



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MONITOREO
EN TIEMPO REAL DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR DE
COMBUSTIÓN, EN EL RODILLO COMPACTADOR MODELO
CS533E PERTENECIENTE AL GOBIERNO AUTÓNOMO
DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE NAPO”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

JUAN JEFERSON MOSQUERA GUERRERO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MONITOREO
EN TIEMPO REAL DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR DE
COMBUSTIÓN, EN EL RODILLO COMPACTADOR MODELO
CS533E PERTENECIENTE AL GOBIERNO AUTÓNOMO
DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE NAPO”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: JUAN JEFERSON MOSQUERA GUERRERO

DIRECTOR: Ing. EDISSON FERNANDO CALDERON FREIRE MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

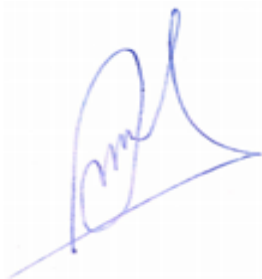
© 2022, **Juan Jeferson Mosquera Guerrero**

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 del Autor.

Yo, Juan Jeferson Mosquera Guerrero, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo 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, 04 de febrero del 2022



Juan Jeferson Mosquera Guerrero

CC. 150072045-1

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, “**IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN, EN EL RODILLO COMPACTADOR MODELO CS533E PERTENECIENTE AL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE NAPO**”, realizado por el señor **JUAN JEFERSON MOSQUERA GUERRERO**, 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.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñán. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-02-04
Ing. Edison Fernando Calderón Freire. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022-02-04
Ing. Julio Eduardo Cajamarca Villa. MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022-02-04

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado con mucho cariño a mis queridos padres Wladimir Mosquera y María Isabel Guerrero, quienes con mucho sacrificio, trabajo, paciencia y cariño me han brindado el apoyo incondicional para lograr culminar una etapa especial en mi vida y verme realizado como ingeniero, mi eterna gratitud a ellos por haber confiado enteramente en mí. A mí querido hermano Jandry por estar siempre presente durante todo el proceso de mi formación profesional y haberme brindado su apoyo moral de forma incondicional.

Juan

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Mecánica por haberme acogido en su gloriosa carrera de Ingeniería de Mantenimiento Industrial y a toda su planta docente que se esmera arduamente por hacer llegar sus conocimientos y experiencias laborales a cada uno de nosotros, agradezco también a mi tutor Ing. Edison Calderón, asesor Ing. Julio Cajamarca y docente de integración curricular Ing. Sergio Villacrés; por guiarme a lo largo del desarrollo de mi proyecto de integración curricular.

Juan

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
RESUMEN	xxii
SUMMARY	xxiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Origen del problema	2
1.3 Planteamiento del problema	2
1.3.1 <i>Delimitación del problema</i>	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Alcance	4
1.6 Objetivos	4
1.6.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1 Diagnóstico técnico para motores de combustión diésel.....	5
2.1.1 <i>Técnica de medición de compresión en los cilindros</i>	5
2.1.1.1 <i>¿Qué es el compresímetro?</i>	6
2.1.1.2 <i>Procedimiento para la medición de compresión en los cilindros del motor de combustión</i>	6
2.1.1.3 <i>Formato para recolección de datos de compresión del motor de combustión</i>	7
2.2 Rodillo compactador CS533E	8
2.2.1 <i>Motor de combustión interna del rodillo compactador CS533E</i>	8
2.2.2 <i>Condiciones operativas de trabajo del motor de combustión interna</i>	9
2.2.3 <i>Temperatura óptima para el desempeño del motor de combustión interna</i>	10

2.3	Mantenimiento Industrial	10
2.3.1	<i>Mantenimiento basado en la condición</i>	10
2.3.2	<i>Objetivo del mantenimiento basado en la condición</i>	11
2.3.3	<i>Selección de la máquina a monitorear según el mantenimiento basado en la condición</i>	11
2.3.4	<i>Ventajas y desventajas de aplicar un mantenimiento basado en la condición</i>	11
2.3.5	<i>Aspectos económicos del monitoreo con el mantenimiento basado en la condición</i>	12
2.3.5.1	<i>Ahorros por paro de producción</i>	12
2.3.5.2	<i>Ahorros en costos de mantenimiento</i>	13
2.3.5.3	<i>Costo del monitoreo de la condición</i>	13
2.4	Sistemas de Monitoreo	13
2.4.1	<i>Definición de sistema de monitoreo</i>	13
2.4.2	<i>Tipos de sistemas de monitoreo</i>	14
2.4.2.1	<i>Sistemas de monitoreo local</i>	14
2.4.2.2	<i>Sistemas de monitoreo remoto</i>	14
2.4.3	<i>Requisitos de un sistema de monitoreo</i>	15
2.5	Dispositivo de Monitoreo de Variables en Tiempo Real	15
2.5.1	<i>Definición de dispositivo de monitoreo de variables en tiempo real</i>	15
2.5.2	<i>Componentes de un sistema de monitoreo de variables en tiempo real</i>	16
2.5.3	<i>Tarjetas Controladoras y Adquisición de Datos</i>	16
2.5.3.1	<i>Tarjetas plug-in</i>	16
2.5.4	<i>Sistemas de comunicación</i>	17
2.5.5	<i>Fuentes de energía</i>	18
2.5.5.1	<i>Baterías</i>	18
2.5.5.2	<i>Paneles Solares</i>	19
2.5.6	<i>Variables a medir en un dispositivo de monitoreo en tiempo real</i>	19
2.5.6.1	<i>Temperatura</i>	20
2.5.6.2	<i>Velocidad</i>	20
2.6	Sensores	20
2.6.1	<i>Sensores de Temperatura</i>	21
2.6.2	<i>Sensores de temperatura que cambian alguna propiedad física</i>	21
2.6.2.1	<i>Resistance Temperature Detector (RTD)</i>	21
2.6.2.2	<i>Termistores</i>	22
2.6.3	Sensores que trabajan directamente mediante una señal emitida	23
2.6.3.1	<i>Sensor de temperatura infrarroja</i>	23
2.6.3.2	<i>Sensores de Velocidad de Rotación</i>	24
2.7	Transmisión de datos	25

2.7.1	<i>WIFI</i>	26
2.7.2	<i>GPRS</i>	26
2.8	Almacenamiento de datos	27
2.8.1	<i>Plataformas IOT</i>	27
2.9	Lenguajes de programación	28
2.9.1	<i>Entorno IDE</i>	28
2.9.2	<i>Programación por bloques</i>	29

CAPITULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1	Situación actual del rodillo compactador marca CATERPILLAR, modelo CS533E	31
3.1.1	<i>Descripción del área de operación</i>	31
3.1.1.1	<i>Descripción de la condición mecánica del rodillo compactador</i>	32
3.1.1.2	<i>Descripción del panel de instrumentación del rodillo compactador</i>	32
3.2	Resultados obtenidos por el equipo de medición de compresión de los cilindros	33
3.3	Diseño del sistema de monitoreo en tiempo real	34
3.3.1	<i>Parámetros de diseño del sistema</i>	34
3.3.1.1	<i>Tolerancia a fallos</i>	35
3.3.1.2	<i>Medios de transmisión</i>	35
3.3.1.3	<i>Escalabilidad</i>	35
3.3.1.4	<i>Capacidad de procesamiento del hardware</i>	36
3.3.1.5	<i>Consumo de energía</i>	36
3.3.2	<i>Características a considerar en el diseño del sistema</i>	36
3.3.2.1	<i>Ambiente de trabajo</i>	36
3.3.2.2	<i>Enlace inalámbrico</i>	36
3.3.2.3	<i>Número de muestras para el análisis de datos</i>	37
3.3.2.4	<i>Fuente de energía</i>	38
3.3.3	<i>Requerimientos de desempeño del sistema</i>	39
3.4	Diseño del dispositivo de monitoreo para el motor de combustión	39
3.4.1	<i>Diagrama de procesos del dispositivo de monitoreo</i>	39
3.4.1.1	<i>Análisis de equipos e instrumentación para el sistema de monitoreo</i>	40
3.4.1.2	<i>Selección de equipos hardware y software del dispositivo</i>	40
3.4.1.3	<i>Esquema de conexión del dispositivo</i>	40
3.4.1.4	<i>Programación del sistema y diseño página IOT</i>	41
3.4.1.5	<i>Construcción del dispositivo</i>	41

3.4.1.6	<i>Implementación y pruebas de funcionamiento</i>	41
3.4.2	<i>Diagrama de bloques del dispositivo de monitoreo</i>	41
3.4.3	<i>Diagrama de flujo del dispositivo de monitoreo.</i>	42
3.4.4	<i>Alcance del dispositivo de monitoreo</i>	43
3.5	Análisis de equipos a utilizar en el diseño del dispositivo	43
3.5.1	<i>Sensores para la medición de factores operacionales</i>	43
3.5.1.1	<i>Sensores de temperatura</i>	43
3.5.1.2	<i>Sensores de revoluciones</i>	45
3.5.2	<i>Tarjetas de adquisición y procesamiento de datos</i>	46
3.5.3	<i>Equipos de transmisión</i>	48
3.5.3.1	<i>Conexión a la red móvil</i>	49
3.5.4	<i>Dispositivos de visualización</i>	52
3.5.5	<i>Fuente de energía</i>	53
3.6	Selección de equipos a utilizar en el diseño del dispositivo	54
3.6.1	<i>Requerimientos del usuario</i>	55
3.6.2	<i>Criterios del diseñador</i>	55
3.6.2.1	<i>Especificaciones técnicas que cumple el dispositivo de monitoreo</i>	56
3.6.3	<i>Análisis funcional del sistema de monitoreo</i>	56
3.6.3.1	<i>Dispositivo de monitoreo en el rodillo compactador CS533E</i>	57
3.6.3.2	<i>Sistema de monitoreo IOT</i>	57
3.6.4	<i>Selección de Hardware y Software</i>	58
3.6.4.1	<i>Selección de Hardware</i>	58
3.6.4.2	<i>Selección de Software</i>	59
3.7	Conexión de los equipos del sistema	62
3.7.1	<i>Esquema de conexión del dispositivo de monitoreo</i>	62
3.8	Configuración de los equipos del dispositivo de monitoreo	64
3.8.1	<i>Instalación del software para la configuración del dispositivo</i>	64
3.8.2	<i>Configuración de las tarjetas controladoras</i>	65
3.9	Desarrollo del código de programación de tarjetas controladoras	66
3.9.1	<i>Código Tarjeta controlador 1</i>	67
3.9.1.1	<i>Lectura de los sensores</i>	68
3.9.1.2	<i>Visualización datos sensores en pantalla HMI</i>	68
3.9.1.3	<i>Envío de datos a controlador 2</i>	69
3.9.2	<i>Código Tarjeta controlador 2</i>	69
3.9.2.1	<i>Recepción de datos del controlador 1</i>	70
3.9.2.2	<i>Almacenamiento de datos en tarjeta MicroSD</i>	71
3.9.2.3	<i>Transmisión de datos a la plataforma IOT</i>	71

3.10	Desarrollo Interfaz HMI pantalla Nextion	72
3.10.1	<i>Creación de pantallas.....</i>	73
3.10.2	<i>Implementación de la interfaz en la pantalla HMI Nextion</i>	74
3.11	Configuración de la plataforma IOT	75
3.11.1	<i>Creación del canal</i>	76
3.11.2	<i>Configuración parámetros de los campos</i>	76
3.11.3	<i>Códigos APIKEYS</i>	77
3.11.4	<i>Visualización pública del canal</i>	77
3.12	Construcción del dispositivo	79
3.12.1	<i>Diseño esquemático de la placa electrónica</i>	79
3.12.2	<i>Diseño PCB de la placa electrónica</i>	79
3.12.3	<i>Implementación de la placa electrónica</i>	80
3.12.3.1	<i>Impresión del diseño y limpieza de placa electrónica.....</i>	80
3.12.3.2	<i>Proceso de transferencia del diseño del circuito electrónico.....</i>	81
3.12.3.3	<i>Adecuación del sistema impreso transferido.....</i>	81
3.12.3.4	<i>Curado del diseño en placa</i>	82
3.12.3.5	<i>Adecuación de componentes en placa electrónica.</i>	82
3.12.3.6	<i>Montaje de componentes electrónicos</i>	83
3.12.4	<i>Construcción de la caja contenedora del dispositivo</i>	83
3.12.5	<i>Implementación de la placa electrónica en la caja contenedora</i>	84
3.13	Instalación del dispositivo de monitoreo en la maquina compactadora.....	85
3.13.1	<i>Ubicación de los sensores</i>	85
3.13.1.1	<i>Sensor de Temperatura</i>	85
3.13.1.2	<i>Sensor de Revoluciones.....</i>	86
3.13.2	<i>Ubicación de la caja contenedora del dispositivo de monitoreo.</i>	86
3.14	Pruebas de funcionamiento.....	88
3.15	Cálculo de la eficiencia de almacenamiento de datos del dispositivo	90

CAPÍTULO IV

4	MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	92
4.1	Resultados obtenidos al ejecutar el diagnostico técnico a los cilindros del motor de combustión CAT 3054C.....	92
4.2	Resultados obtenidos del sistema de instrumentación	93
4.2.1	<i>Resultados del diseño</i>	93
4.2.2	<i>Resultados de la construcción</i>	94
4.2.3	<i>Resultados de costos</i>	95

