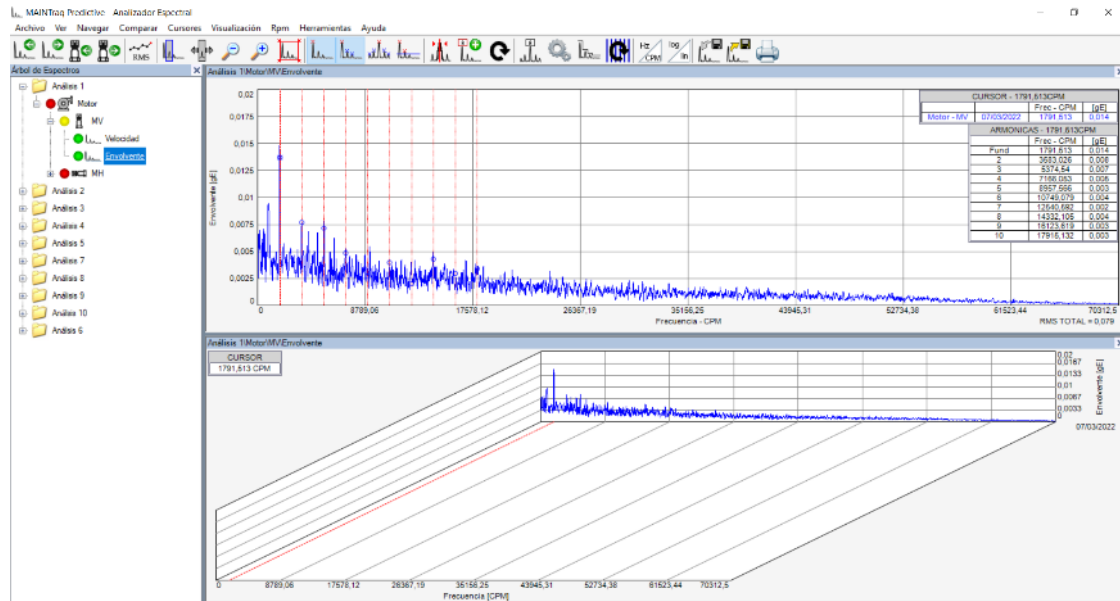


**Gráfico 5-4:** Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-1 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.11. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-2 eje x

El análisis de vibraciones se lo realizo en la parte delantera del motor en el eje x como en el y.

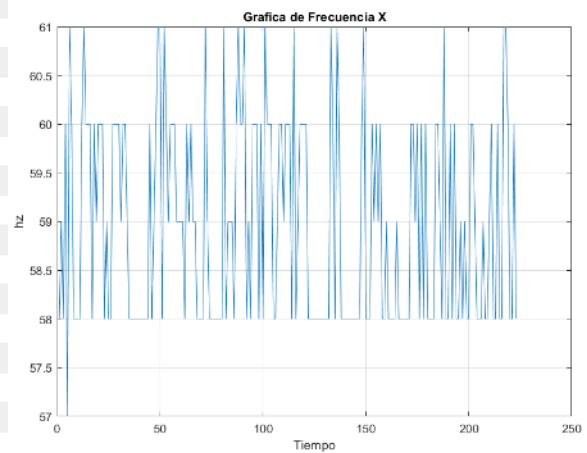


**Gráfico 6-4:** Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-2 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.12. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-2 eje x

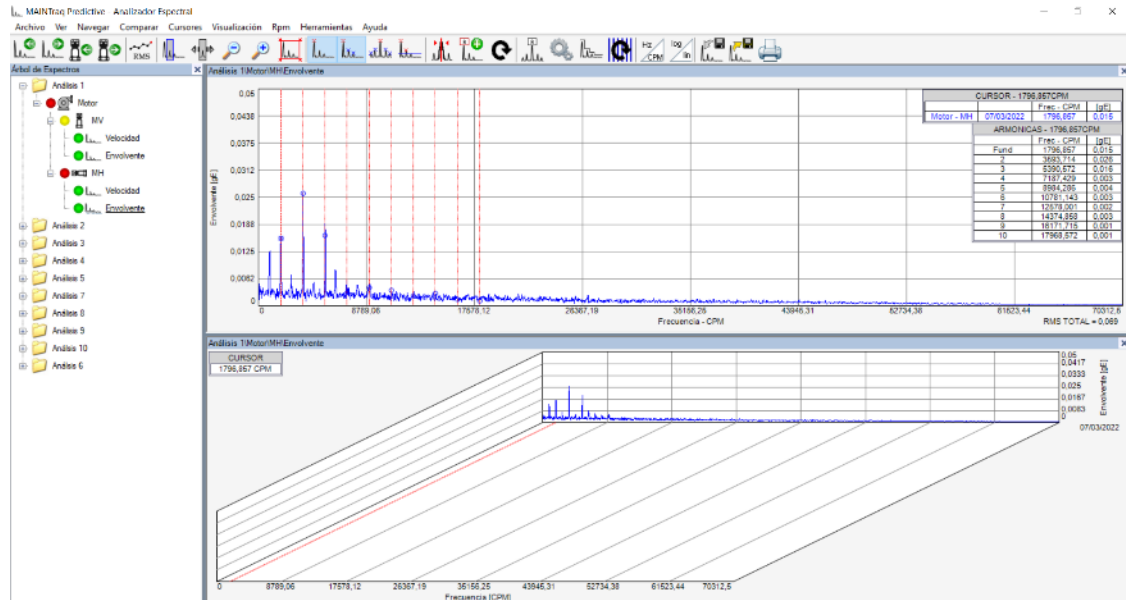
	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:42:34	Frecuencia X	58	hz
3	2022-03-08T-5:42:29	Frecuencia X	59	hz
4	2022-03-08T-5:42:24	Frecuencia X	58	hz
5	2022-03-08T-5:42:19	Frecuencia X	60	hz
6	2022-03-08T-5:42:14	Frecuencia X	57	hz
7	2022-03-08T-5:42:09	Frecuencia X	61	hz
8	2022-03-08T-5:42:04	Frecuencia X	60	hz
9	2022-03-08T-5:41:59	Frecuencia X	58	hz
10	2022-03-08T-5:41:54	Frecuencia X	58	hz
11	2022-03-08T-5:41:49	Frecuencia X	58	hz
12	2022-03-08T-5:41:44	Frecuencia X	58	hz
13	2022-03-08T-5:41:39	Frecuencia X	60	hz
14	2022-03-08T-5:41:34	Frecuencia X	61	hz
15	2022-03-08T-5:41:29	Frecuencia X	60	hz
16	2022-03-08T-5:41:24	Frecuencia X	60	hz
17	2022-03-08T-5:41:19	Frecuencia X	60	hz
18	2022-03-08T-5:41:14	Frecuencia X	58	hz
19	2022-03-08T-5:41:09	Frecuencia X	60	hz
20	2022-03-08T-5:41:04	Frecuencia X	59	hz
21	2022-03-08T-5:40:59	Frecuencia X	60	hz
22	2022-03-08T-5:40:54	Frecuencia X	60	hz
23	2022-03-08T-5:40:49	Frecuencia X	60	hz



**Gráfico 7-4:** Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-2 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.13. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-2 eje y

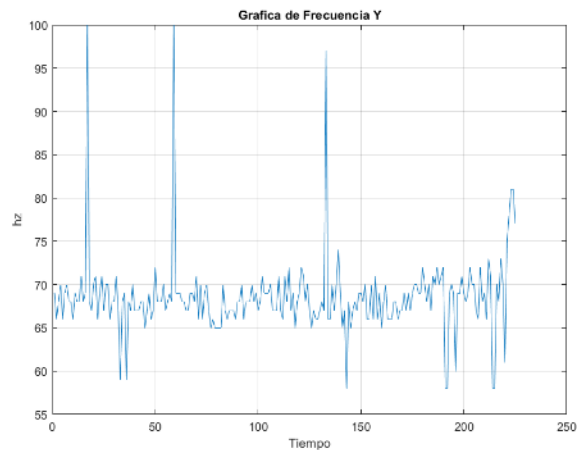


**Gráfico 8-4:** Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-2 eje y

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.14. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-2 eje y

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:42:44	Frecuencia Y	69	hz
3	2022-03-08T-5:42:39	Frecuencia Y	66	hz
4	2022-03-08T-5:42:34	Frecuencia Y	68	hz
5	2022-03-08T-5:42:29	Frecuencia Y	70	hz
6	2022-03-08T-5:42:24	Frecuencia Y	66	hz
7	2022-03-08T-5:42:19	Frecuencia Y	69	hz
8	2022-03-08T-5:42:14	Frecuencia Y	70	hz
9	2022-03-08T-5:42:09	Frecuencia Y	68	hz
10	2022-03-08T-5:42:04	Frecuencia Y	68	hz
11	2022-03-08T-5:41:59	Frecuencia Y	66	hz
12	2022-03-08T-5:41:54	Frecuencia Y	69	hz
13	2022-03-08T-5:41:49	Frecuencia Y	68	hz
14	2022-03-08T-5:41:44	Frecuencia Y	68	hz
15	2022-03-08T-5:41:39	Frecuencia Y	71	hz
16	2022-03-08T-5:41:34	Frecuencia Y	68	hz
17	2022-03-08T-5:41:29	Frecuencia Y	69	hz
18	2022-03-08T-5:41:24	Frecuencia Y	100	hz
19	2022-03-08T-5:41:19	Frecuencia Y	68	hz
20	2022-03-08T-5:41:14	Frecuencia Y	67	hz
21	2022-03-08T-5:41:09	Frecuencia Y	70	hz
22	2022-03-08T-5:41:04	Frecuencia Y	71	hz
23	2022-03-08T-5:40:59	Frecuencia Y	66	hz

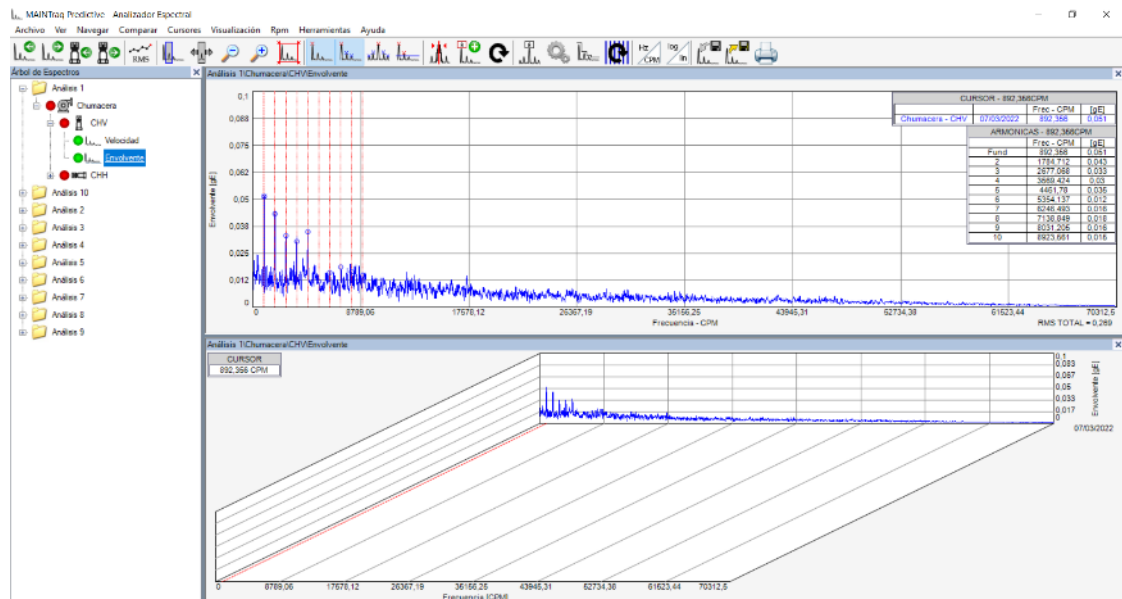


**Gráfico 9-4:** Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-2 eje y

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.15. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-3 eje x

El análisis de vibraciones se lo realizo en la parte delantera del motor en el eje x como en el y.

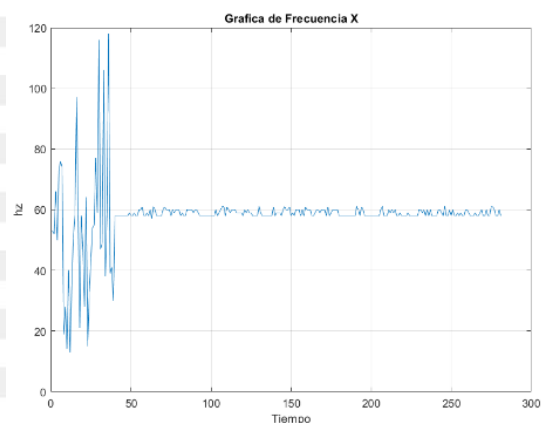


**Gráfico 10-4:** Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-3 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.16. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-3 eje x

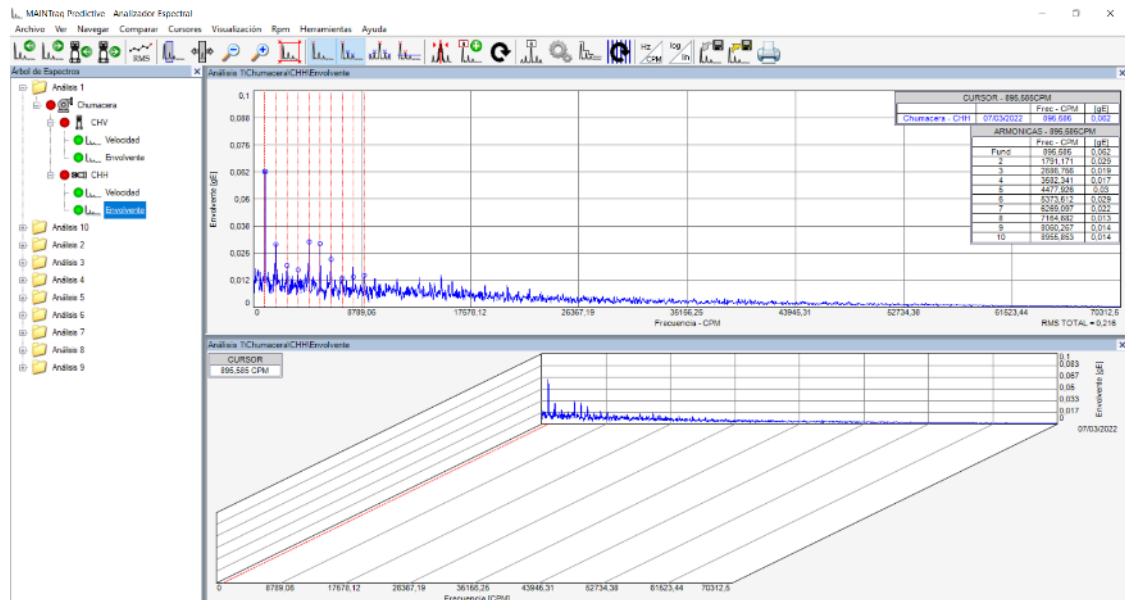
	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:50:23	Frecuencia X	53	hz
3	2022-03-08T-5:50:18	Frecuencia X	52	hz
4	2022-03-08T-5:50:13	Frecuencia X	66	hz
5	2022-03-08T-5:50:08	Frecuencia X	50	hz
6	2022-03-08T-5:50:04	Frecuencia X	73	hz
7	2022-03-08T-5:49:58	Frecuencia X	76	hz
8	2022-03-08T-5:49:53	Frecuencia X	74	hz
9	2022-03-08T-5:49:48	Frecuencia X	19	hz
10	2022-03-08T-5:49:43	Frecuencia X	28	hz
11	2022-03-08T-5:49:38	Frecuencia X	14	hz
12	2022-03-08T-5:49:33	Frecuencia X	40	hz
13	2022-03-08T-5:49:28	Frecuencia X	13	hz
14	2022-03-08T-5:49:23	Frecuencia X	35	hz
15	2022-03-08T-5:49:18	Frecuencia X	51	hz
16	2022-03-08T-5:49:13	Frecuencia X	58	hz
17	2022-03-08T-5:49:08	Frecuencia X	97	hz
18	2022-03-08T-5:49:03	Frecuencia X	60	hz
19	2022-03-08T-5:48:58	Frecuencia X	21	hz
20	2022-03-08T-5:48:53	Frecuencia X	58	hz
21	2022-03-08T-5:48:48	Frecuencia X	47	hz
22	2022-03-08T-5:48:43	Frecuencia X	28	hz
23	2022-03-08T-5:48:38	Frecuencia X	64	hz



**Gráfico 11-4:** Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-3 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.17. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-3 eje y

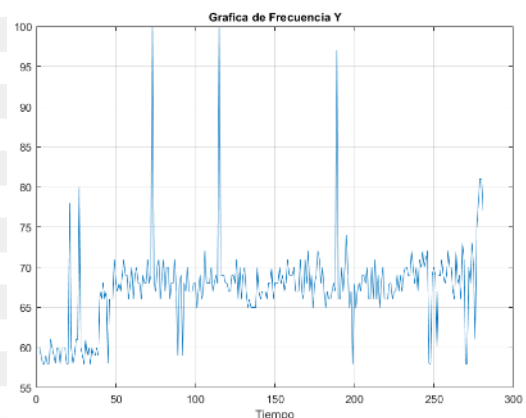


**Gráfico 12-4:** Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-3 eje y

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.18. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-3 eje y

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:50:23	Frecuencia Y	60	hz
3	2022-03-08T-5:50:18	Frecuencia Y	60	hz
4	2022-03-08T-5:50:13	Frecuencia Y	59	hz
5	2022-03-08T-5:50:08	Frecuencia Y	58	hz
6	2022-03-08T-5:50:04	Frecuencia Y	58	hz
7	2022-03-08T-5:49:58	Frecuencia Y	59	hz
8	2022-03-08T-5:49:53	Frecuencia Y	58	hz
9	2022-03-08T-5:49:48	Frecuencia Y	58	hz
10	2022-03-08T-5:49:43	Frecuencia Y	61	hz
11	2022-03-08T-5:49:38	Frecuencia Y	60	hz
12	2022-03-08T-5:49:33	Frecuencia Y	59	hz
13	2022-03-08T-5:49:28	Frecuencia Y	58	hz
14	2022-03-08T-5:49:23	Frecuencia Y	60	hz
15	2022-03-08T-5:49:18	Frecuencia Y	60	hz
16	2022-03-08T-5:49:13	Frecuencia Y	58	hz
17	2022-03-08T-5:49:08	Frecuencia Y	60	hz
18	2022-03-08T-5:49:03	Frecuencia Y	60	hz
19	2022-03-08T-5:48:58	Frecuencia Y	60	hz
20	2022-03-08T-5:48:53	Frecuencia Y	58	hz
21	2022-03-08T-5:48:48	Frecuencia Y	58	hz
22	2022-03-08T-5:48:43	Frecuencia Y	78	hz
23	2022-03-08T-5:48:38	Frecuencia Y	60	hz



**Gráfico 13-4:** Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-3 eje y

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.19. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-4

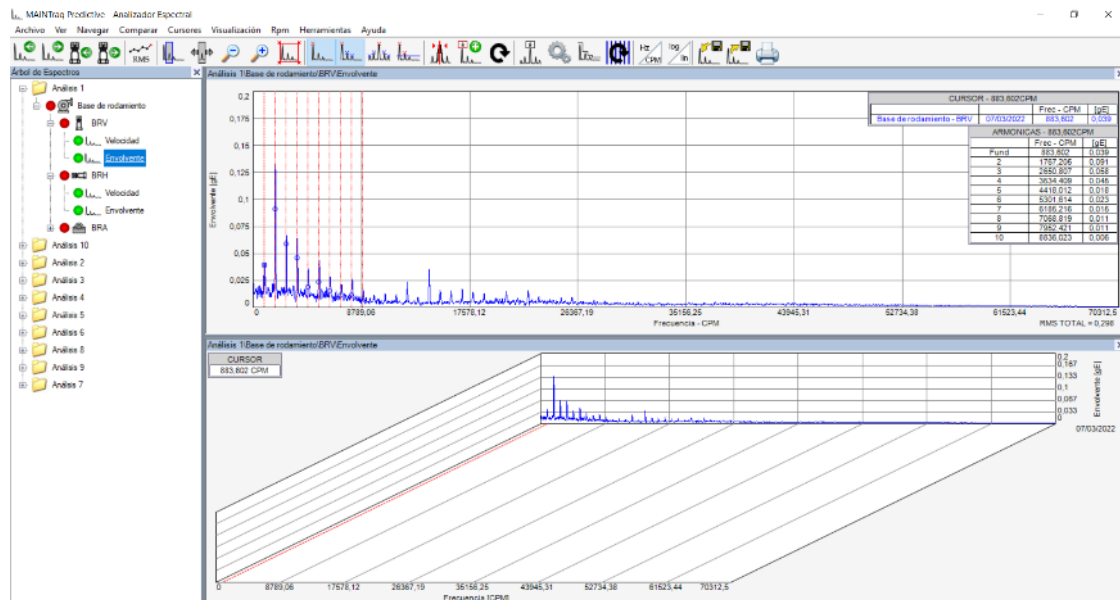


Gráfico 14-4: Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-4 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.20. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-4 eje x

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:41:11	Frecuencia X	43	hz
3	2022-03-08T-5:41:06	Frecuencia X	65	hz
4	2022-03-08T-5:41:01	Frecuencia X	83	hz
5	2022-03-08T-5:40:56	Frecuencia X	43	hz
6	2022-03-08T-5:40:51	Frecuencia X	40	hz
7	2022-03-08T-5:40:46	Frecuencia X	65	hz
8	2022-03-08T-5:40:41	Frecuencia X	43	hz
9	2022-03-08T-5:40:36	Frecuencia X	52	hz
10	2022-03-08T-5:40:31	Frecuencia X	61	hz
11	2022-03-08T-5:40:26	Frecuencia X	65	hz
12	2022-03-08T-5:40:21	Frecuencia X	43	hz
13	2022-03-08T-5:40:16	Frecuencia X	43	hz
14	2022-03-08T-5:40:12	Frecuencia X	106	hz
15	2022-03-08T-5:40:06	Frecuencia X	43	hz
16	2022-03-08T-5:40:01	Frecuencia X	43	hz
17	2022-03-08T-5:39:56	Frecuencia X	43	hz
18	2022-03-08T-5:39:51	Frecuencia X	61	hz
19	2022-03-08T-5:39:47	Frecuencia X	58	hz
20	2022-03-08T-5:39:41	Frecuencia X	43	hz
21	2022-03-08T-5:39:36	Frecuencia X	65	hz
22	2022-03-08T-5:39:31	Frecuencia X	65	hz
23	2022-03-08T-5:39:26	Frecuencia X	65	hz

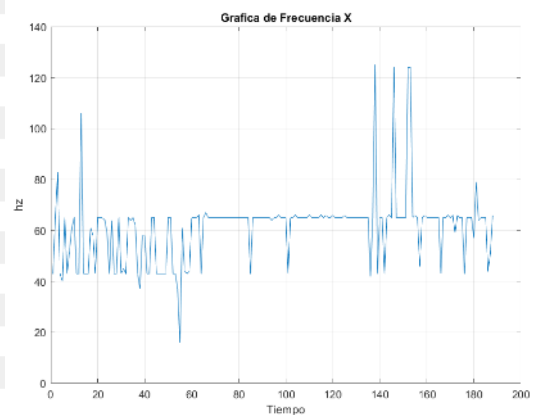
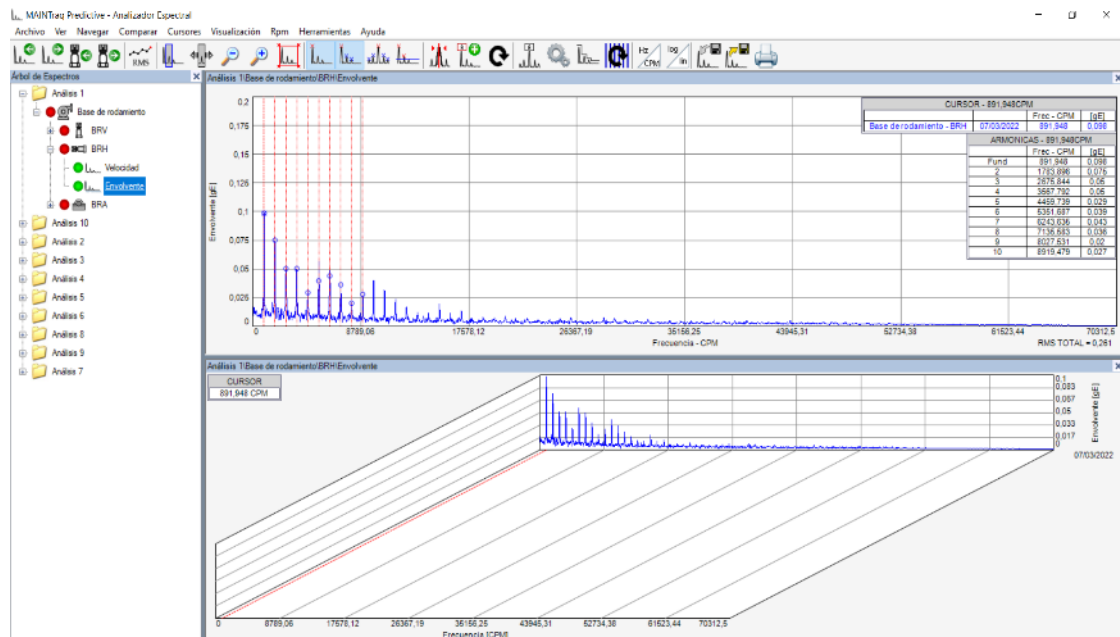


Gráfico 15-4: Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-4 eje x

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022



#### 4.21. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-4 eje y

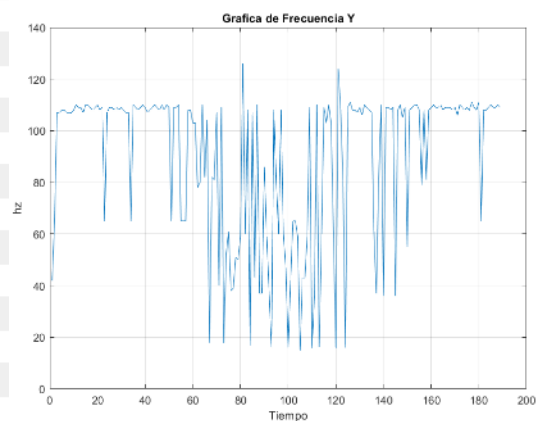


**Gráfico 16-4:** Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-4 eje y

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.22. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-4 eje y

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:41:16	Frecuencia Y	42	hz
3	2022-03-08T-5:41:11	Frecuencia Y	65	hz
4	2022-03-08T-5:41:06	Frecuencia Y	107	hz
5	2022-03-08T-5:41:01	Frecuencia Y	107	hz
6	2022-03-08T-5:40:56	Frecuencia Y	108	hz
7	2022-03-08T-5:40:51	Frecuencia Y	108	hz
8	2022-03-08T-5:40:46	Frecuencia Y	107	hz
9	2022-03-08T-5:40:41	Frecuencia Y	107	hz
10	2022-03-08T-5:40:36	Frecuencia Y	107	hz
11	2022-03-08T-5:40:31	Frecuencia Y	108	hz
12	2022-03-08T-5:40:26	Frecuencia Y	110	hz
13	2022-03-08T-5:40:21	Frecuencia Y	109	hz
14	2022-03-08T-5:40:16	Frecuencia Y	109	hz
15	2022-03-08T-5:40:12	Frecuencia Y	107	hz
16	2022-03-08T-5:40:06	Frecuencia Y	110	hz
17	2022-03-08T-5:40:01	Frecuencia Y	110	hz
18	2022-03-08T-5:39:56	Frecuencia Y	109	hz
19	2022-03-08T-5:39:51	Frecuencia Y	108	hz
20	2022-03-08T-5:39:46	Frecuencia Y	109	hz
21	2022-03-08T-5:39:41	Frecuencia Y	110	hz
22	2022-03-08T-5:39:36	Frecuencia Y	108	hz
23	2022-03-08T-5:39:31	Frecuencia Y	109	hz



**Gráfico 17-4:** Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-4 eje y

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.23. Resultados obtenidos con el VibraCHECK-4 eje z

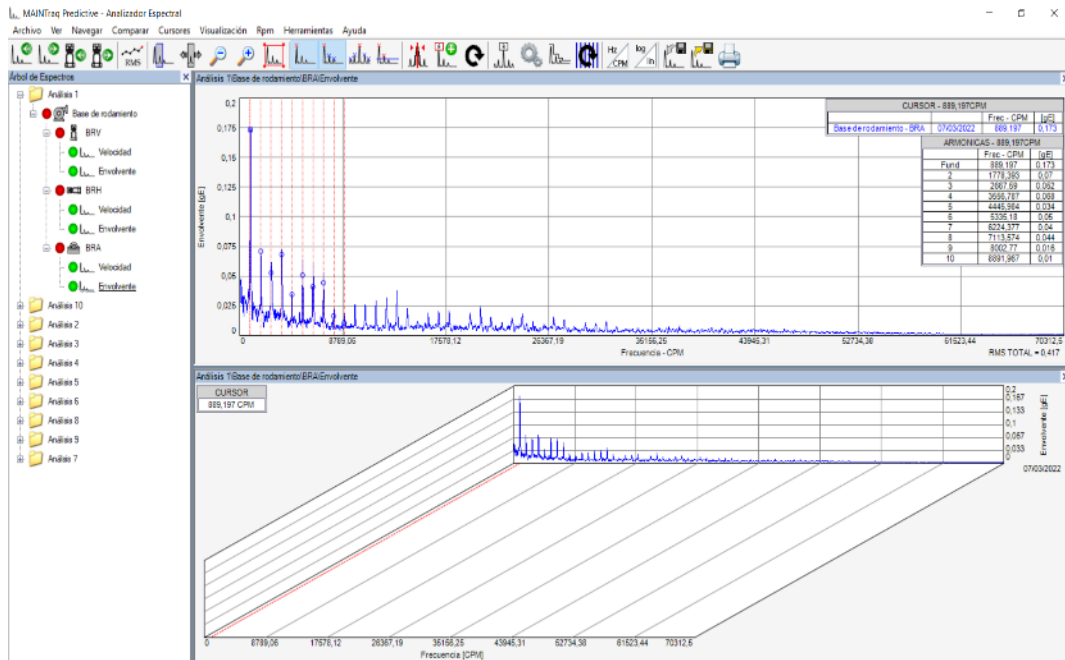


Gráfico 18-4: Visualización de datos obtenidos por el VibraCHECK-4 eje z

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.24. Resultados obtenidos con el dispositivo MAE de vibración-4 eje z

	1	2	3	4
1	Tiempo	NombreSensor	Valor	Unidad
2	2022-03-08T-5:41:16	Frecuencia Z	105	hz
3	2022-03-08T-5:41:11	Frecuencia Z	108	hz
4	2022-03-08T-5:41:06	Frecuencia Z	107	hz
5	2022-03-08T-5:41:01	Frecuencia Z	107	hz
6	2022-03-08T-5:40:56	Frecuencia Z	108	hz
7	2022-03-08T-5:40:51	Frecuencia Z	108	hz
8	2022-03-08T-5:40:46	Frecuencia Z	107	hz
9	2022-03-08T-5:40:41	Frecuencia Z	107	hz
10	2022-03-08T-5:40:36	Frecuencia Z	107	hz
11	2022-03-08T-5:40:31	Frecuencia Z	108	hz
12	2022-03-08T-5:40:26	Frecuencia Z	110	hz
13	2022-03-08T-5:40:21	Frecuencia Z	109	hz
14	2022-03-08T-5:40:16	Frecuencia Z	109	hz
15	2022-03-08T-5:40:14	Frecuencia Z	107	hz
16	2022-03-08T-5:40:06	Frecuencia Z	110	hz
17	2022-03-08T-5:40:01	Frecuencia Z	110	hz
18	2022-03-08T-5:39:56	Frecuencia Z	109	hz
19	2022-03-08T-5:39:51	Frecuencia Z	108	hz
20	2022-03-08T-5:39:47	Frecuencia Z	109	hz
21	2022-03-08T-5:39:41	Frecuencia Z	110	hz
22	2022-03-08T-5:39:36	Frecuencia Z	108	hz
23	2022-03-08T-5:39:31	Frecuencia Z	104	hz

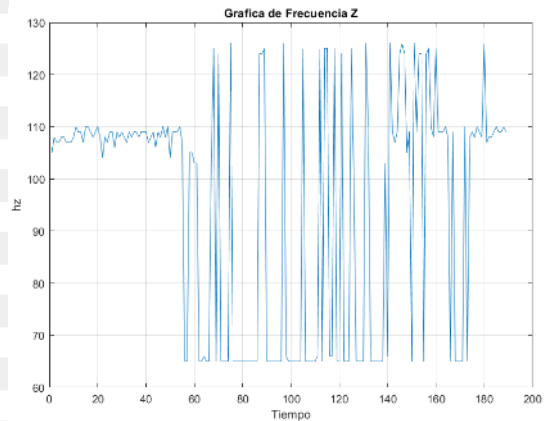


Gráfico 19-4: Visualización de datos del dispositivo MAE de vibración-4t eje z

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

## 4.25. Análisis de costos

### 4.25.1. Costos directos

Para el desarrollo del presente proyecto tipo técnico se realizó un financiamiento de:

**Tabla 4-4:** Costos directos de los dispositivos MAE de temperatura

Dispositivo MAE de temperatura				
Componente electrónico	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Sensor de temperatura MLX90614	infrarrojo	2	\$14,00	\$28,00
Módulo MCU ESP 32		2	\$13,00	\$26,00
Pantalla LCD 16*2	pantalla monocromática	2	\$8,00	\$16,00
Baterías de litio 18650		6	\$4,00	\$24,00
Módulo de carga baterías 18650	3 celdas $I_{m\acute{a}x}$ de 10A	2	\$4,00	\$8,00
Step down MP1584	regulador de voltaje	2	\$3,00	\$6,00
Conector hembra para cargador		2	\$3,00	\$6,00
Pulsador + acople		2	\$1,00	\$2,00
Switch de encendido		2	\$1,00	\$2,00
Cortes e impresiones 3D, dispositivos de temperatura		2	\$15,00	\$30,00
Cortes e impresiones tapas frontal	acrílico transparente de 3 mm	2	\$5,75	\$11,50
Cortes e impresiones tapas posterior	acrílico transparente de 3 mm	2	\$3,25	\$6,50
Cortes e impresiones bases de batería		4	\$1,50	\$6,00
<b>Total</b>				<b>\$172,00</b>

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

**Tabla 5-4:** Costos directos de los dispositivos MAE de velocidad

Dispositivo MAE de velocidad				
Componente electrónico	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Encoder incremental	1.000 pulsos	2	\$60,00	\$120,00
Módulo MCU ESP 32		2	\$13,00	\$26,00
Pantalla LCD 16*2	pantalla monocromática	2	\$8,00	\$16,00
Baterías de litio 18650		6	\$4,00	\$24,00
Módulo de carga baterías 18650	3 celdas $I_{m\acute{a}x}$ de 10A	2	\$4,00	\$8,00
Step down MP1584	regulador de voltaje	2	\$3,00	\$6,00
conector hembra para cargador		2	\$3,00	\$6,00
Pulsador + acople		2	\$1,00	\$2,00
Switch de encendido		2	\$1,00	\$2,00
Cortes e impresiones 3D, dispositivos de velocidad		2	\$11,00	\$22,00

CONTINUA

Cortes e impresiones tapas frontal	acrílico transparente de 3 mm	2	\$5,75	\$11,50
Cortes e impresiones tapas posterior	acrílico transparente de 3 mm	2	\$3,25	\$6,50
Cortes e impresiones bases de batería		4	\$1,50	\$6,00
Acople para el eje		1	\$10,00	\$10,00
Prisioneros para el acople		6	\$0,75	\$4,50
Base para el dispositivo		1	\$75,00	\$75,00
<b>Total</b>				\$345,50