4.3	Resultados obtenidos del monitoreo de variables durante una jornada laboral ..	95
4.3.1	<i>Socialización del dispositivo al personal de mantenimiento</i>	96
4.3.2	<i>Condiciones climáticas de la zona geográfica donde se ejecutaron las pruebas.....</i>	97
4.3.3	<i>Parámetros de error en el almacenamiento de datos</i>	97
4.3.3.1	<i>Almacenamiento en la tarjeta MicroSD</i>	98
4.3.3.2	<i>Plataforma Thingspeak.</i>	98
4.4	Resultados obtenidos del análisis estadístico de las variables monitoreadas.....	99
4.4.1	<i>Análisis de las condiciones operativas del motor.....</i>	99
4.4.1.1	<i>Temperatura del motor durante el periodo de pruebas</i>	99
4.4.1.2	<i>Revoluciones por minuto del motor durante el periodo de pruebas</i>	100
4.4.1.3	<i>Temperatura del motor en función del tiempo durante un día de trabajo</i>	101
4.4.1.4	<i>Revoluciones del motor en función del tiempo durante un día de trabajo</i>	102
4.4.1.5	<i>Temperatura en función de las revoluciones del motor</i>	102
	CONCLUSIONES.....	104
	RECOMENDACIONES	106
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Formato para recolección de medidas de compresión en los cilindros.	7
Tabla 2-2: Datos técnicos generales del motor de combustión.....	9
Tabla 3-2: Condiciones operativas del motor de combustión CAT 3045C.	10
Tabla 4-2: Ventajas y desventajas al aplicar un (MBC) a un equipo.	12
Tabla 5-2: Tarjetas de control y adquisición de datos pulg-in.....	17
Tabla 6-2: Variables físicas medibles por un dispositivo de monitoreo.	19
Tabla 1-3: Presión de compresión motor CAT 3054C.	33
Tabla 2-3: Datos de medidas de compresión en los cilindros.....	34
Tabla 3-3: Características de sensores de temperatura.	44
Tabla 4-3: Características de sensores de revoluciones.....	45
Tabla 5-3: Especificaciones tarjetas de adquisición y procesamiento de datos.	47
Tabla 6-3: Especificaciones equipos de transmisión a la Red.	48
Tabla 7-3: Bandas de frecuencia de las operadoras móviles en Ecuador.	49
Tabla 8-3: Especificaciones equipos de transmisión a la Red.	52
Tabla 9-3: Características de las baterías según sus componentes.	53
Tabla 10-3: Especificaciones técnicas a cumplir por el dispositivo de monitoreo.	56
Tabla 11-3: Equipos hardware del sistema.	58
Tabla 12-3: Software empleado en el desarrollo del dispositivo.....	59
Tabla 13-3: Pines de conexión de equipos con el controlador 1.	63
Tabla 14-3: Pines de conexión de equipos con el controlador 1.	63
Tabla 15-3: Software para la configuración del dispositivo.	64
Tabla 16-3: Instrucciones del código de tarjeta controlador 1.....	67
Tabla 17-3: Instrucciones del código de tarjeta controlador 2.....	70
Tabla 18-3: Datos registrados por el dispositivo el día 2021/08/5.	89
Tabla 1-4: Medidas de compresión en los cilindros al realizar la sustitución de empaques.	93
Tabla 2-4: Características resultantes del sistema de instrumentación.	94
Tabla 3-4: Costos del dispositivo implementado.	95
Tabla 4-4: Error porcentual almacenamiento datos en MicroSD.	98
Tabla 5-4: Error porcentual almacenamiento plataforma.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Diagnostico técnico en maquinaria pesada.	5
Figura 2-2: Comprobación de la compresión en un M.C.I.	6
Figura 3-2: El compresímetro y sus accesorios.	6
Figura 4-2: Compactadora Vibratoria CS533E.....	8
Figura 5-2: Motor de combustión CAT 3054-C.	9
Figura 6-2: Control y monitoreo de equipos.	14
Figura 7-2: Etapas de un proceso de monitoreo local.	14
Figura 8-2: Etapas de un proceso de monitoreo remoto.....	15
Figura 9-2: Esquema de funcionamiento de un dispositivo de monitoreo.	16
Figura 10-2: Diagrama de bloques de un sistema de comunicación electrónica.	18
Figura 11-2: Baterías con celdas primarias y secundarias.	18
Figura 12-2: Panel solar flexible.	19
Figura 13-2: Sensor.	20
Figura 14-2: Diferentes sensores de temperatura.....	21
Figura 15-2: Sensor RTD PT100.	22
Figura 16-2: Termistor PTC y NTC.....	23
Figura 17-2: Sensor de temperatura infrarrojo.....	23
Figura 18-2: Sensor de reluctancia magnética.	24
Figura 19-2: Sensor de efecto Hall.....	25
Figura 20-2: Sensor magneto-resistivo.....	25
Figura 21-2: Transmisión de datos.....	26
Figura 22-2: Tecnología WIFI.....	26
Figura 23-2: Comunicación GPRS.....	27
Figura 24-2: Plataformas IOT.....	27
Figura 25-2: Entorno IDE Arduino.	29
Figura 26-2: Entorno programación Labview.....	30
Figura 1-3: Espacio de implementación para el dispositivo de monitoreo.....	31
Figura 2-3: Motor de combustión del rodillo compactador.	32
Figura 3-3: Panel de instrumentación del rodillo compactador.....	33
Figura 4-3: Termistor automotriz y termopar.	44
Figura 5-3: Sensor MLX90614.	45
Figura 6-3: Sensor inductivo efecto Hall.....	46
Figura 7-3: Sensor Encoder.	46
Figura 8-3: Tarjetas de adquisición de datos.....	47
Figura 9-3: Equipos para transmisión de la información.	48