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

**Tabla 6-4:** Costos directos de los dispositivos MAE de vibración

<b>Dispositivo MAE de vibración</b>				
<b>Componente electrónico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
IMU MPU 9250	9 grados de libertad	4	\$10,00	\$40,00
Módulo MCU ESP 32		4	\$13,00	\$52,00
Pantalla LCD 16*2	Pantalla monocromática	4	\$8,00	\$32,00
Baterías de litio 18650		12	\$4,00	\$48,00
Módulo de carga baterías 18650	3 celdas $I_{m\acute{a}x}$ de 10A	4	\$4,00	\$16,00
Step down MP1584	Regulador de voltaje	4	\$3,00	\$12,00
conector hembra para cargador		4	\$3,00	\$12,00
Pulsador + acople		4	\$1,00	\$4,00
Switch de encendido		4	\$1,00	\$4,00
Cortes e impresiones 3D, dispositivos de vibración		4	\$11,00	\$44,00
Cortes e impresiones 3D para las bases de los sensores de vibración		4	\$8,00	\$32,00
Cortes e impresiones tapas frontal	acrílico transparente de 3 mm	4	\$5,75	\$23,00
Cortes e impresiones tapas posterior	acrílico transparente de 3 mm	4	\$3,25	\$13,00
Cortes e impresiones bases de batería		8	\$1,50	\$12,00
<b>Total</b>				\$344,00

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

**Tabla 7-4:** Costos directos de los elementos adicionales

<b>Elementos adicionales</b>				
<b>Componente electrónico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Router		1	\$25,00	\$25,00
Cargador de 12V		2	\$10,00	\$20,00
Baquelitas	formato A4	2	\$6,00	\$12,00
Cable de instrumentación 4 hilos		6	\$5,00	\$30,00
Impresiones		2	\$4,00	\$8,00

**CONTINUA**

ácidos		1	\$3,00	\$3,00
Maletín		1	\$45,00	\$45,00
Esjonja para el maletín		1	\$12,00	\$12,00
Pernos		64	\$0,05	\$3,20
Tuercas,		64	\$0,05	\$3,20
Rodelas planas		64	\$0,05	\$3,20
Mica de color negro, verde y azul		7	\$0,50	\$3,50
Pega tanque		1	\$5,50	\$5,50
Imanes de neodimio		15	\$3,75	\$56,25
Cotonetes			\$0,30	\$0,30
Esmalte para baquelita			\$2,50	\$2,50
Cortadora para esponja			\$2,50	\$2,50
Programas( MatLab, SolidWork, Arduino IDE, Proteus 8.0,	2 postulantes	1 c/u	\$2,00	\$16,00
Cable de datos (entrada USB micro B, salida USB tipo A)			\$2,50	\$2,50
<b>Total</b>				\$251,15

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.25.2. Costos indirectos

**Tabla 8-4:** Costos indirectos de los elementos adicionales

N	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
	Internet	10	\$0,60	\$6,00
	Transporte		-	\$30,00
5	Impresiones	160	\$0,10	\$80,00
	Empastados	2	\$8,00	\$16,00
	CD	2	\$4,00	\$8,00
<b>Total</b>				\$140,00

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

#### 4.25.3. Destino del proyecto

El proyecto será donado a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Mantenimiento Industrial, con fines educativos.

## CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos, mediante IoT, utilizando el microcontrolador ESP32 y sensores de temperatura, velocidad y vibración.

Se diseñó el hardware para el sistema de adquisición de datos, mismo que está compuesto, de sensores de temperatura, velocidad y vibración, cada uno fue programado individualmente con el microcontrolador ESP32, que en conjunto permiten adquirir los datos en tiempo real.

La colocación de los dispositivos MAE en el banco de prueba BPR-6206 se realizó de forma sencilla, ya que en sus bases cuentan con un imán de neodimio, lo cual permite una magnetización completa.

El microcontrolador ESP32, jugó un papel importante en el proyecto, ya que conecta los sensores con el internet, específicamente con la plataforma de IoT Cayenne myDevices, y permitió la visualización de los datos que entregan los sensores, en tiempo real.

Se elaboró el manual de operación y mantenimiento del sistema de adquisición de datos, el cual permitió que, en forma sencilla, se indica paso a paso el proceso de funcionamiento del sistema de adquisición de datos, y la realización de actividades de mantenimiento, para prolongar su vida útil.

La duración completa de las baterías es de 4 a 5 horas, para que su carga llegue al 100% se debe conectar durante 1 hora y 30 minutos.

## **RECOMENDACIONES**

Para adquirir datos con el dispositivo MAE de velocidad, el acople de plástico que viene con el encoder incremental debe ser reemplazado por uno de metal, debido a las vibraciones que el módulo provoca tendiendo a romperse.

Calibrar los dispositivos MAE en caso de que uno de éstos se lo utilice en otro ambiente.

Al incrementar más sensores, la plataforma de IoT Cayenne myDevices, se vuelve lenta.

Revisar los códigos de Arduino IDE de presentarse algún inconveniente con la programación, para adaptarlos a los requerimientos.

Para modificar el diseño del sistema de adquisición de datos, investigar cuáles son los componentes electrónicos compatibles con el proyecto modificado.

## **GLOSARIO**

**TRIMMER:** Es un componente eléctrico ajustable en miniatura. Está destinado a ser configurado correctamente cuando se instala en algún dispositivo, y nunca visto o ajustado por el usuario del dispositivo.

**DMP:** Procesador digital de movimiento

**I2C:** Es un puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales. El puerto incluye dos cables de comunicación, SDA y SCL.

**SDA:** Datos de sistema

**SCL:** Reloj de sistema

**I2S:** Es un estándar de interfaz de bus serie electrónico que se utiliza para conectar dispositivos de audio digitales.

**ASIC:** Son dispositivos diseñados para aplicaciones específicas, en este caso, el minado de criptomonedas.

**SMBus:** Bus de gestión del sistema, es un subconjunto del protocolo I2C.

**SoC:** Es una plataforma que permite la supervisión y administración de la seguridad del sistema de información a través de herramientas de recogida.

**QSPI:** Es un periférico que brinda soporte para comunicarse con una flash externa mediante SPI (interfaz periférica de serie).

**GPI:** Interrupción de propósito general.

**UART:** Transmisor – receptor asincrono universal, simple, utiliza dos cables entre el transmisor y receptor para transmitir y recibir en ambas direcciones.

**Widget de Value:** En este campo se mostrará el valor numérico del sensor



**Widget line Chart:** Grafica en el tiempo el valor del sensor

**Widget tank:** En este campo se mostrará el nivel de batería del sensor

## BIBLIOGRAFÍA

**AGÜERO, MÓNICA.** *Sistema de Adquisición de Datos.* [Blog]. 2017. [Consulta: 19 noviembre 2021]. Disponible en: <http://materias.df.uba.ar/mta2019c1/files/2014/08/Adquisicion-de-datos-Aguero.pdf>

**ALVARADO, STEVEN.** *Microcontroladores.* [Blog]. 2019. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.academia.edu/40986361/MICROCONTROLADORES>

**ÁLVAREZ, Yigliana: et al,** “Risks and Security Solutions Existing in the Internet of Things (IoT) in Relation to Big Data.” *Ingeniería y competitividad.* [En línea], 2021,(Colombia) 23(1), p: 3. [Consulta: 22 noviembre 2021]. ISSN 0123-3033. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i1.9484>.

**API.** *¿Cuáles Son Las Diferencias Entre Ambos Módulos?* [Blog]. [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: <https://descubrearduino.com/esp32-vs-esp8266/>

**Arias, M.** *Alineamiento de Ejes.* [Blog]. [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: <https://procoen.com/alineamiento-de-ejes/>

**AROCENA, F. & SEBASTIÁN S.** “¿Hámsteres En La Rueda? Aceleración y Cuarta Revolución Industrial”. *Civistas.* [En línea], 2020,(Uruguay) 20(2), p: 10. [Consulta: 16 diciembre 2021]. ISSN-L: 1519-6089. Disponible en: <https://doi.org/10.15448/1984-7289.2020.2.33886>.

**AUSAY BAQUERO, César Aurelio, & ESTRADA TUALOMBO, Willam Enrique.** Análisis de Modos y Efectos de Falla En Rodamientos Por Defectos de Lubricación a Través de Ultrasonido En Un Simulador Electroneumático. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. p. 18. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14905>

**BARBARA.** *Cómo Optimizar El Mantenimiento de Dispositivos Industriales Con IoT* Barbara IoT. [Blog]. [Consulta: 01 diciembre 2021]. Disponible en: <https://barbaraiot.com/blog/mantenimiento-industrial-con-tecnologia-iot/>

**BARRERA, et al.** *Ensamble y Mantenimiento de Computadores. UNAD.* [Blog]. [Consulta: 01 diciembre 2021]. Disponible en: <https://unad-ensambleymantenimiento.blogspot.com/>

**BETTS, et al.** *Introducción a Internet de Las Cosas (IoT) de Azure.* [Blog]. [Consulta: 22 diciembre 2021]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/iot-fundamentals/iot-introduction>.

**BUCHELI NARANJO, José Luis, & VELÁZQUEZ GARRIDO, Lenin Mauricio.** Diseño e Implementación de Un Módulo Didáctico Con Sistema HMI Para El Análisis y Estudio de Sensores y Transductores de Proximidad Analógicos Por Medio de La Tarjeta de Adquisición de Datos DAQ Ni y Controlada Por El Software LABVIEW. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2014. p. 7. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6334>

**CABRERA MEZA, Juan David.** Mantenimiento Preventivo de Las Máquinas Rotativas de Los Laboratorios de Las UTS Barrancabermeja Empleando Análisis de Vibraciones. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Unidades Tecnológicas de Santander, Floridablanca, Colombia. 2019. p. 23. [Consulta: 08 diciembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/3635>

**CLR.** *Tipos de Encoders y Aplicaciones En Motores.* [Blog]. [Consulta: 22 diciembre 2021]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/tipos-de-encoders-aplicaciones-motores/>

**COLOMBIANIZATE.** Sensor de Temperatura MLX90614. [Blog]. [Consulta: 22 diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.colombianizate.com.co/tienda/arduino/sensores-arduino/sensor-de-temperatura-mlx90614/>

**CORONEL SILVA, Valeria Estefanía, & TENELANDA SATILLÁN, Dennis Miguel.** Análisis de Interoperabilidad de Plataformas IoT Aplicado Al Desarrollo de Un Sistema de Monitoreo de Polución de Aire Para La ESPOCH. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. p. 14. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5440>

**DELGADO PRIETO, Miquel, & ÁNGEL FERNÁNDEZ, Sobrino.** Estudio Del Proceso de Implementación de Una Arquitectura Ciberfísica Para Supervisión de Proceso Industrial. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica de Catalunya. Catalunya,

España. 2021. p. 17. [Consulta: 23 noviembre 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/358697>

**DELOITTE.** *¿Qué Es La Industria 4.0?* [Blog]. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>.

**DEWESOFT.** *¿Qué Es Un Sensor y Qué Hace?* [Blog]. [Consulta: 05 noviembre 2021]. Disponible en: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor#what-do-sensors-do>.

**DIÉGUEZ, LOLI.** *Magnificas Plataformas IoT Para Arduino.* [Blog]. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: <https://kolwidi.com/blogs/blog-kolwidi/9-plataformas-iot-para-arduino-y-proyectos-de-iot>.

**GALIANA LLINARES, et al.** *Sensores de Temperatura.* [En línea]. Valencia, España. Editorial Universidad de Valencia, 2019. [Consulta: 05 noviembre 2021]. Disponible en: [https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod\\_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf](https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf)

**GARCÍA, MARÍA.** *¿Qué Es IoT (Internet Of Things)?* [Blog]. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>

**GARCÍA OTERO, Pedro.** *Equipo de Adquisición de Audio Multicanal Usando RASPBERRY PI y PYTHON.* [Blog]. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: [https://redib.org/Record/oai\\_articulo2656706-equipo-de-adquisici%C3%B3n-de-audio-multicanal-usando-raspberry-pi-y-python](https://redib.org/Record/oai_articulo2656706-equipo-de-adquisici%C3%B3n-de-audio-multicanal-usando-raspberry-pi-y-python)

**GONZALEZ FUQUENE, Julian Andrés.** *Torque o Momento de Una Fuerza.* [Blog]. [Consulta: 08 diciembre 2021]. Disponible en: <https://juliannexus.wordpress.com/2015/05/21/torque-o-momento-de-una-fuerza/>

**GONZÁLEZ, Yubir, et al.** “Diseño de Un Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos Con El Uso de Multisensores Para Laboratorios de Física Universitarios.” *Ingeniería UC.* [En línea], 2018, (Chile) 25(11), p: 3. [Consulta: 11 octubre 2021]. ISSN 2610-8240. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/707/70757668010/html/>

**GUERRERO PILCO, Caren Gabriela.** Diseño e Implementación de Un Robot Recolector de Pelotas de Tenis de Campo Mediante Visión Artificial. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. p. 26. [Consulta: 07 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13780>

**JM INDUSTRIAL.** *Monitoreo de Temperatura.* [Blog]. [Consulta: 23 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.jmi.com.mx/monitoreo-de-temperatura>

**JOSE, San.** *MPU-9250.* [Blog]. [Consulta: 28 noviembre 2021]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-512545261-mgsystem-mpu-9250-acelerometro-giroscopio-magnetometro-JM#position=1&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=3a915f46-82e1-489b-9473-2d91a503de63](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-512545261-mgsystem-mpu-9250-acelerometro-giroscopio-magnetometro-JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=3a915f46-82e1-489b-9473-2d91a503de63)

**LUPAC.** *Máquinas Eléctricas Rotativas.* [Blog]. [Consulta: 06 diciembre 2021]. Disponible en: [https://camlingroup.com/es-es/energ%C3%ADa/productos/m%C3%A1quinas-rotativas?gclid=EAIaIQobChMI0qmCrp7E-AIV8otaBR2\\_nA3sEAAYASAAEgJRe\\_D\\_BwE](https://camlingroup.com/es-es/energ%C3%ADa/productos/m%C3%A1quinas-rotativas?gclid=EAIaIQobChMI0qmCrp7E-AIV8otaBR2_nA3sEAAYASAAEgJRe_D_BwE)

**NAYLAMP.** *Sensor de Temperatura Infrarrojo MLX90614.* [Blog]. [Consulta: 22 diciembre 2021]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html>

**NAYLAMP MECHATRONICS.** 2022. Módulo MPU9250, Acelerómetro, Giroscopio, Magnetómetro I2C. [Blog]. [Consulta: 22 diciembre 2021]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/214-modulo-mpu9250-acelerometro-giroscopio-magnetometro-i2c.html>

**Olarte C, et al.** “Una Herramienta Clave En El Mantenimiento Predictivo.” *Scientia Et Technica.* [En línea], 2010, (Colombia) 16(15), p: 3. [Consulta: 30 noviembre 2021]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249040>

**OMEGA.** *Acelerómetro.* [Blog]. [Consulta: 09 noviembre 2021]. Disponible en: <https://mx.omega.com/prodinfo/acelerometro.html>

**OMRON.** *Encoder incremental E6C2-C.* [Blog]. [Consulta: 17 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.sciket.com/product/2769239>

**PALOMINO MARÍN, et al.** “Monitoreo de Condición En Grupos Electrónicos Basado En Análisis de Vibraciones Por Bandas Espectrales.” *Ingeniería Mecánica*. [En línea], 2018, (Colombia) 21(15), p: 20. [Consulta: 05 enero 2021]. ISSN 1815-5944. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225158800003>

**QUISAY VERA, Luis Alberto, & GAIBOR RAMOS, Fabian Isaac.** Implementación de Un Sistema de Control de Condición de Activos Para Motores Eléctricos Mediante Análisis de Vibración e Internet de Las Cosas. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2021. p. 1. [Consulta: 01 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52295>

**RAMÍREZ BETANCOUR, et al.** “Control de Velocidad de Un Motor de CD Basado En Mediciones de La Corriente de Armadura.” *Ingeniería Investigación y Tecnología*. [En línea], 2018, (México) 19(4), p: 19. [Consulta: 30 noviembre 2021]. ISSN 2594-0732. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.040>

**ROBOT.** *Mlx90614 Sensor De Temperatura Infrarrojo*. [Blog]. [Consulta: 20 diciembre 2021]. Disponible en: <http://robot.com.ve/product/mlx90614-sensor-de-temperatura-infrarrojo/>

**SALCEDO MARTÍNEZ, Raúl.** *Tendencias en eficiencia energética. La eficiencia energética y el ahorro de energía como una necesidad estratégica*. [En línea], , Granada-España; Publicación didácticas, 2018. [Consulta: 06 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.lareferencia.info/vufind/Record/ES\\_bef6ed2669e2f65d2f9449687bfb5ef4](https://www.lareferencia.info/vufind/Record/ES_bef6ed2669e2f65d2f9449687bfb5ef4)

**SAUCEDO DORANTES, et al.** “Análisis de Falla de Encendido En Motores de Combustión Utilizando Señales de Vibración Basado En El Cálculo y Reducción de Indicadores Estadísticos.” *Científica*. [En línea], 2021, (México) 25(1), p: 5. [Consulta: 24 noviembre 2021]. ISSN 2594-2921. Disponible en: <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v25n1a07>

**SOLIDBI.** *Solidworks*. [Blog]. [Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en: <https://solidbi.es/solidworks/>

**SONNAILLON, et al.** “Monitoreo En Línea de Temperatura En Motores de Alterna Sin Uso de Sensores.” *AADECA*. [En línea], 2006, (Argentina), p: 2. [Consulta: 22 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/233382302>

**SSDIELECT.** *Modulo wemos mini d1 esp32 esp-32 wifi + bluetooth.* [Blog]. [Consulta: 27 diciembre 2021]. Disponible en: <https://ssdielect.com/cb/bluetooth-2/821-d1-mini-esp32-v1-0.html>

**SYSTEMS.** *ESP32-WROOM-32.* [Blog]. [Consulta: 27 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Esspressif-Systems/ESP32-WROOM-32D-N4?qs=Li%252BoUPsLEntUgv1ft2QYWQ%3D%3D>

**UNIVERSO DE LA MECATRÓNICA.** *Proteus 8.10 Sp0 Pro.* [Blog]. [Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.universodelamecatronica.com/2020/06/proteus-810-sp0-pro-en-espanol.html>

**URIBE ZÚÑIGA, David.** *Sistemas de Manufactura Inteligente.* [Blog]. [Consulta: 12 noviembre 2021]. Disponible en: <https://vsip.info/sistemas-de-manufactura-inteligentedocx-pdf-free.html>

**VALLE HERNÁNDEZ, Luis.** *Cayenne MyDevices y Arduino Para Monitorizar Sensores Del IoT.* [Blog]. [Consulta: 14 diciembre 2021]. Disponible en: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/cayenne-mydevices-arduino-sensores-iot/>

**VENANZI, et al.** “Study of Multiple Cases in the Industrial Sector of SOROCABA-SP.” *Científica Hermes.* [En línea], 2020, (Colombia) 26(1), p: 5. [Consulta: 14 noviembre 2021]. ISSN 2175-0556. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Industria\\_40\\_Estudo\\_de\\_Multiplos\\_Casos\\_no\\_setor\\_in.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Industria_40_Estudo_de_Multiplos_Casos_no_setor_in.pdf)

**YnzUNZA CORTÉS, et al.** “Implicaciones y Perspectivas Futuras.” *Conciencia Tecnológica.* [En línea], 2017, (México) 19(1), pp: 1-5. [Consulta: 14 noviembre 2021]. ISSN 1405-5597. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>.

**YUN, et al.** “Development of Internal Sound Sensor Using Stethoscope and Its Applications for Machine Monitoring for Machine Monitoring.” *Springer.* [En línea], 2020, (United State of America) 48(1), p: 1. [Consulta: 05 noviembre 2021]. ISSN 1573-174X. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-021-01862-4>

**ZARATE, Enrique.** *Sistema Digital de Adquisición de Datos.* [Blog]. [Consulta: 17 octubre 2021]. Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DigitalDAQv3ESPANOL.pdf>

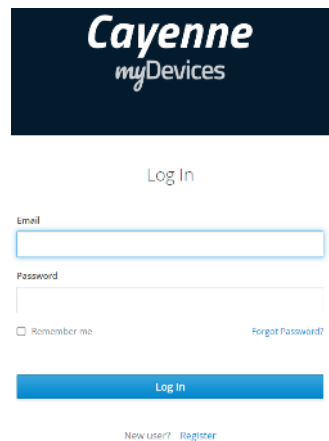
## ANEXOS

### ANEXO A: Manual de operación y mantenimiento de los sensores

- Conectar el cable del router Mercusys a una red de internet fija, para que, al momento de activar los sensores, estos se conecten al internet de Mercusys.



- Active en el explorador la plataforma IoT de Cayenne myDevices, ingrese con su usuario y contraseña.

A screenshot of the Cayenne myDevices login page. The page has a dark blue header with the 'Cayenne myDevices' logo. Below the header is a 'Log In' section with an 'Email' input field, a 'Password' input field, a 'Remember me' checkbox, and a 'Forgot Password?' link. At the bottom of the login section is a blue 'Log In' button. Below the button is a link for 'New user? Register'.

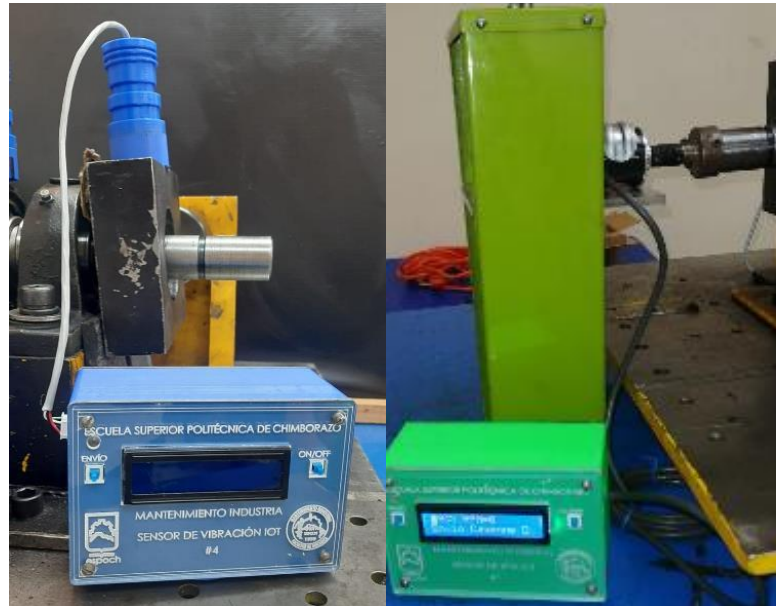
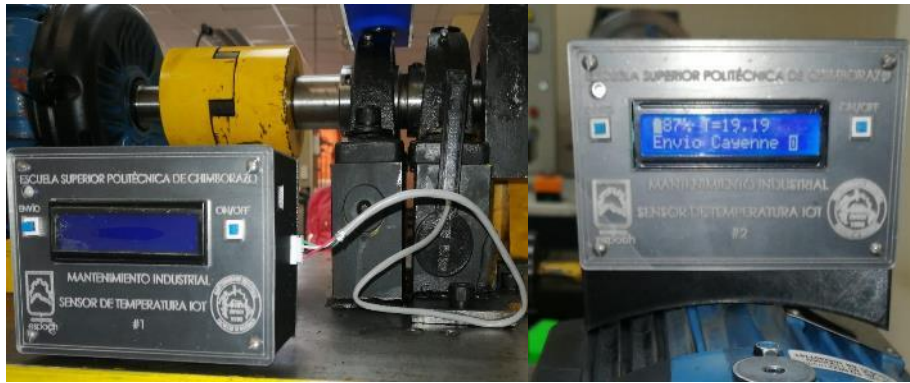
- Coloque los sensores en la parte donde se desea adquirir datos, sean estos de temperatura, velocidad o vibraciones del módulo BPR-6206.

Sensor de velocidad #1

Sensor de temperatura #1 y #2

Sensor de vibración #1,#2, #3, #4





- Para que se encienda el sensor


Pulsar el botón ON/OFF

Esperar hasta que diga Conexión Exitosa y nos muestre la dirección IP.




- Una vez activado el sensor se visualiza en la pantalla LCD

Nombre y número de dispositivo

Nivel de batería 

Valor numérico

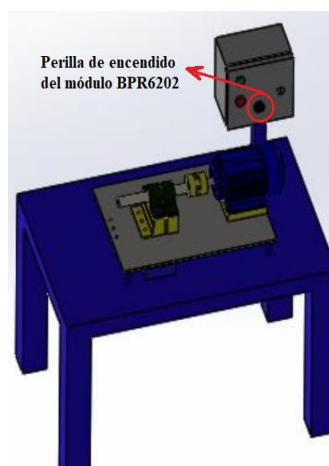
Envío Cayenne 




- Observar en la plataforma Cayenne myDevices, que el sensor a utilizar se ha activado, ya que este mostrara sus letras con una tonalidad más oscura.



- Encender el módulo BPR-6206.



- Activar el botón ENVIÓ, el cual es un botón que se encuentra en la parte delantera, superior izquierda del sensor.

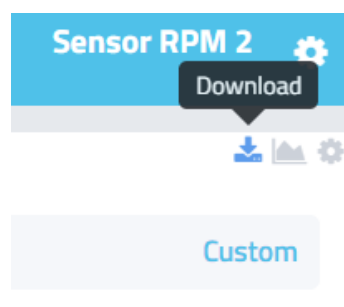
Una vez activado el botón se podrá visualizar en la pantalla LCD el símbolo Envío Cayenne myDevices , con una línea vertical en medio cuadro.



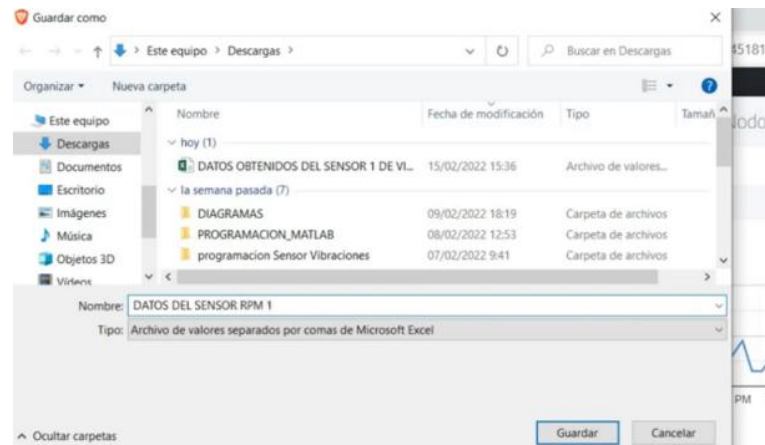
- Por defecto, se mostrarán los datos obtenido en la plataforma.

Timestamp	Device N...	Channel	Sensor Name	Sensor ID	Data Type	Unit	Values
2022-02-15 3:36:07	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	120
2022-02-15 3:36:06	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	60
2022-02-15 3:36:05	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	120
2022-02-15 3:36:04	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:36:03	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:36:02	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:36:01	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:36:00	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:35:59	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:35:58	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:35:56	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	60
2022-02-15 3:35:55	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	0
2022-02-15 3:35:54	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	60
2022-02-15 3:35:53	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	60
2022-02-15 3:35:52	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	60
2022-02-15 3:35:51	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	120
2022-02-15 3:35:50	Sensor RPM ...	1	RPM Nodo 1	0dfb21c0-7a7f-11ec-9f5b-45...		null	120

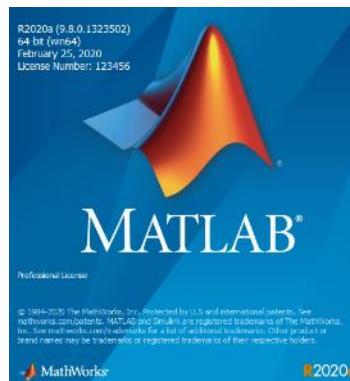
- Los datos recolectados se descargarán en Excel, mediante el icono de descarga (Download), localizado en la parte superior derecha del programa.



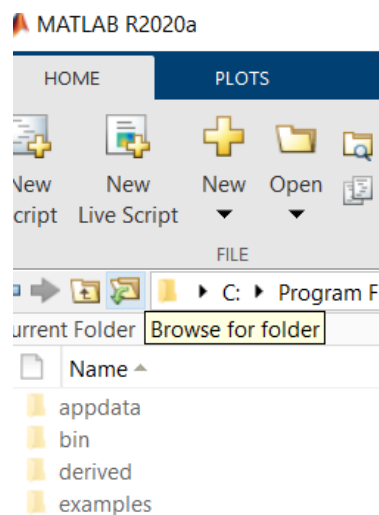
- Antes de realizar la descarga se le pedirá un lugar y nombre para el archivo. Estos datos son descargados sin normalizar, se utilizará el Programa de MATLAB R2020a para normalizarlos.



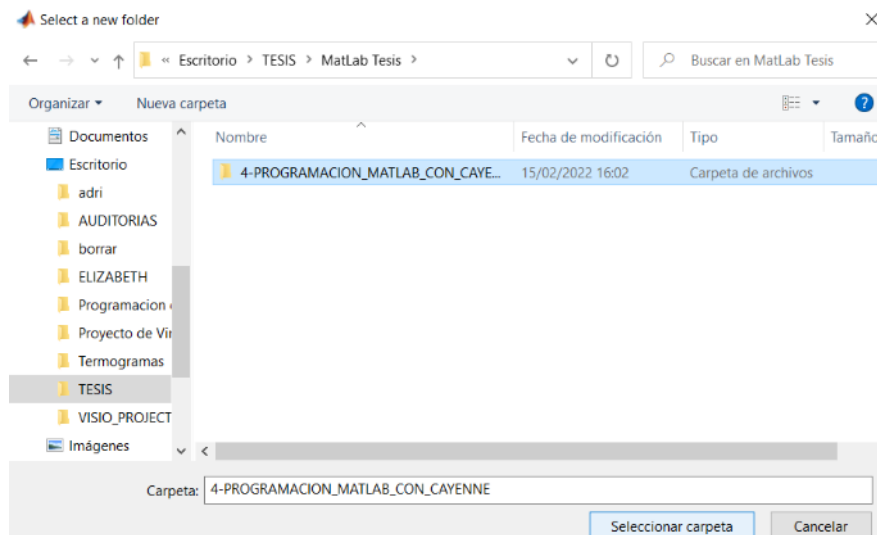
- Abrir el programa MATLAB R2020a



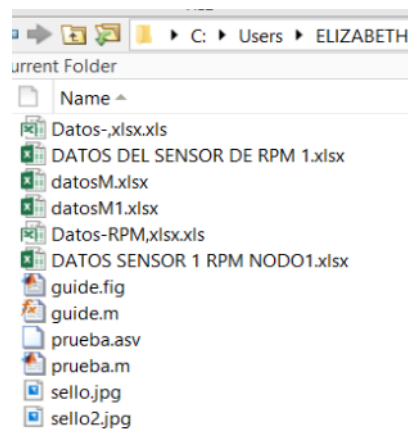
- Seleccionaremos la carpeta, busca por carpetas (Browse for folder)



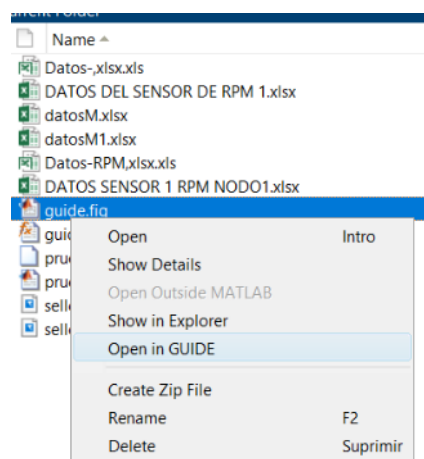
- Buscaremos la carpeta 4-PROGRAMACION-MATLAB-CAYENNE.



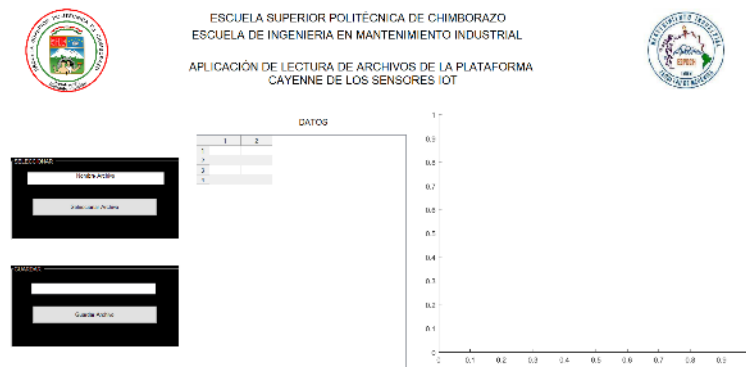
- Se activarán los siguientes iconos.



- Click derecho en **guide.fig**, seleccionar **Open in GUIDE**



- Se nos activa la ventana personaliza en MATLAB R2020a



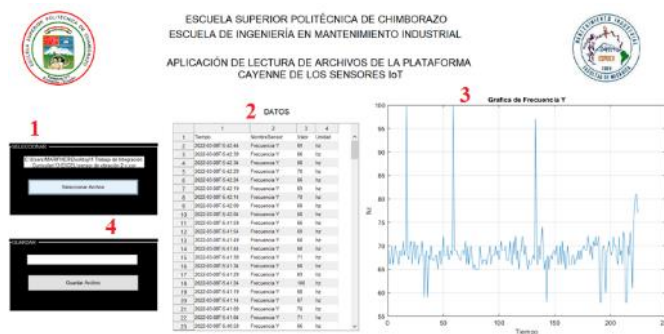
- Pasos para activar el programa en MATLAB R2020a

Panel de selección del archivo.

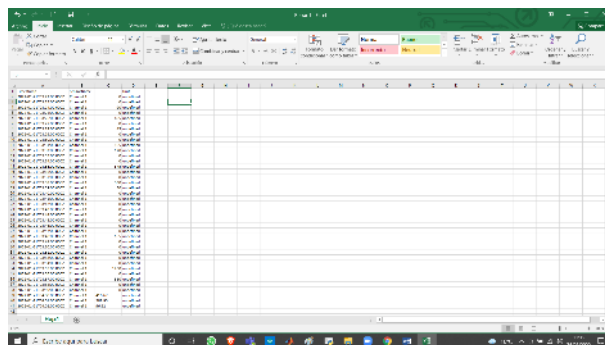
Visualización de la tabla de datos.

Grafica del dato.

Guardar Archivo.