Figura 10-3: Cobertura red 2G red móvil Claro en la provincia Napo.	50
Figura 11-3: Cobertura red 2G red móvil Movistar en la provincia Napo.	50
Figura 12-3: Cobertura red 2G red móvil Tuenti en la provincia Napo.	51
Figura 13-3: Cobertura red 2G red móvil CNT en la provincia Napo.	51
Figura 14-3: Dispositivos para visualización de la información.	52
Figura 15-3: Batería Li-Po.	54
Figura 16-3: Batería de 12 V con inversor.	54
Figura 17-3: Esquematación del sistema.	57
Figura 18-3: Selección de equipos de acuerdo a las etapas de trabajo.	58
Figura 19-3: Página de descarga software Fritzing.	59
Figura 20-3: Página de descarga software Autodesk Eagle.	60
Figura 21-3: Página de descarga software Arduino IDE.	60
Figura 22-3: Página de descarga software Nextion Editor.	61
Figura 23-3: Página web plataforma IOT Thingspeak.	61
Figura 24-3: Esquema de conexión del dispositivo de monitoreo.	62
Figura 25-3: Archivos de instalación de Arduino IDE.	64
Figura 26-3: Librerías instaladas dentro de Arduino IDE.	65
Figura 27-3: Interfaz de Arduino IDE.	65
Figura 28-3: Configuración de las tarjetas dentro de Arduino IDE.	66
Figura 29-3: Subrutina lectura sensores tarjeta controlador 1.	68
Figura 30-3: Subrutina visualización datos en pantalla tarjeta controlador 1.	68
Figura 31-3: Subrutina envío datos a tarjeta controlador 2.	69
Figura 32-3: Subrutina recepción datos tarjeta controlador 2.	70
Figura 33-3: Subrutina recepción datos tarjeta controlador 2.	71
Figura 34-3: Subrutina inicio módulo SIM800L tarjeta controlador 2.	71
Figura 35-3: Subrutina transmisión datos plataforma IOT tarjeta controlador 2.	72
Figura 36-3: Creación de un nuevo proyecto en Nextion Editor.	72
Figura 37-3: Configuración de las propiedades de la pantalla.	73
Figura 38-3: Pantalla de presentación de la Interfaz HMI.	73
Figura 39-3: Pantalla principal de la Interfaz HMI.	74
Figura 40-3: Compilación y generación del archivo TFT de la pantalla Nextion.	74
Figura 41-3: Implementación de la interfaz en la pantalla Nextion.	75
Figura 42-3: Creación de la cuenta en la plataforma IOT Thingspeak.	75
Figura 43-3: Creación del canal en la plataforma IOT Thingspeak.	76
Figura 44-3: Configuración de los campos del canal.	76
Figura 45-3: Códigos API Keys del canal.	77
Figura 46-3: Presentación del canal creado.	78

Figura 47-3: Interfaz del canal creado.	78
Figura 48-3: Diagrama esquemático de la placa electrónica.	79
Figura 49-3: Diagrama esquemático de la placa electrónica.	80
Figura 50-3: Diseño PCB impreso y placa para transferencia.	80
Figura 51-3: Transferencia del diseño a la placa.	81
Figura 52-3: Diseño PCB transferido en la placa.	81
Figura 53-3: Diseño PCB transferido en la placa.	82
Figura 54-3: Adecuación de los componentes en la placa electrónica.	82
Figura 55-3: Placa electrónica implementada del dispositivo de monitoreo.	83
Figura 56-3: Caja contenedora construida en acero inoxidable de 1 mm de espesor.	84
Figura 57-3: Implementación del dispositivo en la caja contenedora.	84
Figura 58-3: Ubicación del sensor de temperatura en el motor.	85
Figura 59-3: Ubicación del sensor de revoluciones en el motor.	86
Figura 60-3: Adecuación y delimitación del recorrido del cableado de sensores.	87
Figura 61-3: Ubicación de la caja contenedora en el habitáculo de la maquinaria.	87
Figura 62-3: Generación del archivo en la tarjeta MicroSD.	88
Figura 63-3: Generación del archivo en la tarjeta MicroSD.	88
Figura 64-3: Pruebas de registro de datos en la plataforma IOT.	90
Figura 1-4: Sustitución del empaque de la culata del motor de combustión.	92
Figura 2-4: Sistema de instrumentación del dispositivo de monitoreo.	94
Figura 3-4: Socialización del dispositivo al personal de mantenimiento.	96
Figura 4-4: Prueba de funcionamiento en la comunidad Santo Domingo.	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Parámetros de diseño del sistema de monitoreo.....	35
Gráfico 2-3: Diagrama de procesos del dispositivo de monitoreo.	40
Gráfico 3-3: Diagrama de bloques hardware del dispositivo de monitoreo.	42
Gráfico 4-3: Diagrama de flujo del dispositivo de monitoreo.	42
Gráfico 5-3: Secuencia de configuración de las tarjetas controladoras.	66
Gráfico 6-3: Diagrama de flujo código tarjeta controlador 1.....	67
Gráfico 7-3: Diagrama de flujo código tarjeta controlador 2.....	69
Gráfico 1-4: Frecuencia de valores de Temperatura del motor de combustión.	100
Gráfico 2-4: Frecuencia de valores de Revoluciones del motor de combustión.	101
Gráfico 3-4: Comportamiento de la temperatura del motor en un día de operación.	101
Gráfico 4-4: Comportamiento de las revoluciones del motor en un día de operación.	102
Gráfico 5-4: Temperatura en función de las revoluciones del motor	103

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Costo del paro de una máquina.	12
Ecuación 2-2: Ahorros por mantenimiento en horas.	13
Ecuación 1-3: Cantidad de muestras que se van a tomar por hora.	37
Ecuación 2-3: Cantidad de muestras totales que va a tomar el dispositivo.	37
Ecuación 3-3: Cálculo diferencia entre muestras de datos.	90
Ecuación 4-3: Cálculo del error porcentual entre muestras.	91

LISTA DE ABREVIACIONES

ADC	Convertor Analógico-Digital.
APIKEY	Interfaz de programación de aplicaciones.
APN	Nombre de punto de acceso.
bHP	Potencia de frenado.
bkW	Kilovatios al freno.
cc	Centímetros cúbicos.
CCW	Sentido de giro desde el volante.
DAQ	Sistema de Adquisición de datos.
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado.
GHz	Gigahercio.
GPRS	Servicio general de paquetes vía radio.
GSM	Sistema global para las comunicaciones.
HMI	Interfaz humano-máquina.
IDE	Entorno de desarrollo integrado.
IOT	Internet de las cosas.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
kg	Kilogramo.
kW	Kilovatio.
kWm	Potencia al volante.
LCD	Pantalla de cristal líquido.
mA	Miliamperios.
MCB	Mantenimiento basado en la condición.
MCI	Motor de combustión interna.
MHz	Megahercio.
MRS	Sensor magneto resistivo.
NPN	Sensor inductivo con amplificador de salida transistorizado.
NTC	Coefficiente de temperatura negativo.
OLED	Diodo orgánico de emisión de luz.
PCB	Placa de circuito impreso.
PSI	Libra de fuerza por pulgada cuadrada.
PTC	Coefficiente de temperatura positivo.
Rc	Relación de compresión.
ROM	Memoria de solo lectura.
RPM	Revoluciones por minuto.
RTD	Detector de temperatura resistivo.