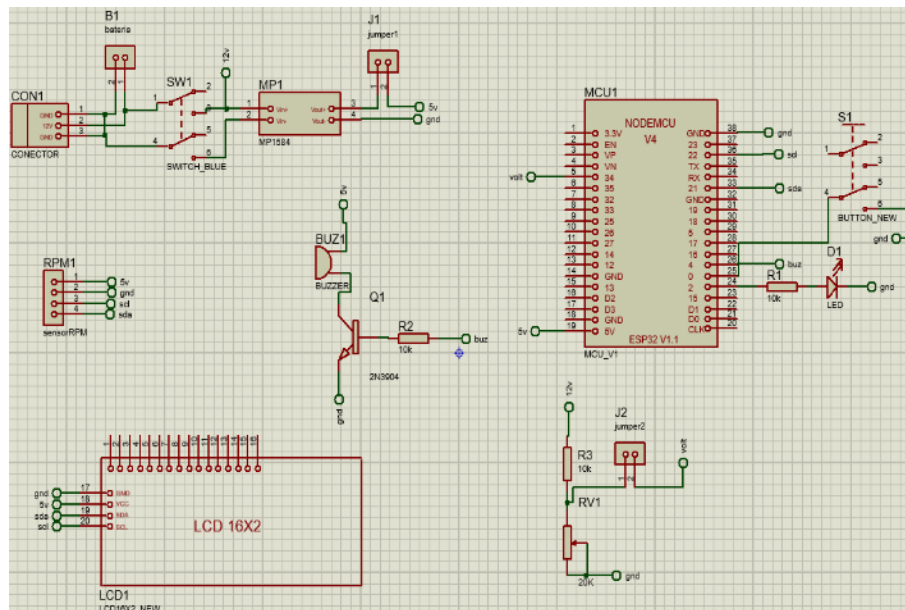


- Los datos normalizados se guardarán en Excel

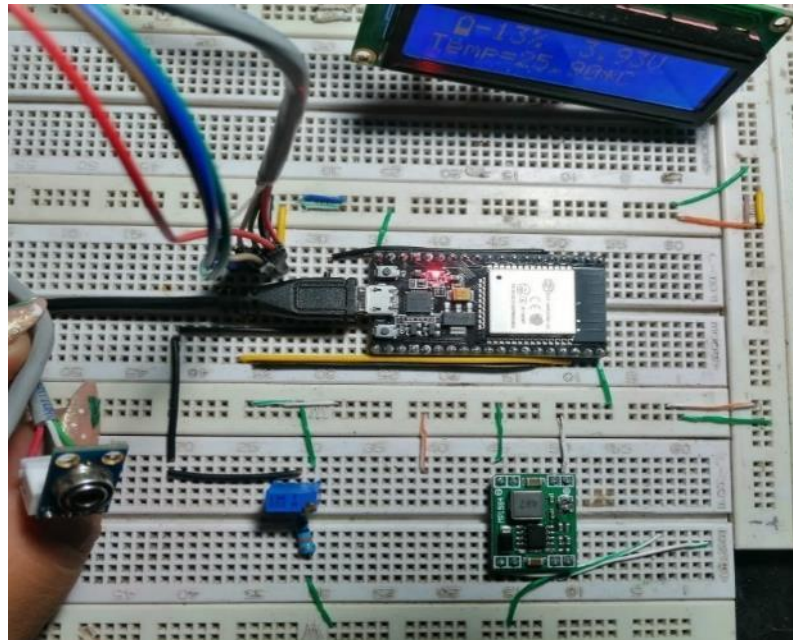


## ANEXO B: Diseño y construcción del dispositivo mae-1

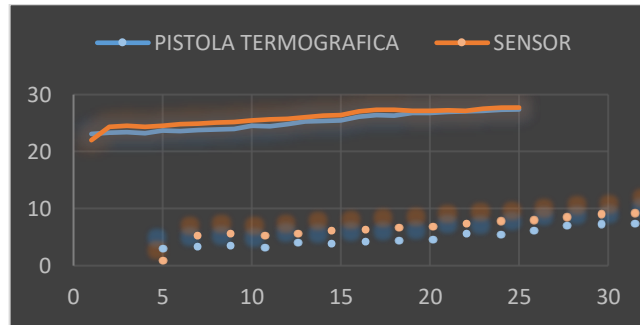
Diseño en Proteus 8 Professional del dispositivo MAE 1.



Construcción en protoboard del dispositivo MAE 1.



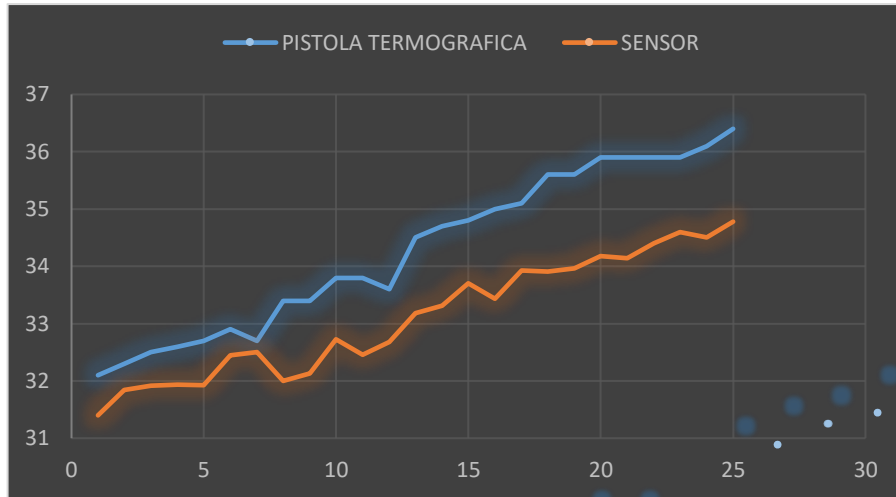
**ANEXO C: Toma de datos con el dispositivo mae-1 en protoboard**



FRECUCENCIA 10,00  
 $RPM = \frac{120 \cdot F}{P} \rightarrow F = 10 \rightarrow RPM = \frac{120 \cdot 10}{2} = 600rpm$

N°	DATOS DEL SENSOR "MLX90614" VS TERMOGRAMA		% de Error
	SENSOR MLX 90164	PISTOLA TERMOGRÁFICA	
1	22,01	23,1	4,718614719
2	24,38	23,3	4,635193133
3	24,52	23,4	4,786324786
4	24,35	23,2	4,956896552
5	24,57	23,7	3,670886076
6	24,79	23,6	5,042372881
7	24,91	23,8	4,663865546
8	25,08	23,9	4,937238494
9	25,19	24	4,958333333
10	25,5	24,6	4,081632653
11	25,64	24,4	5,081967213
12	25,76	24,8	3,870967742
13	26,04	25,3	2,924901186
14	26,27	25,4	3,42519685
15	26,42	25,5	3,607843137
16	27,1	26,1	3,831417625
17	27,36	26,4	3,636363636
18	27,37	26,3	4,068441065
19	27,17	26,8	1,380597015
20	27,18	26,8	1,417910448
21	27,22	27	0,814814815
22	27,19	27,1	0,332103321
23	27,56	27,2	1,323529412
24	27,72	27,3	1,538461538
25	27,73	27,4	1,204379562

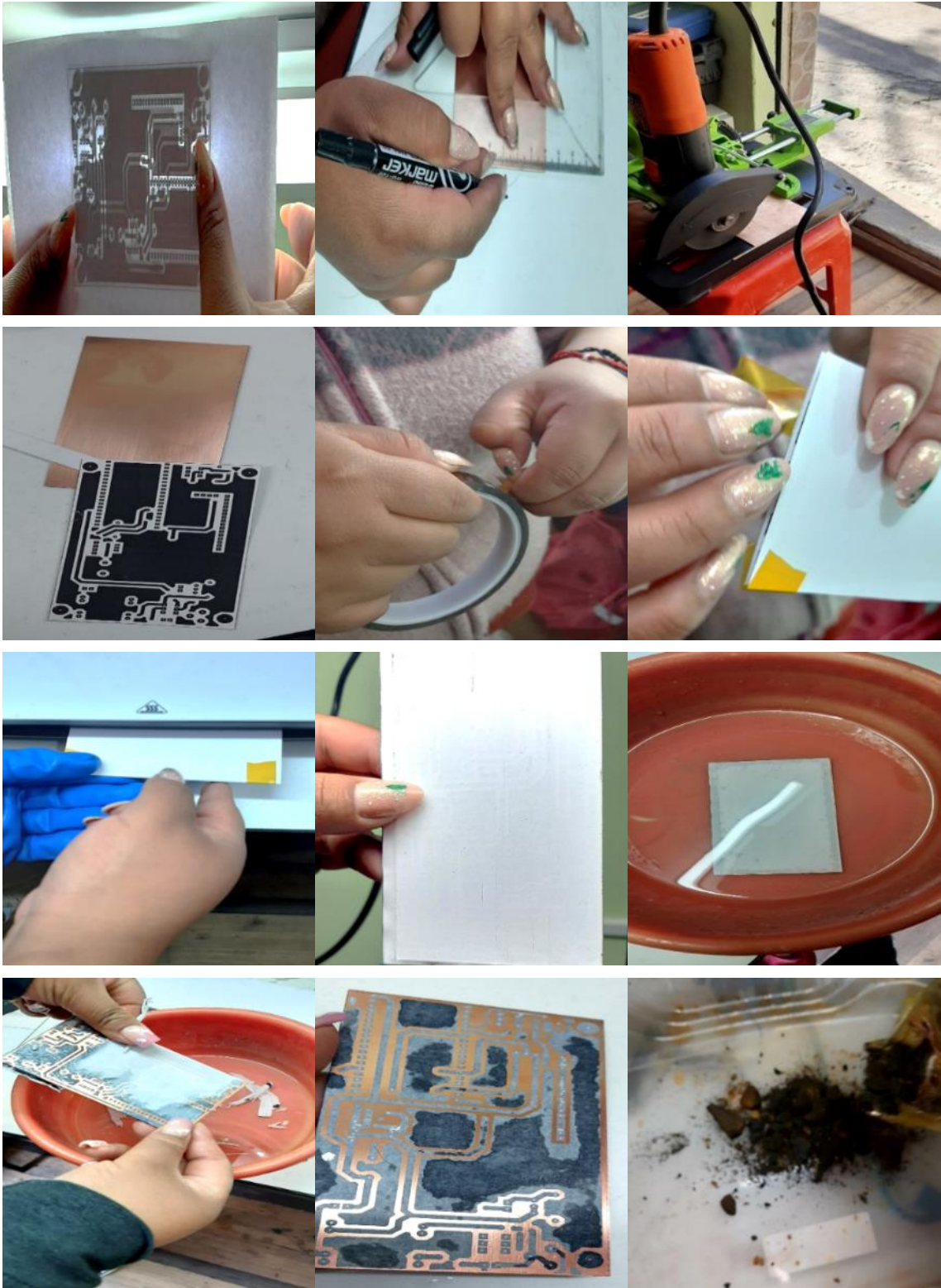


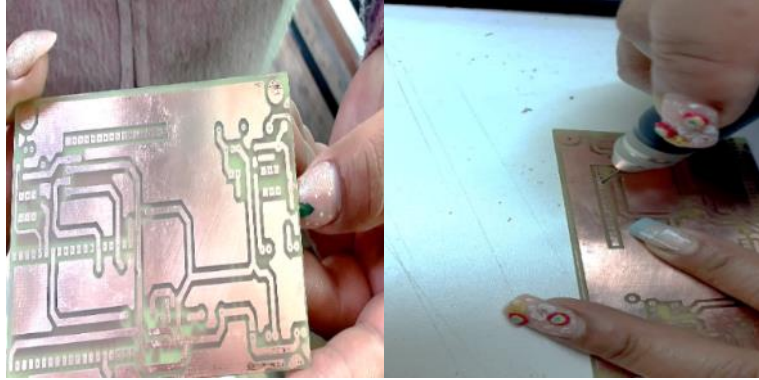
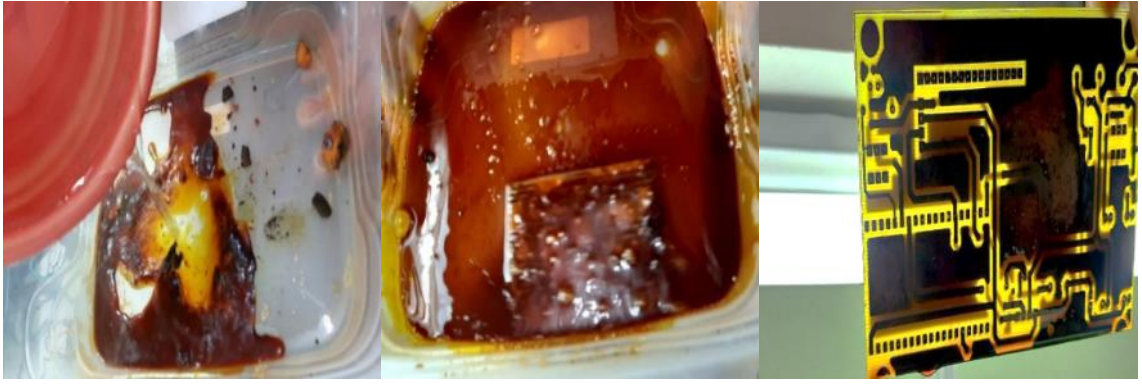


FRECUENCIA 20,00			
$RPM = \frac{120 * F}{P} \rightarrow F = 0 \rightarrow RPM = \frac{120 * 10}{2} = 1200rpm$			
N°	DATOS DEL SENSOR MLX90614 VS TERMOGRAMA		% de Error
	SENSOR MLX 90164	PISTOLA TERMOGRÁFICA	
1	31,4	32,1	2,180685358
2	31,84	32,3	1,424148607
3	31,92	32,5	1,784615385
4	31,94	32,6	2,024539877
5	31,93	32,7	2,354740061
6	32,45	32,9	1,367781155
7	32,5	32,7	0,611620795
8	32	33,4	4,191616766
9	32,13	33,4	3,80239521
10	32,73	33,8	3,165680473
11	32,46	33,8	3,964497041
12	32,68	33,6	2,738095238
13	33,18	34,5	3,826086957
14	33,31	34,7	4,005763689

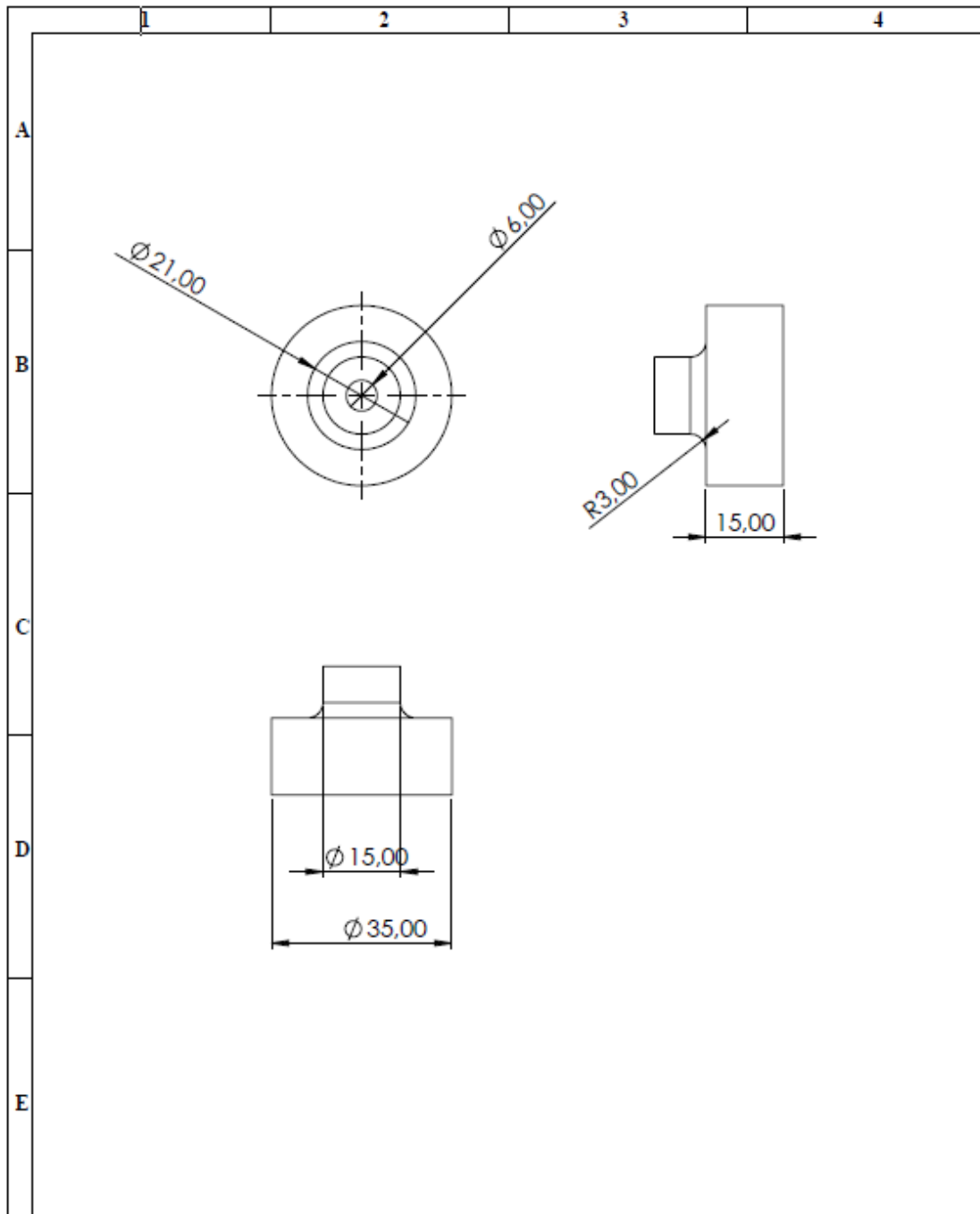
## ANEXO D: Construcción de las placas pcb para los dispositivos MAE