SAE	Sociedad de ingenieros automotrices.
SMS	Smart Motor Sensor.
TFT	Transistor de película delgada.
USB	Universal Serial Bus.
V	Voltios.
WSN	Red de sensores inalámbricos.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO TARJETA CONTROLADOR 1

ANEXO B: CÓDIGO TARJETA CONTROLADOR 2

ANEXO C: OFICIO DE ENTREGA DEL TRABAJO

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto fue implementar un dispositivo para monitoreo en tiempo real de la temperatura del motor de combustión en el rodillo compactador modelo CS533E perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo. Por lo que, se inició determinando el estado técnico del motor aplicando una prueba en húmedo para medir la compresión de los cilindros. Se diseñó el sistema de monitoreo basado en los requerimientos de desempeño. A partir del análisis de equipos se seleccionó los componentes electrónicos: tarjetas Arduino, módulo SIM800L, módulo tarjeta RTD y SD, sensores industriales termocupla e inductivo para la detección de temperatura y revoluciones. Posterior se diseñó la tarjeta electrónica del dispositivo en el software Eagle, así como de la caja contenedora desarrollada en acero inoxidable. Se programó las funciones de los controladores destacando el almacenamiento de los datos en una tarjeta MicroSD y plataforma IOT. Se diseñó la interfaz gráfica de visualización de las variables en una pantalla HMI, así como la plataforma IOT Thingspeak; culminando con la implementación del dispositivo en la maquinaria. Para el análisis del desempeño se efectuó un periodo de prueba de 7 días laborales en condiciones normales de operación dando como resultado que el 100% de 3360 datos monitoreados cada minuto son correctamente registrados en la tarjeta MicroSD mientras que el 99% de 1680 datos registrados cada tres minutos son correctamente publicados en la plataforma IOT; identificando que el motor opera a una temperatura media de 86,63 °C y 1191 revoluciones. Se concluye que existe una relación directa entre la temperatura y revoluciones del motor, provocando que opere sobre el límite permisible de temperatura al alcanzar el máximo de revoluciones. Se recomienda efectuar un análisis periódico de los datos almacenados con la finalidad de predecir posibles fallos en la maquinaria.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <DISPOSITIVO DE MONITOREO> <TEMPERATURA> <REVOLUCIONES POR MINUTO> <MOTOR DE COMBUSTIÓN>.



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

0461-DBRA-UPT-2022

2022-03-14

SUMMARY

The main objective of this project was to implement a device for real-time monitoring of the temperature of the combustion engine in the model CS533E compactor roller belonging to Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo. Therefore, it began by determining the technical condition of the engine by applying a wet test to measure the compression of the cylinders. The monitoring system was designed based on performance requirements. From the equipment analysis, the electronic components were selected: Arduino cards, SIM800L module, RTD and SD card module, thermocouple and inductive industrial sensors for temperature and revolution detection. Subsequently, the electronic card of the device was designed in Eagle software, as well as the container box developed in stainless steel. The functions of the controllers were programmed, highlighting the storage of data on a MicroSD card and IOT platform. The graphical interface for displaying the variables on an HMI screen was designed, as well as IOT Thingspeak platform, culminating in the implementation of the device in the machinery. For performance analysis, a test period of 7 business days was carried out under normal operating conditions, resulting in 100% of 3360 data monitored every minute being correctly recorded on the MicroSD card, while 99% of 1680 data recorded, every three minutes are correctly posted on the IOT platform; identifying that the engine operates at an average temperature of 86.63 °C and 1191 revolutions. It is concluded that there is a direct relationship between temperature and engine revolutions, causing it to operate above the permissible temperature limit when reaching maximum revolutions. It is recommended to carry out a periodic analysis of the stored data in to predict possible failures in the machinery.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE> <MONITORING DEVICE> <TEMPERATURE> <REVOLUTIONS PER MINUTE> <COMBUSTION ENGINE>

SANDRA
PAULINA
PORRAS
PUMALEMA

Firmado digitalmente
por SANDRA PAULINA
PORRAS PUMALEMA
Fecha: 2022.03.17
15:10:08 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Los dispositivos de monitoreo son componentes de sistemas orientados a la supervisión de condiciones operativas en varios sectores de aplicación. Su uso permite conocer si se tiene condiciones idóneas de funcionamiento o anomalías que pongan en riesgo la integridad de operación. Apoyados con el análisis de los datos recolectados se logra prevenir la generación de problemas permitiendo aplicar medidas preventivas o correctivas según sea el caso.

El presente documento se centra en el diseño de un dispositivo para monitoreo en tiempo real de la temperatura del motor de combustión del rodillo compactador CS533E perteneciente al GAD Provincial Napo, considerando que el uso de este tipo de dispositivos incentiva la modernización y repotenciación de la maquinaria, misma que no cuenta con un panel de instrumentación que informe al operador el estado operativo del motor dentro del habitáculo. Por otra parte, la inoperatividad de la maquinaria ante un fallo produce pérdidas al GAD Provincial y afectaciones a la comunidad por falta de obras. El rodillo compactador donde se implementará el dispositivo es la única maquinaria operativa, teniendo dos rodillos con fallas en el motor ubicados en los talleres de mantenimiento.

Con la ejecución del trabajo se busca contribuir con el monitoreo de las condiciones operativas del motor de combustión del rodillo compactador para garantizar su funcionamiento y brindar al personal de mantenimiento un sistema que le permita analizar posibles fallas y evitar futuros daños que pongan en riesgo la maquinaria.

El presente trabajo maneja una estructura desarrollada en cuatro capítulos. En su primer capítulo presenta el diagnóstico del problema, antecedentes, justificación, alcance y objetivos planteados a alcanzar con su desarrollo. En el segundo capítulo se presenta la fundamentación teórica referente al diagnóstico técnico de un motor de combustión, mantenimiento basado en condición, así como la definición, componentes y características de un sistema de monitoreo.

En el tercer capítulo se realiza el diseño y construcción del dispositivo de monitoreo, iniciando con el análisis y selección de los componentes hasta llegar a la programación e implementación del mismo en la maquinaria, procediendo a ejecutar un periodo de pruebas. En el capítulo cuatro, se desarrolla la evaluación de los resultados obtenidos del dispositivo. Finalmente, se termina con las conclusiones y recomendaciones procedentes del desarrollo del trabajo realizado.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El monitoreo continuo de las condiciones operativas y de trabajo de los distintos componentes de maquinaria pesada resulta ser uno de los mejores métodos para ayudar al mantenimiento basado en la condición y garantizar de esta manera su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo. Sin embargo, la ejecución de este proceso en ocasiones es dificultoso debido a las condiciones propias de la maquinaria ya que estas no cuentan con sistemas o dispositivos que permitan registrar sus condiciones operativas.

A nivel mundial, existe el antecedente del dispositivo WEG Motor Scan desarrollado por la empresa (WEG, 2018) para el monitoreo completo de motores eléctricos, mismo que es de fácil instalación y mediante su configuración a través de una aplicación móvil envía los datos de los sensores mediante bluetooth para poder ser analizados en el software WEG Motor Fleet Management. Este dispositivo realiza un diagnóstico completo del funcionamiento del equipo mediante la medición de temperatura, vibraciones, velocidad y otras variables operativas (WEG, 2018).

La empresa española TestMotors, con su dispositivo Smart Motor Sensor (SMS) sienta el antecedente del desarrollo de un dispositivo enfocado al mantenimiento predictivo de averías en motores eléctricos de baja potencia. Este dispositivo puede medir vibraciones, temperatura y características eléctricas. Además, mediante el software online TestIM desarrollado por la misma empresa, permite la instalación de un datalogger que almacena la información proveniente de los sensores, así como la gestión remota en tiempo real de las condiciones del motor. (TestMotors, 2018).