Realizado por: Tene, María.; Tene, Rosa. 2022

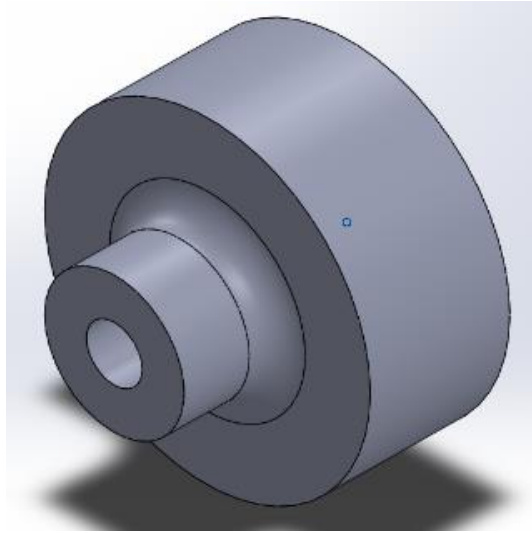




**ANEXO E:** Diseño solidworks, acople para eje dispositivo de velocidad

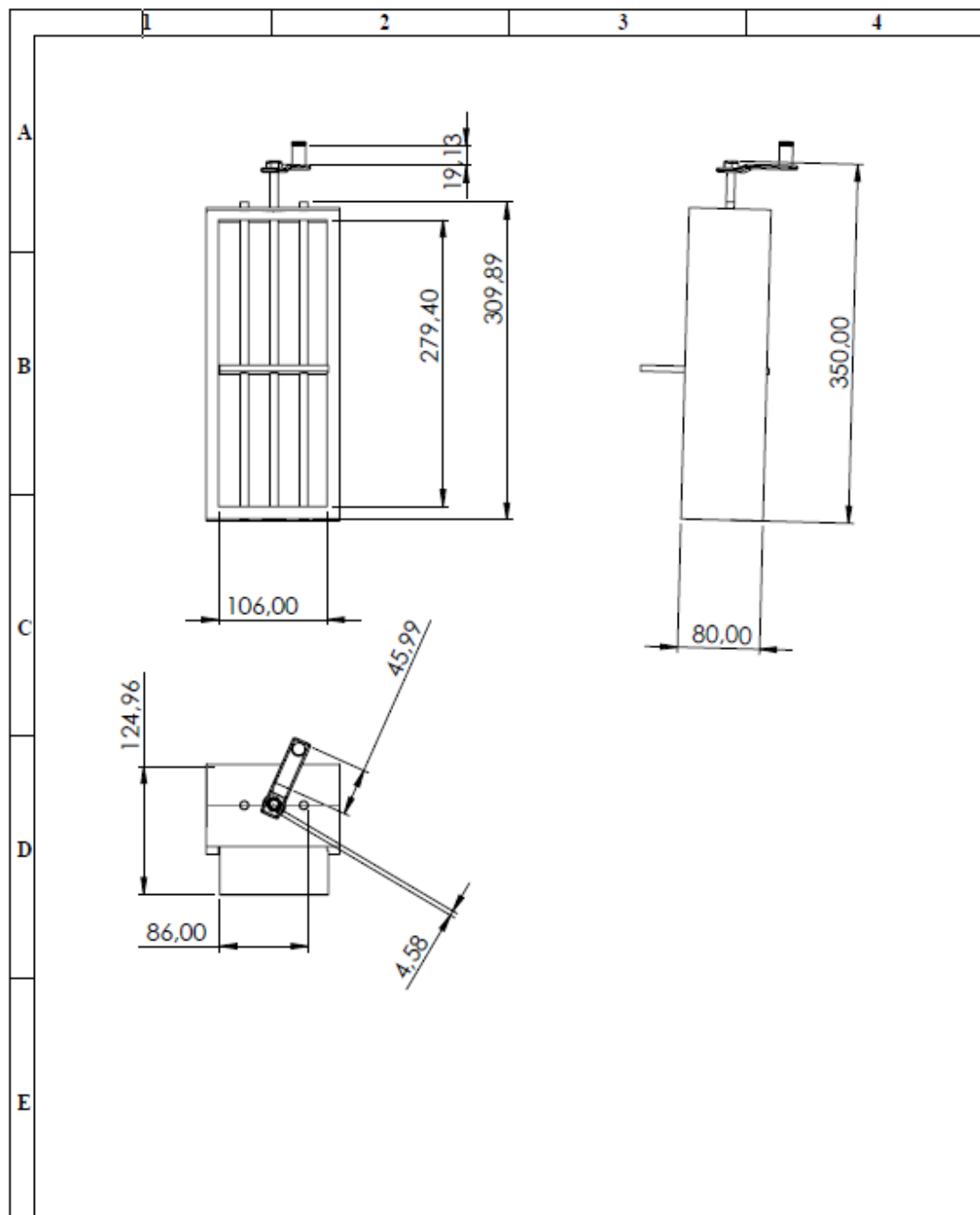




N° Lámina: 1 de 6		N° Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-0001-02-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
Email: rosa.tene@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 09 9947 3030						Denominación:  <b>Hoja 1</b>						Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGÚN DISEÑO				0,5	±0,3 [mm]	1:1			
Proyectó	T.I.C TeneM-TeneR		2022/12/10					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó	Srta. Tene Rosa		2022/02/18										
Revisó	Ing. Félix Garcia		2022/02/25										
Aprobó	Ing. Félix Garcia		2022/02/25										
Nombre de archivo: Ácople eje, dispositivo de velocidad													

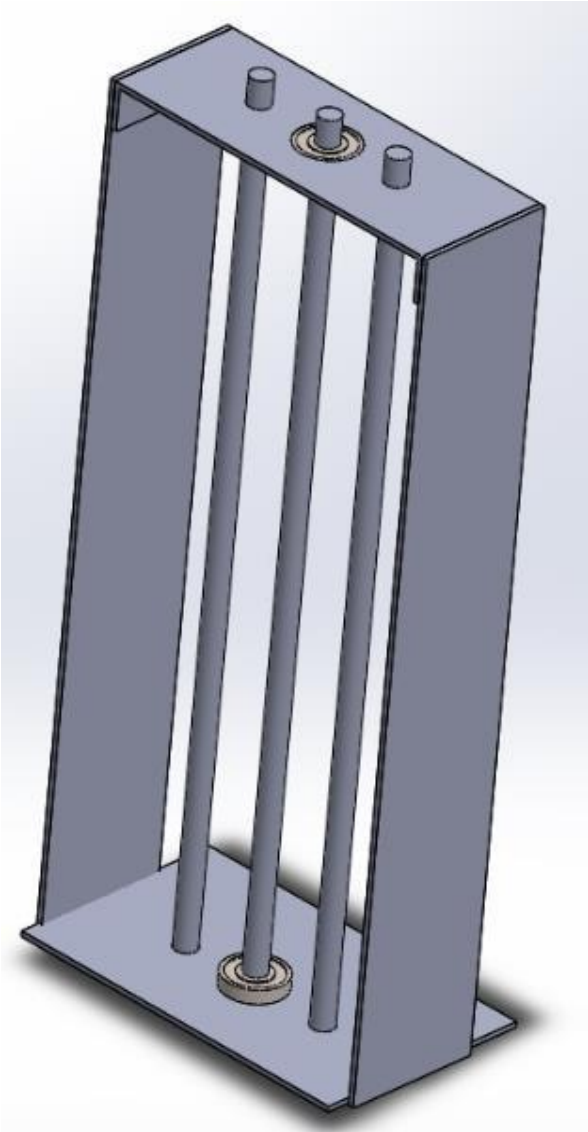


ANEXO F: Diseño solidworks, base para el dispositivo de velocidad

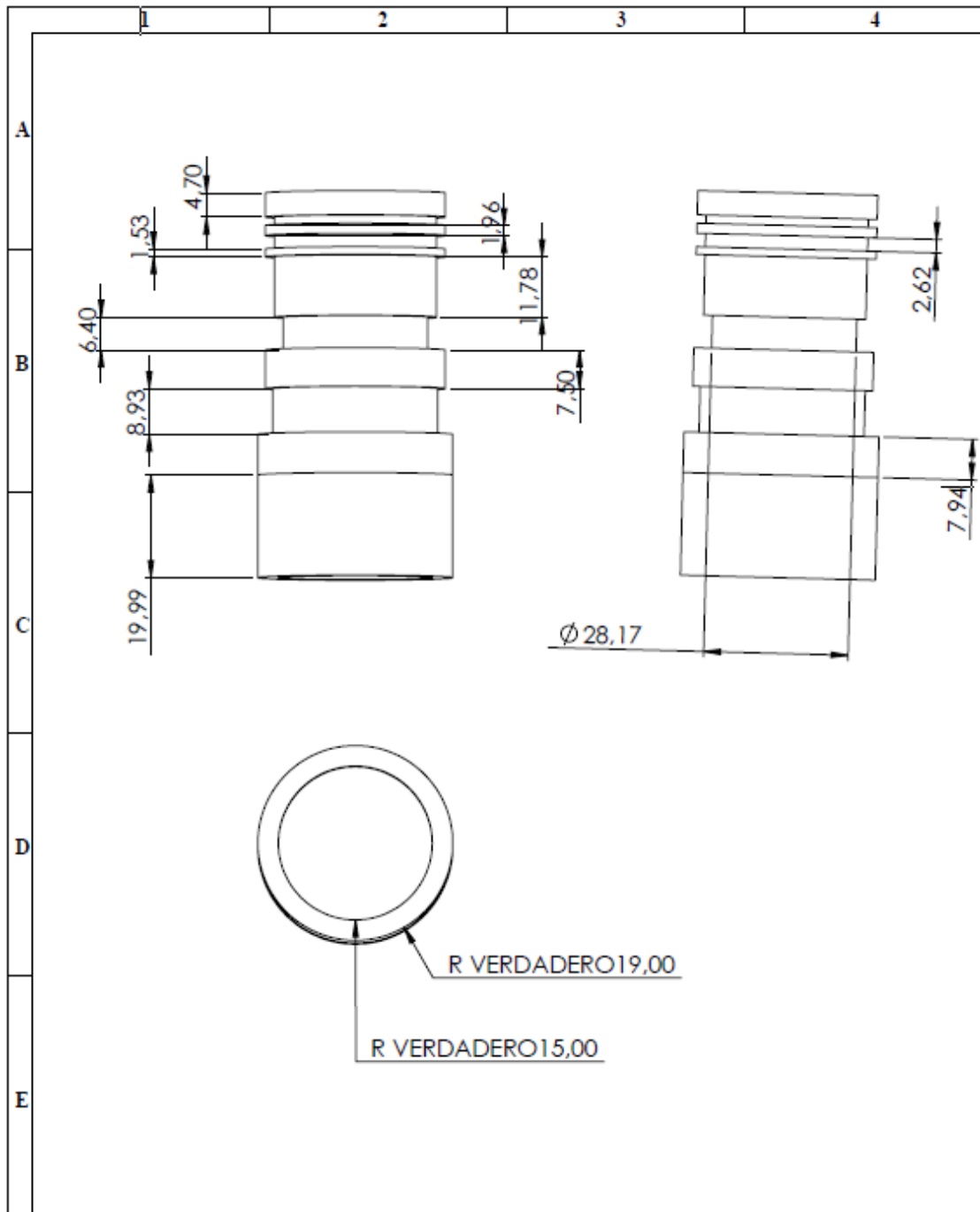
#



N°. Lámina: 2 de 6		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-0002-02-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: rosa.tene@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 09 9947 3030						Denominación:  <b>Hoja 2</b>						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0,5		±0.3 [mm]		1:5			
Proyectó		T.I.C TenaM-TenaR.				2021/12/10		Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Srta. Rosa Tena				2022/02/18									
Revisó		Ing. Felix Garcia				2022/02/25									
Aprobó		Ing. Felix Garcia				2015/06/10		Nombre de archivo: Base para dispositivo de velocidad							



ANEXO G: Diseño SolidWorks, caja sensor de vibración. vistas 3D



Nº. Lámina: 6 de 6		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-0006-02-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> ESCUELA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL											
Email: rosa.teno@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 09 9947 3030						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		<b>Hoja 6</b>				0,5		±0.3 [mm]		1:1			
Proyectó		T.I.C TenaM-TenaR				2021/12/10						Materiales:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.Y. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sra. Tena Rosa				2022/02/18		SEGUN DISEÑO											
Revisó		Ing. Felix Garcia				2022/02/25		Nombre de archivo:											
Aprobó		Ing. Felix Garcia				2022/02/25		Base para el sensor de vibración											



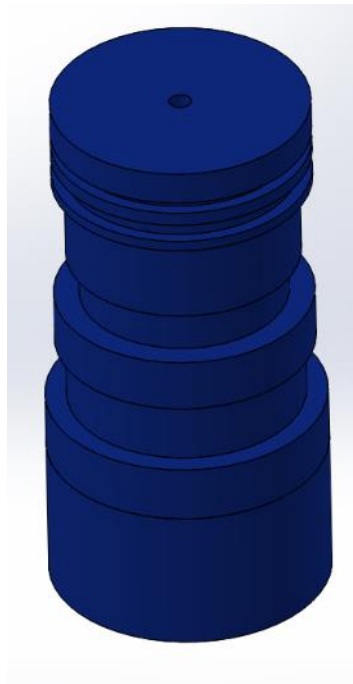
Base



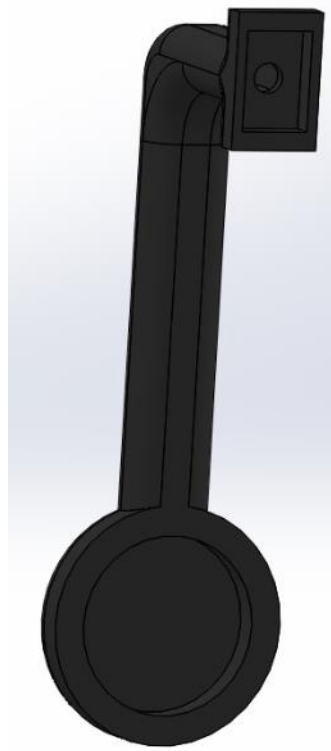
Tapa



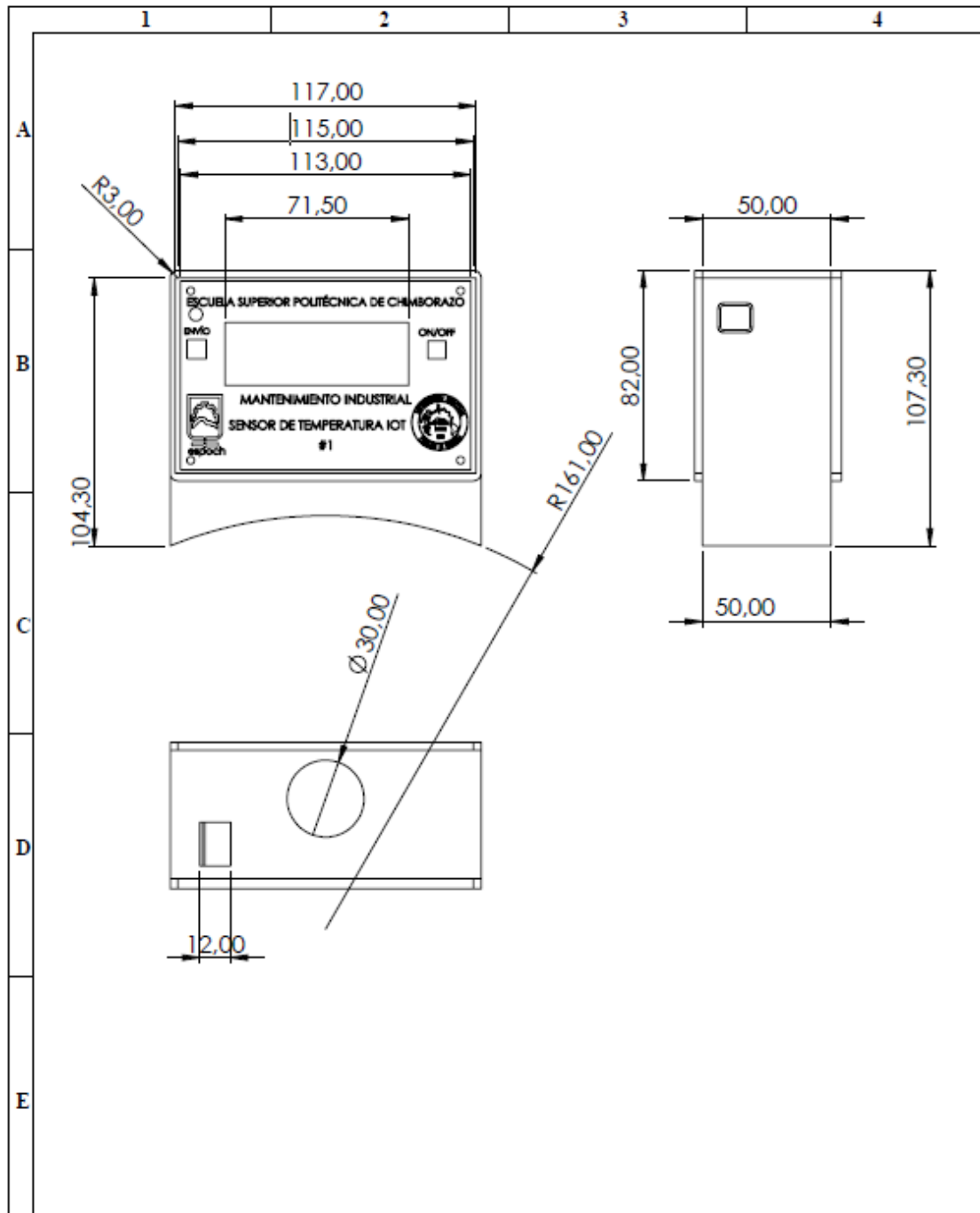
Ensamble



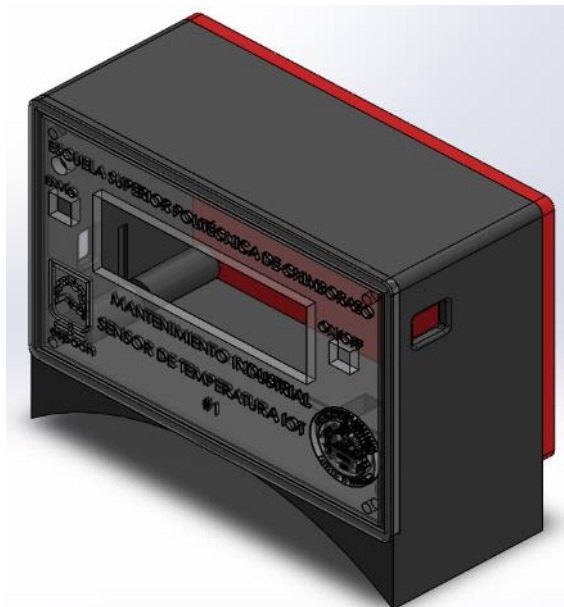
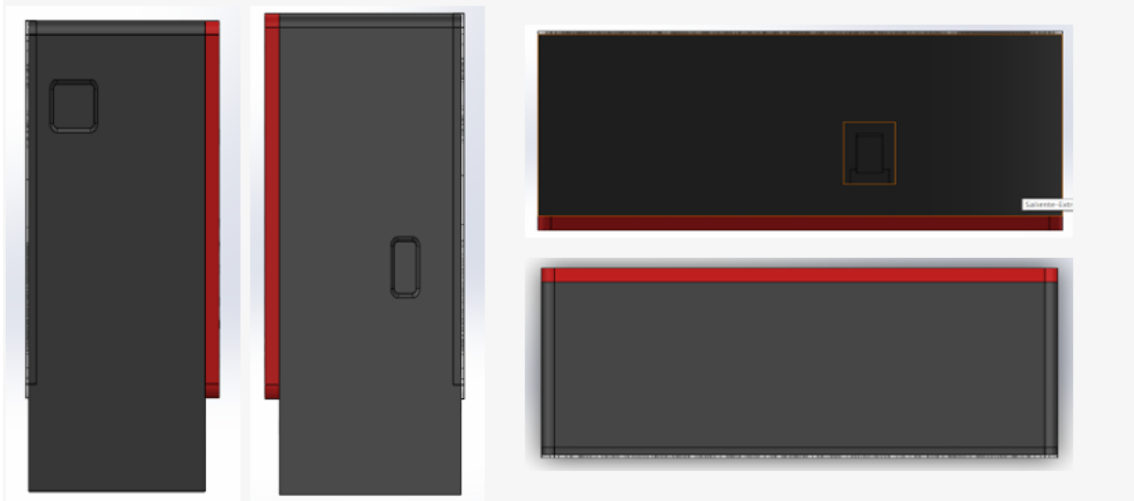
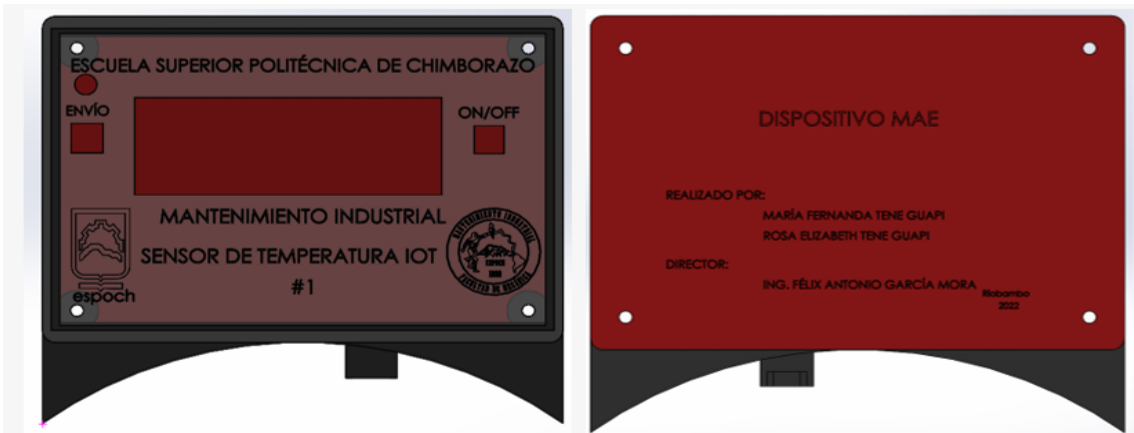
**ANEXO H:** Diseño solidworks, base para el sensor de temperatura 2