A nivel regional y nacional no existe el precedente del desarrollo de trabajos que ejecuten la implementación de dispositivos enfocados al monitoreo de condiciones de temperatura de motores de combustión, orientados a un mantenimiento basado en condición. La mayoría de los trabajos desarrollados en el país presentan dispositivos para el monitoreo de variables ambientales meteorológicas tales como: temperatura, humedad, concentración de gases entre otras. De la ejecución de estos trabajos se puede destacar el empleo de controladores y módulos de comunicación inalámbrica en la ejecución del registro y supervisión remota en tiempo real de los datos obtenidos por los sensores.

De lo que se ha investigado, existen muchos estudios a nivel mundial los cuales se enfocan con mayor énfasis a motores eléctricos de baja potencia, con la ejecución del presente trabajo de integración curricular se busca desarrollar un dispositivo de monitoreo remoto de la temperatura del motor de combustión interna en el rodillo compactador del GAD Provincial de Napo.

1.2 Origen del problema

Dentro del Departamento de Mantenimiento del GAD Provincial de Napo, reposa en su documentación planes de mantenimiento ambiguos, los cuales son utilizados y aplicados hasta el momento; cabe destacar que también se cuenta con personal limitado para el desempeño de las múltiples funciones que demanda dicho departamento; es importante mencionar que únicamente se trabaja bajo condiciones de mantenimiento correctivo, es decir, hasta que el equipo pierda completamente la función requerida. La falta de supervisión y mantenimiento de maquinaria pesada, específicamente en los rodillos compactadores modelo CS533E; junto con el paso del tiempo, ha ocasionado que los diferentes paneles de instrumentación se deterioren poco a poco dificultando así, que el operador pueda realizar el control y monitoreo de la temperatura del motor de combustión interna; lo que ha originado que estos rodillos compactadores vayan perdiendo la función requerida para la cual fueron diseñados, quedando así albergados en el taller de mantenimiento de la institución.

1.3 Planteamiento del problema

Debido a la ausencia de un panel de instrumentación, el cual permita al operador visualizar la variación de la temperatura de funcionamiento del motor de combustión, ha ocasionado que los rodillos compactadores CS533E sufran un recalentamiento en el motor de combustión interna; dejando en un estado de indisponibilidad a 2 de los 3 rodillos compactadores que posee la institución, los cuales se encuentran albergados por completo en el taller de mantenimiento durante 6 meses con un total de 960 horas de indisponibilidad; durante ese tiempo se evidenció que producto del recalentamiento se presenta el desgaste en los componentes internos del motor. La indisponibilidad en los rodillos compactadores genera pérdidas para el GAD Provincial de Napo; así lo evidencia el departamento de mantenimiento en los balances de reportes de costos que se emiten de forma periódica; en los cuales se indica que para el primer trimestre del año 2018 se tuvo un costo de \$ 3510 por acciones de mantenimientos correctivos al motor de combustión de la maquinaria CS533E y para finales del mismo año, los costos ascendieron a \$ 6605, obteniéndose así un incremento en costos del 88,176% durante ese periodo.

1.3.1 *Delimitación del problema*

Este proyecto técnico se realiza en la dependencia del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo, junto con la SUB DIRECCION DE MANTENIMIENTO, TRANSPORTE Y MAQUINARIA, en los talleres de mantenimiento y reparación de la institución con la finalidad de realizar un estudio del comportamiento de la temperatura de funcionamiento del motor de combustión CAT 3054-C, en el rodillo compactador marca CATERPILLAR, modelo CS533E.

1.4 *Justificación*

En la actualidad, un correcto monitoreo del parámetro de temperatura basado en la condición aplicado a equipos y maquinaria industrial, es un atributo fundamental para garantizar la operación segura y efectiva de cualquier sistema técnico o tecnológico ya sea de épocas pasadas o sistemas modernos; este análisis permite analizar el funcionamiento de una máquina, reducir los costos de mantenimiento, incrementar la capacidad de producción y el monitoreo constante desde cualquier lugar; cabe mencionar que las fallas en los equipos y los errores humanos han sido los causantes primordiales de accidentes, paros imprevistos y forzados; los cuales generan un impacto ya sea de tipo económico, ambiental o con afectaciones al personal operativo.

Un motor de combustión que opere con diésel, debe conservarse entre 90 °C y 120 °C según las especificaciones técnicas de cada fabricante. Una máquina que se encuentre operando por debajo de los 80°C desperdicia combustible y, si se calienta demasiado, los componentes internos del motor de combustión corren el riesgo de fundirse y pegarse entre sí; por lo que un correcto monitoreo y control de la temperatura de funcionamiento del motor de combustión es de vital importancia.

Mediante la implementación de este dispositivo de monitoreo de temperatura, se busca monitorear y controlar de forma constante el comportamiento y la variación de la temperatura en función a las RPM con las que opera el motor de combustión y de esta manera evitar que la temperatura se eleve de forma excesiva y ocasione daños en los componentes internos del motor de combustión. Es importante indicar que la institución no posee estudios previos de las causantes de fallas en los rodillos compactadores modelo CS533E.

1.5 Alcance

Mediante este trabajo técnico se pretende:

- Desarrollar e implementar el dispositivo para monitoreo en tiempo real de la temperatura del motor de combustión, en el rodillo compactador modelo CS533E, mediante los conocimientos y destrezas adquiridos a lo largo de la formación académica profesional.
- Implementar la tecnología del IOT al dispositivo electrónico, para el control y monitoreo del parámetro de la temperatura del motor de combustión interna, con la finalidad de poder acceder al mismo desde diferentes puntos de control.
- Socializar y dar a conocer al personal que comanda el departamento de Mantenimiento del GAD Provincial de Napo, el beneficio económico y la correcta gestión del mantenimiento que tendrá la institución al implementar el dispositivo de monitoreo en el Rodillo Compactador.

1.6 Objetivos

1.6.1 *Objetivo general*

Implementar un dispositivo para monitoreo en tiempo real de la temperatura del motor de combustión en el rodillo compactador modelo CS533E perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo.

1.6.2 *Objetivos específicos*

- Determinar el estado técnico actual que presenta el motor de combustión del rodillo compactador CS533E.
- Diseñar y construir un sistema de instrumentación no invasivo, mismo que permita monitorear y recolectar los datos de temperatura en el motor de combustión interna del rodillo compactador modelo CS533E.
- Monitorear la temperatura en tiempo real del motor de combustión interna del rodillo compactador modelo CS533E durante un lapso de tiempo de 7 días bajo condiciones normales de operación.
- Elaborar un análisis de tipo estadístico para poder visualizar y comparar el comportamiento de la temperatura registrada por el dispositivo de monitoreo en función a las RPM con las que opera el motor de combustión del rodillo compactador.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Diagnóstico técnico para motores de combustión diésel

Hoy en día, los motores de combustión interna (MCI) que son impulsados por combustible Diésel, juegan un papel muy importante en el mundo, ya que su utilización ha llegado a muchos campos de aplicación. Los sistemas para el diagnóstico de fallos en este tipo de mecanismos permiten identificar deficiencias en etapas iniciales que, de no ser tratadas a tiempo, pueden disminuir notablemente la potencia del motor de combustión, provocando así contraprestación, desde el aumento en el consumo de combustible hasta daño irreparable del mismo (Grajales et al., 2018, p.48).



Figura 1-2: Diagnóstico técnico en maquinaria pesada

Fuente: (CATERPILLAR, 2017, p.12).

Reyes (2018) en su investigación afirma: “El diagnóstico automotriz es el procedimiento con el cual se realiza un análisis sobre el funcionamiento de los componentes o sistemas de un automotor, puede usarse muchos instrumentos al momento de realizar un diagnóstico, pero todo depende del componente o sistema que se desee analizar”. (p.20)

2.1.1 *Técnica de medición de compresión en los cilindros*

Una compresión correcta en un motor, ya sea que funcione a gasolina o diésel, es imprescindible para su buen funcionamiento, ya que de esta forma se evitarán problemas en general como la disminución en el rendimiento, aumento excesivo de la temperatura en el motor de combustión, consumos excesivos de aceite por los elementos internos, mal arranque en frío, etc. Con esta técnica de medición, se pretende diagnosticar el estado del motor antes de ser desmontado; para en caso de que existan fugas, detectar donde se encuentran (Escudero & Rivas, 2016, p.23).



Figura 2-2: Comprobación de la compresión en un M.C.I

Fuente: (Escudero & Rivas, 2016, p.31).

2.1.1.1 *¿Qué es el compresímetro?*

Es un instrumento de precisión que tiene como finalidad medir la capacidad de compresión que existe en el interior de cilindros u otros elementos que funcionen a través de principios tanto neumáticos como hidráulicos. Su utilización a nivel automotriz ayuda a descubrir a tiempo los diferentes valores de compresión en el interior de los cilindros del motor de combustión y evitar daños posteriores al mismo (Hurtado, 2019, pp.2-3).



Figura 3-2: El compresímetro y sus accesorios

Fuente: (Saetanet, 2017).

2.1.1.2 *Procedimiento para la medición de compresión en los cilindros del motor de combustión*

El proceso que se debe seguir para comprobar el estado de la compresión en un motor de combustión interna según Escudero & Rivas es:

- Retirar todas las bujías del motor de combustión.
- Roscar el compresímetro en el primer cilindro, si lleva rosca; o sujetarlo fuertemente a presión contra el orificio de la bujía, si lleva goma.

- Dar arranque al motor de combustión con el acelerador pisado a fondo (para conseguir el máximo llenado) hasta que la aguja del compresímetro deje de avanzar. Tardará 4 o 5 segundos.
- Anotar los datos correspondientes a este cilindro.
- Repetir los pasos anteriores con el resto de cilindros. (p.32)

Para motores diésel el procedimiento es el mismo que en un motor a gasolina exceptuando que:

- No hay encendido que desconectar.
- El compresímetro será específico para motores diésel, pues tiene que soportar presiones mucho más altas debido a la elevada relación de compresión Rc.
- Hay que usar útiles de adaptación a la rosca de los inyectores o calentadores.
- Al arrancar el motor de combustión no será necesario presionar a fondo el acelerador

2.1.1.3 Formato para recolección de datos de compresión del motor de combustión

Para poder registrar los datos de las lecturas de compresión en cada cilindro del motor de combustión, se utilizará el formato elaborado por Hurtado Alberto (2019) en su guía de aprendizaje sobre el diagnóstico del motor diésel, mismo que se indica en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Formato para recolección de medidas de compresión en los cilindros

MEDICIÓN	CILINDROS (PSI)			
	1	2	3	4
1				
2				
3				
PROMEDIO				

Fuente: (Hurtado, 2019, p.18).

Realizado por: (Mosquera, Juan. 2021).

Un cilindro está en buenas condiciones cuando este alcanza en la primera carrera del pistón el 70 por ciento del valor máximo de la compresión indicada por el fabricante. Si la lectura en la primera carrera es baja y se eleva en las demás, la causa puede ser atribuida al desgaste de los anillos del pistón o del cilindro. Si todas las lecturas del medidor de compresión son bajas, usualmente es indicativo de una válvula con fuga o desgaste del cilindro. La baja compresión en dos cilindros adyacentes puede indicar que el empaque de la culata está defectuoso por el exceso de la temperatura en funcionamiento del motor (Hurtado, 2019, p.8).

2.2 Rodillo compactador CS533E

La Compactadora es una máquina autopropulsada sobre ruedas que cuenta con diferentes tipos de rodillos que ayudan a acelerar el proceso de compactación de tierras. Esta maquinaria pesada es de tipo estática y su función principal es producir la densificación del suelo por su peso propio y una carga dinámica, la cual se aplica por medio de una masa excéntrica que gira alrededor del eje del rodillo, produciendo una determinada vibración (CATERPILLAR, 2017, p.22)

Los compactadores de suelos CS533E brindan la capacidad de aumentar al máximo la productividad, gracias a su velocidad y gran capacidad de compactación; presenta también gran agarre y potencia de subida en pendientes; brindando así excelente durabilidad del equipo. La potencia Bruta de esta máquina es de 97 kW y el motor con el que está equipado el mismo es un CAT 3054C. El peso aproximado del compactador de Suelos CS533E es de 10840 kg con cabina y el peso del tambor en si es de 5570 kg (CATERPILLAR, 2017, p.24).



Figura 4-2: Compactadora Vibratoria CS533E

Fuente: (CATERPILLAR, 2017, p.36)

2.2.1 Motor de combustión interna del rodillo compactador CS533E

El rodillo compactador modelo CS533E está equipado con un motor industrial Diésel 3054C Cat®, mismo que es fabricado en clasificaciones que van desde 52-97 bkW (69,7-130 bhp) a 2000-2400 rpm. Las industrias y aplicaciones que usan los Motores 3054C las incluyen en: agricultura, levantamiento aéreo, apoyo en tierra para aeronaves, plataformas de perforación, cortadores/trituradores, compactadores/rodillos, compresores, construcción, grúas, trituradoras, taladoras apiladoras, forestal, montacargas, industrial general, entre otras (CATERPILLAR, 2017, p.42).

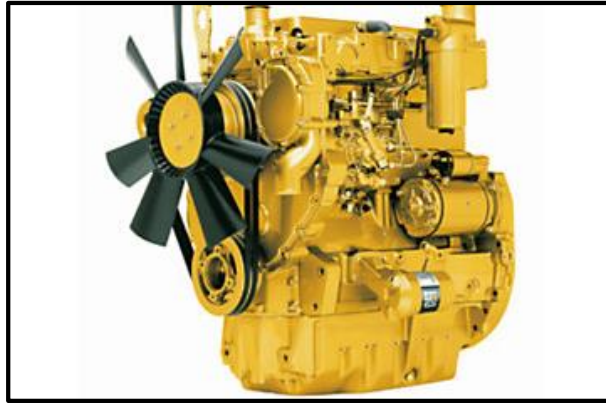


Figura 5-2: Motor de combustión CAT 3054-C

Fuente: (CATERPILLAR, 2017, p.43).