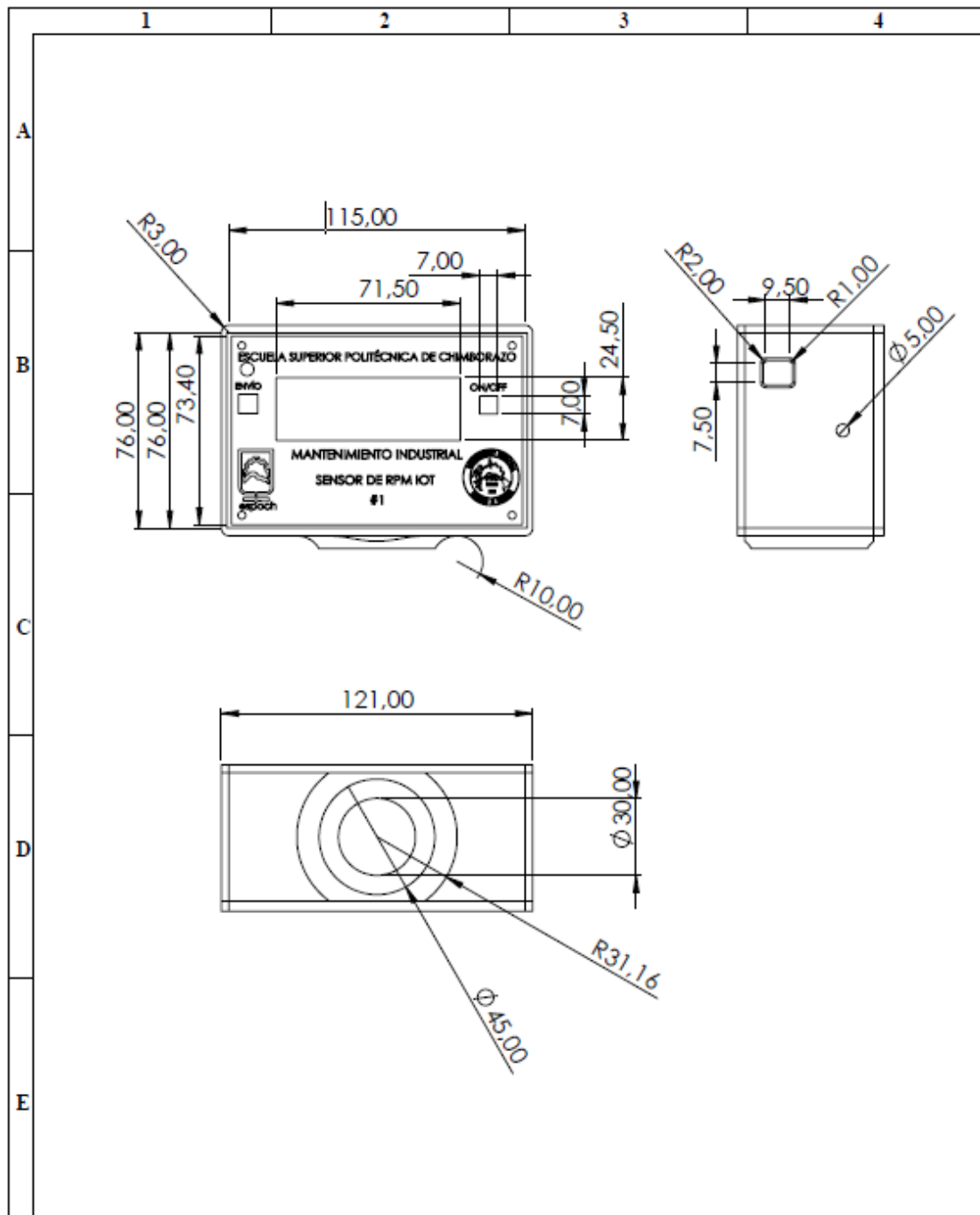
ANEXO I: Diseño SolidWorks, caja sensor de temperatura 1 vistas 3D



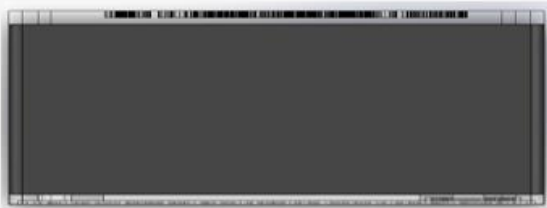
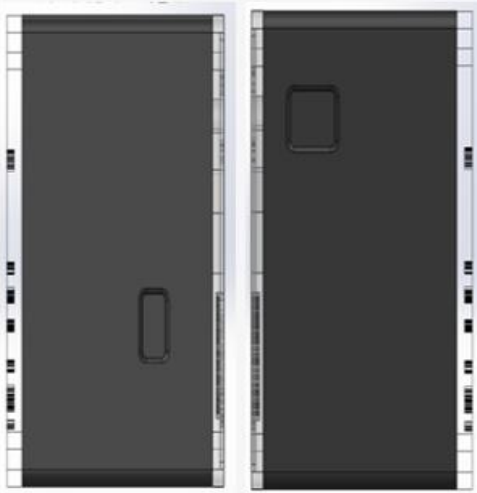
N°. Lámina: 5 de 6		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-0005-02-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: mariafermanda.tene@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 09 9908 4373						Denominación:  <b>Hoja 5</b>						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0,5		±0.3 [mm]		1:2			
Proyectó		T.I.C TenaM-TenaR				2021/12/10		Este documento es propiedad intelectual exclusiva de A.S. Y L.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Dibujó		Srta. Tene Maria				2022/02/18									
Revisó		Ing. Felix Garcia				2022/02/25									
Aprobó		Ing. Felix Garcia				2022/02/25		Materiales: SEGÚN DISEÑO							
Nombre de archivo: Caja dispositivo de temperatura 2															



ANEXO J: Diseño SolidWorks, temperatura 2 velocidad y vibración



Nº. Lámina: 6 de 6	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIMI-0006-02-2022	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: mariafernanda.tene@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 09 9908 4373			Denominación:  <b>Hoja 6</b>				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	0,5	±0.3 [mm]	1:2	
Proyectó	T.I.C TeneM-TeneR		2021/12/10	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. V.I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Tene Ms. Fernanda		2022/02/18				
Revisó	Ing. Felix Garcia		2015/06/05				
Aprobó	Ing. Felix Garcia		2015/06/10	Nombre de archivo: Caja dispositivo de vibración			



## ANEXO K: Código de programación del sensor de temperatura

```
#include <CayenneMQTTESP32.h> //Librería de Cayenne MQTT
#define CAYENNE_PRINT Serial
#include <Wire.h> // libreria pra el control de comunicacion I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // libreria de la pantalla I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // declaracion del tipo de pantalla
#include <Adafruit_MLX90614.h>

Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

char username[] = "5aaa8fb0-7a5c-11ec-8da3-474359af83d7";
char password[] = "deab4d08c06f0d44a7c37c407bc04a674e6fbd71";
char clientID[] = "2d2855f0-7a60-11ec-9f5b-45181495093e";

//=====icono de bateria=====
byte bat1[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111
};
byte bat2[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111,
  B11111
};
byte bat3[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111,
  B11111,
  B11111
};
byte bat4[8] = {
  B01110,
  B11011,
```

```
B10001,
B10001,
B11111,
B11111,
B11111,
B11111
};
byte bat5[8] = {
    B01110,
    B11011,
    B10001,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111
};
byte bat6[8] = {
    B01110,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111
};

byte checkB1[8] = {
    B11111,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B11111
};
byte checkB2[8] = {
    B11111,
    B10001,
    B10101,
    B10101,
    B10101,
    B10101,
    B10001,
    B11111
};
byte point[8] = {
    B00111,
    B00101,
```



```

B00111,
B00000,
B00000,
B00000,
B00000,
B00000
};
//=====variables globales=====
//
const char* WIFI_SSID = "MERCUSYS"; // SSID router sensor
const char* WIFI_PASS = "sensores2022@"; // Contraseña del router
/*
const char* WIFI_SSID = "New_Network"; // SSID router sensor
const char* WIFI_PASS = "armando@94"; // Contraseña del router
*/
// elementos del filtro EMA
float EMA_ALPHA = 0.6;
float EMA_LP = 0;
float EMA_ALPHA1 = 0.6;
float EMA_LP1= 0;
int valor=1;
const int led=2;
const int buzz=4;
const int boton=0;
const int analogico=34;
int periodo1 = 1000;
unsigned long Tiempo1= 0;
float temp;
boolean activador=false;
int periodo_envio = 30000;
unsigned long Tiempo_envio= 0;

int periodo_alerta = 300;
unsigned long Tiempo_alerta= 0;
int porcentaje_B=0;

void setup()
{
// declaraciones de pines como entradas y como salidas
pinMode(buzz,OUTPUT);
pinMode(led,OUTPUT);
pinMode(boton,INPUT_PULLUP);
Serial.begin(115200);
//=====
lcd.init();// inicio de la comunicacion con la pantalla I2C
lcd.backlight(); // enciende la pantalla
//===== creacion de los caracteres de Bateria=====
lcd.createChar(1, bat1);
lcd.createChar(2, bat2);
lcd.createChar(3, bat3);

```

```

lcd.createChar(4, bat4);
lcd.createChar(5, bat5);
lcd.createChar(6, bat6);
lcd.createChar(7, checkB1);
lcd.createChar(8, checkB2);
lcd.createChar(9, point);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Conectando...");
digitalWrite(led,1);
//=====inicio de la comunicacion wifi con el router principal=====
Cayenne.begin(username, password, clientID, WIFI_SSID, WIFI_PASS);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Esperando");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("WiFi");
// espera que enlace la comunicacion con el router encendiendo el led intermitentemente
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
  delay(500);
  digitalWrite(led,!digitalRead(led));
  lcd.print(".");
}
// enciende el buzzer para ratificar que la conexion es exitosa
for(int i=1;i<=3;i++)
{
  digitalWrite(buzz,!digitalRead(buzz));
  delay(200);
}
digitalWrite(led,0);
digitalWrite(buzz,0);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Conexion Exitosa");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("IP:"+String(WiFi.localIP().toString().c_str()));
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Sen. Temperatura");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Primer Nodo");
delay(2000);
lcd.clear();
if (!mlx.begin())
{
  Serial.println("Error sensor MLX no conectado");
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Error Sensor");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("No Conectado");
}

```

```

while (1)
{
  digitalWrite(buzz,!digitalRead(buzz));
  delay(300);
}
}
}

void loop()
{
  int por_volt=voltaje(analogRead(analogico));
  bateria(por_volt);
  temperatura();
  lectura_boton();
  if(activador)cayenne_envio();

}

void temperatura()
{
  temp=mlx.readObjectTempC();
  temp=EMALowPassFilter_temp(temp);
  temp=temp+2.362809917;

}

void cayenne_envio()
{
  if(millis() > Tiempo_envio + periodo_envio)
  {

    Cayenne.virtualWrite(1, porcentaje_B, "batt", "p");
    Cayenne.virtualWrite(2, temp, "Temp", "c");
    Cayenne.virtualWrite(3, temp, "Temp", "c");

    Tiempo_envio = millis();
  }

}

void lectura_boton()
{
  if(digitalRead(boton)==LOW)
  {
    digitalWrite(buzz,1);
    activador=!activador;
  }
}

```

```

    while(digitalRead(boton)==LOW);
    digitalWrite(buzz,0);
  }
}

int voltaje(int val)
{
  int valor=EMALowPassFilter(val);
  Serial.println(valor);
  int porcentaje=map(valor,1220,2400,0,100);
  if(porcentaje<=0)porcentaje=0;
  if(porcentaje>=100)porcentaje=100;
  porcentaje_B=porcentaje;
  return porcentaje;
}

int EMALowPassFilter(int value)
{
  EMA_LP = EMA_ALPHA * value + (1 - EMA_ALPHA) * EMA_LP;
  return EMA_LP;
}

float EMALowPassFilter_temp(float value)
{
  EMA_LP1 = EMA_ALPHA1* value + (1 - EMA_ALPHA1) * EMA_LP1;
  return EMA_LP1;
}

void bateria(int val )
{
  if(millis() > Tiempo1 + periodo1)
  {

    if(val> 0)valor=1;
    if(val>10)valor=2;
    if(val>25)valor=3;
    if(val>50)valor=4;
    if(val>75)valor=5;
    if(val>80)valor=6;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write(valor);
    lcd.setCursor(1, 0);
    lcd.print(String(valor)+"% T="+String(temp));
    lcd.write(9);
    lcd.print("C  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Envio Cayenne ");
    if(activador)
    {
      lcd.write(8);
    }
  }
}

```

```
}else
{
  lcd.write(7);
}
Tiempo1 = millis();
}

if(val<=1)
{
  if(millis() > Tiempo_alerta + periodo_alerta)
  {
    digitalWrite(buzz,!digitalRead(buzz));
    digitalWrite(led,!digitalRead(led));
    Tiempo_alerta = millis();
  }
}
else
{
  digitalWrite(buzz,0);
  digitalWrite(led,0);
}
}
```

## ANEXO L: Código de programación del sensor de velocidad

```
#include <CayenneMQTTESP32.h> //Librería de Cayenne MQTT
#define CAYENNE_PRINT Serial
#include <Wire.h> // libreria pra el control de comunicacion I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // libreria de la pantalla I2C
#include <ESP32Encoder.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // declaracion del tipo de pantalla

ESP32Encoder encoder;
char username[] = "5aaa8fb0-7a5c-11ec-8da3-474359af83d7";
char password[] = "deab4d08c06f0d44a7c37c407bc04a674e6fbd71";
char clientID[] = "fabe3680-7a68-11ec-9f5b-45181495093e";
//=====icono de bateria=====
byte bat1[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111
};
byte bat2[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111,
  B11111
};
byte bat3[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111,
  B11111,
  B11111
};
byte bat4[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
```

```

B11111,
B11111,
B11111,
B11111
};
byte bat5[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B11111,
  B11111,
  B11111,
  B11111,
  B11111
};
byte bat6[8] = {
  B01110,
  B11111,
  B11111,
  B11111,
  B11111,
  B11111,
  B11111,
  B11111
};

byte checkB1[8] = {
  B11111,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111
};
byte checkB2[8] = {
  B11111,
  B10001,
  B10101,
  B10101,
  B10101,
  B10101,
  B10001,
  B11111
};
//=====variables globales=====

const char* WIFI_SSID = "MERCUSYS"; // SSID router sensor
const char* WIFI_PASS = "sensores2022@"; // Contraseña del router
/*

```

```

const char* WIFI_SSID = "New_Network"; // SSID router sensor
const char* WIFI_PASS = "armando@94"; // Contraseña del router
*/
// elementos del filtro EMA
float EMA_ALPHA = 0.6;
float EMA_LP = 0;

int valor=1;
const int led=2;
const int buzz=4;
const int boton=0;
const int analogico=34;

int periodo1 = 1000;
unsigned long Tiempo1= 0;
float temp;
boolean activador=false;

int periodo_envio = 30000;
unsigned long Tiempo_envio= 0;

int periodo_alerta = 300;
unsigned long Tiempo_alerta= 0;

int periodo_rpm = 1000;
unsigned long Tiempo_rpm= 0;

int32_t rpm = 0;
int porcentaje_B=0;

void setup()
{
// declaraciones de pines como entradas y como salidas
pinMode(buzz,OUTPUT);
pinMode(led,OUTPUT);
pinMode(boton,INPUT_PULLUP);
Serial.begin(115200);
//=====
lcd.init();// inicio de la comunicacion con la pantalla I2C
lcd.backlight();// enciende la pantalla
//===== creacion de los caracteres de Bateria=====
lcd.createChar(1, bat1);
lcd.createChar(2, bat2);
lcd.createChar(3, bat3);
lcd.createChar(4, bat4);
lcd.createChar(5, bat5);
lcd.createChar(6, bat6);
lcd.createChar(7, checkB1);
lcd.createChar(8, checkB2);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Conectando...");

```



```

digitalWrite(led,1);
//=====inicio de la comunicacion wifi con el router principal=====
Cayenne.begin(username, password, clientID, WIFI_SSID, WIFI_PASS);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Esperando");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("WiFi");
// espera que enlace la comunicacion con el router encendiendo el led intermitentemente
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
  delay(500);
  digitalWrite(led,!digitalRead(led));
  lcd.print(".");
}
// enciende el buzzer para ratificar que la conexion es exitosa
for(int i=1;i<=3;i++)
{
  digitalWrite(buzz,!digitalRead(buzz));
  delay(200);
}
digitalWrite(led,0);
digitalWrite(buzz,0);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Conexion Exitosa");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("IP:"+String(WiFi.localIP().toString().c_str()));
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Sensor RPM");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Primer Nodo");
delay(2000);
lcd.clear();
ESP32Encoder::useInternalWeakPullResistors=UP;
encoder.attachHalfQuad(19, 18);
encoder.setCount(0);

}

void loop()
{
  int por_volt=voltaje(analogRead(analogico));
  bateria(por_volt);
  lectura_rpm();
  lectura_boton();
  if(activador)cayenne_envio();
}

```

```

}

void lectura_rpm()
{
  if(millis() > Tiempo_rpm + periodo_rpm)
  {
    rpm=(int32_t)encoder.getCount();
    rpm=abs(rpm)/1000*60;
    rpm= (-4E-5)*rpm*rpm + 0.7301*rpm - 173.9;
    if(rpm<0)
    {
      rpm=0;
    }
    encoder.setCount(0);
    Tiempo_rpm = millis();
  }
}

void cayenne_envio()
{
  if(millis() > Tiempo_envio + periodo_envio)
  {
    Cayenne.virtualWrite(1, porcentaje_B, "batt", "p");
    Cayenne.virtualWrite(2, rpm, "g", "rpm");
    Cayenne.virtualWrite(3, rpm, "g", "rpm");
    Tiempo_envio = millis();
  }
}

void lectura_boton()
{
  if(digitalRead(boton)==LOW)
  {
    digitalWrite(buzz,1);
    activador=!activador;
    while(digitalRead(boton)==LOW);
    digitalWrite(buzz,0);
  }
}

int voltaje(int val)
{
  int valor=EMALowPassFilter(val);
  Serial.println(valor);
  int porcentaje=map(valor,1220,2400,0,100);
  if(porcentaje<=0)porcentaje=0;
}

```

```

if(porcentaje>=100)porcentaje=100;
porcentaje_B=porcentaje;
return porcentaje;
}

int EMALowPassFilter(int value)
{
  EMA_LP = EMA_ALPHA * value + (1 - EMA_ALPHA) * EMA_LP;
  return EMA_LP;
}

void bateria(int val )
{

if(millis() > Tiempo1 + periodo1)
{

  if(val> 0)valor=1;
  if(val>10)valor=2;
  if(val>25)valor=3;
  if(val>50)valor=4;
  if(val>75)valor=5;
  if(val>80)valor=6;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.write(valor);
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print(String(val)+"% RPM="+String(rpm));
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Envio Cayenne ");
  if(activador)
  {
    lcd.write(8);
  }else
  {
    lcd.write(7);
  }
  Tiempo1 = millis();
}

if(val<=1)
{
  if(millis() > Tiempo_alerta + periodo_alerta)
  {
    digitalWrite(buzz,!digitalRead(buzz));
    digitalWrite(led,!digitalRead(led));
    Tiempo_alerta = millis();
  }
}

```

```
}  
else  
{  
  digitalWrite(buzz,0);  
  digitalWrite(led,0);  
}  
}
```

## ANEXO M: Código de programación del sensor de vibración

**Realizado por:** Tene M & Tene R,

```
#include<math.h>
#include <CayenneMQTTESP32.h> //Librería de Cayenne MQTT
#define CAYENNE_PRINT Serial
#include <Wire.h> // libreria pra el control de comunicacion I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h>// libreria de la pantalla I2C
#include <MPU9250_asukiaaa.h>
#ifdef _ESP32_HAL_I2C_H_
#define SDA_PIN 21
#define SCL_PIN 22
#endif

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // declaracion del tipo de pantalla
MPU9250_asukiaaa Sensor;
float aX, aY, aZ, aSqrt, gX, gY, gZ;
char username[] = "5aaa8fb0-7a5c-11ec-8da3-474359af83d7";
char password[] = "deab4d08c06f0d44a7c37c407bc04a674e6fbd71";
char clientID[] = "6cc76450-7ac7-11ec-8da3-474359af83d7";
//=====icono de bateria=====
byte bat1[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111
};
byte bat2[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111,
  B11111
};
byte bat3[8] = {
  B01110,
  B11011,
  B10001,
  B10001,
  B10001,
  B11111,
  B11111,
```

```
B11111
};
byte bat4[8] = {
    B01110,
    B11011,
    B10001,
    B10001,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111
};
byte bat5[8] = {
    B01110,
    B11011,
    B10001,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111
};
byte bat6[8] = {
    B01110,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111
};

byte checkB1[8] = {
    B11111,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B11111
};
byte checkB2[8] = {
    B11111,
    B10001,
    B10101,
    B10101,
    B10101,
    B10101,
    B10101,
    B10001,
```

```

B11111
};
//=====================================================variables globales=====

const char* WIFI_SSID = "MERCUSYS"; // SSID router sensor
const char* WIFI_PASS = "sensores2022@"; // Contraseña del router
/*
const char* WIFI_SSID = "New_Network"; // SSID router sensor
const char* WIFI_PASS = "armando@94"; // Contraseña del router
*/
// elementos del filtro EMA
float EMA_ALPHA = 0.6;
float EMA_LP = 0;
//=====================================================variables filtros =====
float EMA_ALPHA_T = 0.9;
float EMA_LP_ax = 0;
float EMA_LP_az = 0;
float EMA_LP_gy = 0;

int valor=1;
const int led=2;
const int buzz=4;
const int boton=0;
const int analogico=34;

int periodo1 = 1000;
unsigned long Tiempo1= 0;

boolean activador=false;

int periodo_envio = 30000;
unsigned long Tiempo_envio= 0;

int periodo_alerta = 300;
unsigned long Tiempo_alerta= 0;

int periodo_fft = 4;
unsigned long Tiempo_fft= 0;

float frecuencia=0;
float frecuencia1=0;
float frecuencia2=0;
float amplitud=0;
float amplitud1=0;
float amplitud2=0;
int porcentaje_B=0;
int N=0;
float f_peaks[5];
float amplitudes[5];
int dataT[256];
int dataT1[256];

```

```

int dataT2[256];
float data1=0;
float data2=0;
float data3=0;
int sel=1;
byte sine_data [91]=
{
0,
4, 9, 13, 18, 22, 27, 31, 35, 40, 44,
49, 53, 57, 62, 66, 70, 75, 79, 83, 87,
91, 96, 100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 127,
131, 135, 139, 143, 146, 150, 153, 157, 160, 164,
167, 171, 174, 177, 180, 183, 186, 189, 192, 195, //Paste this at top of program
198, 201, 204, 206, 209, 211, 214, 216, 219, 221,
223, 225, 227, 229, 231, 233, 235, 236, 238, 240,
241, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251,
252, 253, 253, 254, 254, 254, 255, 255, 255, 255
};

void setup()
{
// declaraciones de pines como entradas y como salidas
pinMode(buzz,OUTPUT);
pinMode(led,OUTPUT);
pinMode(boton,INPUT_PULLUP);
Serial.begin(115200);
//=====
lcd.init();// inicio de la comunicacion con la pantalla I2C
lcd.backlight();// enciende la pantalla
//===== creacion de los caracteres de Bateria=====
lcd.createChar(1, bat1);
lcd.createChar(2, bat2);
lcd.createChar(3, bat3);
lcd.createChar(4, bat4);
lcd.createChar(5, bat5);
lcd.createChar(6, bat6);
lcd.createChar(7, checkB1);
lcd.createChar(8, checkB2);
// ===== espera=====
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Conectando...");
digitalWrite(led,1);
//=====inicio de la comunicacion wifi con el router principal=====
Cayenne.begin(username, password, clientID, WIFI_SSID, WIFI_PASS);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Esperando");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("WiFi");

// espera que enlace la comunicacion con el router encendiendo el led intermitentemente
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)

```



```

{
  delay(500);
  digitalWrite(led,!digitalRead(led));
  lcd.print(".");
}
// enciende el buzzer para ratificar que la conexion es exitosa
for(int i=1;i<=3;i++)
{
  digitalWrite(buzz,!digitalRead(buzz));
  delay(200);
}
digitalWrite(led,0);
digitalWrite(buzz,0);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Conexion Exitosa");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("IP:"+String(WiFi.localIP().toString().c_str()));
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Sensor Vibraciones");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Primer Nodo");
delay(2000);
lcd.clear();
#ifdef _ESP32_HAL_I2C_H // For ESP32
Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);
Sensor.setWire(&Wire);
#endif
Sensor.beginAccel();
Sensor.beginGyro();
}

void loop()
{
  int por_volt=voltaje(analogRead(analogico));
  bateria(por_volt);
  lectura_boton();
  leer_mpu();
  if(activador)cayenne_envio();
}

void leer_mpu()
{
  if (Sensor.accelUpdate() == 0)

```

```

{
  aX = Sensor.accelX();
  aY = Sensor.accelY();
  aZ = Sensor.accelZ();
}
data1=EMALowPassFilter_ax(aX);
data2=EMALowPassFilter_az(aY);
data3=EMALowPassFilter_gy(aZ);

if(millis() > Tiempo_fft + periodo_fft)
{
  int aux=(data3*1000)+1438;
  int aux1=(data2*1000)+50;
  int aux2=(data1*1000)+30;

  if(1)
  {
    Serial.print(aux);
    Serial.print(",");
    Serial.print(aux1);
    Serial.print(",");
    Serial.println(aux2);
  }
  if(aux>-30 && aux<30)
  {
    aux=0;
  }
  if(aux1>-30 && aux1<30)
  {
    aux1=0;
  }
  if(aux2>-30 && aux2<30)
  {
    aux2=0;
  }
  dataT[N]=aux;
  dataT1[N]=aux1;
  dataT2[N]=aux2;
  N=N+1;
  Tiempo_fft = millis();
}
if(N==256)
{
  FFT(dataT,256,256);
  frecuencia=f_peaks[0];
  amplitud=amplitudes[0]/1000;
  frecuencia= (frecuencia);

  FFT(dataT1,256,256);
  frecuencia1=f_peaks[0];
  frecuencia1= (frecuencia1);
}

```

```

amplitud1=amplitudes[0]/1000;

FFT(dataT2,256,256);
frecuencia2=f_peaks[0];
frecuencia2= (frecuencia2);
amplitud2=amplitudes[0]/1000;
N=0;
}

}

void cayenne_envio()
{
if(millis() > Tiempo_envio + periodo_envio)
{
Cayenne.virtualWrite(1, porcentaje_B, "batt", "p");
Cayenne.virtualWrite(2, frecuencia, "freq", "hz");
Cayenne.virtualWrite(3, frecuencia1, "freq", "hz");
Cayenne.virtualWrite(4, frecuencia2, "freq", "hz");
String dat="["+String(data1)+","+String(data2)+","+String(data3)+"]";
char Buf[50];
dat.toCharArray(Buf, 50);
Cayenne.virtualWrite(5, Buf, "accel", "g");
delay(1000);
Cayenne.virtualWrite(6, amplitud, "null", "null");
Cayenne.virtualWrite(7, amplitud1, "null", "null");
Cayenne.virtualWrite(8, amplitud2, "null", "null");
Tiempo_envio = millis();
}
}

void lectura_boton()
{
if(digitalRead(boton)==LOW)
{
digitalWrite(buzz,1);
activador=!activador;
while(digitalRead(boton)==LOW);
digitalWrite(buzz,0);
}
}

int voltaje(int val)
{
int valor=EMALowPassFilter(val);
int porcentaje=map(valor,1220,2515,0,100);
if(porcentaje<=0)porcentaje=0;
}

```

```

if(porcentaje>=100)porcentaje=100;
porcentaje_B=porcentaje;
return porcentaje;
}

```

```

int EMALowPassFilter(int value)
{
    EMA_LP = EMA_ALPHA * value + (1 - EMA_ALPHA) * EMA_LP;
    return EMA_LP;
}

```

```

float EMALowPassFilter_ax(float value)
{
    EMA_LP_ax = EMA_ALPHA_T * value + (1 - EMA_ALPHA_T) * EMA_LP_ax;
    return EMA_LP_ax;
}

```

```

float EMALowPassFilter_az(float value)
{
    EMA_LP_az = EMA_ALPHA_T * value + (1 - EMA_ALPHA_T) * EMA_LP_az;
    return EMA_LP_az;
}

```

```

float EMALowPassFilter_gy(float value)
{
    EMA_LP_gy = EMA_ALPHA_T * value + (1 - EMA_ALPHA_T) * EMA_LP_gy;
    return EMA_LP_gy;
}

```

```

void bateria(int val )
{

if(millis() > Tiempo1 + periodo1)
{

    if(val> 0)valor=1;
    if(val>10)valor=2;
    if(val>25)valor=3;
    if(val>50)valor=4;
    if(val>75)valor=5;
    if(val>80)valor=6;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("      ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write(valor);
    lcd.setCursor(1, 0);
    if(sel==1){
    lcd.print(String(val)+"% FZ="+String(frecuencia));}
}
}

```

```

if(sel==2){
lcd.print(String(val)+"% FY="+String(frecuencia1));}
if(sel==3){
lcd.print(String(val)+"% FX="+String(frecuencia2));}
sel++;
lcd.print("Hz  ");
if(sel>3)
{
sel=1;
}
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Envio Cayenne ");
if(activador)
{
lcd.write(8);
}else
{
lcd.write(7);
}
Tiempo1 = millis();
}

if(val<=1)
{
if(millis() > Tiempo_alerta + periodo_alerta)
{
digitalWrite(buzz,!digitalRead(buzz));
digitalWrite(led,!digitalRead(led));
Tiempo_alerta = millis();
}
}
else
{
digitalWrite(buzz,0);
digitalWrite(led,0);
}
}

//-----FFT Function-----//

float FFT(int in[],int N,float Frequency)
{
unsigned int data[13]={1,2,4,8,16,32,64,128,256,512,1024,2048};
int a,c,l,f,o,x;
a=N;

for(int i=0;i<12;i++) //calculating the levels
{ if(data[i]<=a){o=i;} }

```

```

int in_ps[data[o]]={}; //input for sequencing
float out_r[data[o]]={}; //real part of transform
float out_im[data[o]]={}; //imaginary part of transform
x=0;
for(int b=0;b<o;b++) // bit reversal
{
c1=data[b];
f=data[o]/(c1+c1);
for(int j=0;j<c1;j++)
{
x=x+1;
in_ps[x]=in_ps[j]+f;
}
}
for(int i=0;i<data[o];i++) // update input array as per bit reverse order
{
if(in_ps[i]<a)
{out_r[i]=in[in_ps[i]];}
if(in_ps[i]>a)
{out_r[i]=in[in_ps[i]-a];}
}
int i10,i11,n1;
float e,c,s,tr,ti;
for(int i=0;i<o;i++) //fft
{
i10=data[i]; // overall values of sine/cosine :
i11=data[o]/data[i+1]; // loop with similar sine cosine:
e=360/data[i+1];
e=0-e;
n1=0;
for(int j=0;j<i10;j++)
{
c=cosine(e*j);
s=sine(e*j);
n1=j;
for(int k=0;k<i11;k++)
{
tr=c*out_r[i10+n1]-s*out_im[i10+n1];
ti=s*out_r[i10+n1]+c*out_im[i10+n1];
out_r[n1+i10]=out_r[n1]-tr;
out_r[n1]=out_r[n1]+tr;
out_im[n1+i10]=out_im[n1]-ti;
out_im[n1]=out_im[n1]+ti;
n1=n1+i10+i10;
}
}
}

/--> here onward out_r contains amplitude and our_in conntains frequency (Hz)
for(int i=0;i<data[o-1];i++) // getting amplitude from complex number
{

```

```

out_r[i]=sqrt(out_r[i]*out_r[i]+out_im[i]*out_im[i]); // to increase the speed delete sqrt
out_im[i]=i*Frequency/N;
/*
Serial.print(out_im[i]); Serial.print("Hz");
Serial.print("\t"); // un comment to print frequency bin
Serial.println(out_r[i]);
*/
}
x=0; // peak detection
for(int i=1;i<data[o-1]-1;i++)
{
if(out_r[i]>out_r[i-1] && out_r[i]>out_r[i+1])
{in_ps[x]=i; //in_ps array used for storage of peak number
x=x+1;}
}
s=0;
c=0;
for(int i=0;i<x;i++) // re arrange as per magnitude
{
for(int j=c;j<x;j++)
{
if(out_r[in_ps[i]]<out_r[in_ps[j]])
{s=in_ps[i];
in_ps[i]=in_ps[j];
in_ps[j]=s;}
}
c=c+1;
}

for(int i=0;i<5;i++) // updating f_peak array (global variable)with descending order
{
f_peaks[i]=out_im[in_ps[i]];
amplitudes[i]=out_r[in_ps[i]];
}
}

```

```

float sine(int i)
{
int j=i;
float out;
while(j<0){j=j+360;}
while(j>360){j=j-360;}
if(j>-1 && j<91){out= sine_data[j];}
else if(j>90 && j<181){out= sine_data[180-j];}
else if(j>180 && j<271){out= -sine_data[j-180];}
else if(j>270 && j<361){out= -sine_data[360-j];}
return (out/255);
}

```

```

float cosine(int i)

```

```
{
  int j=i;
  float out;
  while(j<0){j=j+360;}
  while(j>360){j=j-360;}
  if(j>-1 && j<91){out= sine_data[90-j];}
  else if(j>90 && j<181){out= -sine_data[j-90];}
  else if(j>180 && j<271){out= -sine_data[270-j];}
  else if(j>270 && j<361){out= sine_data[j-270];}
  return (out/255);
}
```