Las características generales y datos técnicos del motor de combustión CAT 3054-C, se indican en la tabla 2-2:

Tabla 2-2: Datos técnicos generales del motor de combustión

DATOS GENERALES	
Marca	CATERPILLAR
Modelo	3054-C
Tipo de combustible	Gas-oil
Numero de cilindros	4
Disposición	En línea
Diámetro	105 mm
Carrera	127 mm
Cilindrada	4,4 Litros
Relación de compresión	18, 2:1
Aspiración	Turboalimentado
Velocidad	2300 rpm
Potencia al volante (sin ventilador)	74 kWm
Sentido de giro (desde el volante)	CCW

Fuente: (CATERPILLAR, 2017, p.44-45) .

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

2.2.2 Condiciones operativas de trabajo del motor de combustión interna

Las condiciones del régimen de operación del motor de combustión interna CAT 3054-C, se muestran en la tabla 3-2:

Tabla 3-2: Condiciones operativas del motor de combustión CAT 3045C

CONDICIONES DE TRABAJO	
Datos a 2300 rpm y 74 kWm	
Calor absorbido en agua de refrigeración	52 kW
Calor residual en el escape	78 kW
Calor radiado	14 kW
Consumo de combustible	219 kW

Fuente: (CATERPILLAR, 2017, p.5)

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

2.2.3 *Temperatura óptima para el desempeño del motor de combustión interna*

Según las especificaciones técnicas del fabricante CATERPILLAR, un motor de combustión que opere con diésel, debe conservarse entre 90 °C y 120 °C durante su funcionamiento; si una maquina se encuentra operando por debajo de los 80 °C desperdicia combustible y, si se calienta demasiado, los componentes internos del motor de combustión corren el riesgo de fundirse y pegarse entre sí; por lo que un correcto monitoreo y control de la temperatura de funcionamiento del motor de combustión es de vital importancia (CATERPILLAR, 2017, p.9).

2.3 **Mantenimiento Industrial**

Según lo define la (UNE-EN 13306, 2018, p.6), el mantenimiento es la “combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida”.

2.3.1 *Mantenimiento basado en la condición*

Según la norma española UNE-EN 13306 “Terminología del mantenimiento” define al mantenimiento basado en la condición como:

Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de la evaluación de las condiciones físicas, el análisis y las posibles acciones de mantenimiento posteriores.

NOTA 1 *La evaluación de la condición se puede realizar mediante la observación del operador y/o inspección, y/o pruebas, y/o monitorización de la condición de los parámetros del sistema, etc., realizada de acuerdo con un cronograma, bajo petición o en forma continua (UNE-EN 13306, 2018, p.16).*

Por otro lado, de acuerdo con la normativa (ISO 14224, 2016, p.11) “Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural - Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos” define al mantenimiento basado en condición como:

Mantenimiento preventivo, basado en la valoración física de la condición del activo, donde la evaluación de la condición puede ser por observación del operador, realizada según un cronograma, o por el monitoreo de condición de los parámetros del sistema.

2.3.2 Objetivo del mantenimiento basado en la condición

El objetivo primordial del Mantenimiento Basado en la Condición (MCB) es monitorear y detectar las fallas futuras del equipo para que las acciones de mantenimiento se puedan programar de forma proactiva cuando sea necesario, y no antes; de esta forma se aumenta la vida útil de los equipos y consecuentemente se aumenta también la productividad y se reducen los gastos de manufactura considerablemente (Lisart, 2018, p.94).

2.3.3 Selección de la máquina a monitorear según el mantenimiento basado en la condición

La normativa ISO 17359 está enfocada en el Monitoreo de Condición y diagnóstico de máquinas, se enfoca en dar una guía de cómo se debe seleccionar y monitorear maquinaria según parámetros establecidos acerca de la vibración, temperatura, tribología, rango de flujo, contaminación, potencia, velocidad, normalmente asociados con el rendimiento, condición y criterio de calidad. Esta normativa puede ser utilizada por cualquier industria o empresa que tenga maquinaria para saber cómo se debe realizar el monitoreo de la condición y el diagnóstico de la maquinaria para que siempre esté en buen estado, existan menos riesgos y que las mismas presenten daños (ISO 17359. 2018, p.5).

2.3.4 Ventajas y desventajas de aplicar un mantenimiento basado en la condición

De acuerdo con la investigación de (Sols, 2012, p.272), el poder monitorear la condición de un equipo anticipando la ejecución de las tareas al implementarse un mantenimiento basado en la condición (MBC), ayuda a asegurar que el personal adecuado esté disponible, así como que se cuente con las herramientas, equipos de apoyo, repuestos y consumibles necesarios.

Según la información que presenta (Lisart, 2018, p.94) se ordena la tabla de la siguiente manera:

Tabla 4-2: Ventajas y desventajas al aplicar un (MBC) a un equipo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El MBC se realiza mientras el activo está funcionando, lo que disminuye las posibilidades de interrupción de las operaciones normales; mejorando así la seguridad de los trabajadores.	El equipo de prueba de monitoreo de condición es costoso de instalar y las bases de datos cuestan dinero para analizar.
Incrementa el nivel de confianza de la maquinaria a monitorear.	Se precisan operarios y técnicos altamente capacitados, pues deberán saber si la máquina tiene las condiciones mecánicas necesarias para su óptimo funcionamiento.
Se reducen las pérdidas de paro y minimiza el tiempo de inactividad no programado debido a una falla catastrófica.	Una planificación inadecuada implica un coste económico relativamente alto.
Minimiza el tiempo dedicado al mantenimiento.	Los sensores de condición pueden no sobrevivir en el entorno operativo.
Minimiza los costos de horas extras al programar las actividades.	Hasta tener una primera evaluación de las condiciones de toda la maquinaria llevará un tiempo considerable.
Reduce las posibilidades de daños colaterales al sistema.	Periodos de mantenimiento impredecibles.

Fuente: (Lisart, 2018, p.94).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021

2.3.5 Aspectos económicos del monitoreo con el mantenimiento basado en la condición

El instituto RENOVETEC de ingeniería de Mantenimiento (2018), en su guía técnica IRIM 8: “Mantenimiento basado en la condición” señala que realizar un monitoreo de la condición a un determinado equipo puede generar ahorros sustanciales para una organización, dichos ahorros pueden ser:

2.3.5.1 Ahorros por paro de producción

Los ahorros más significativos que derivan el mantenimiento basado en condición se deben a la disminución significativa de los paros de producción. Los ahorros en los paros productivos pueden ser calculados a través del número de horas de paro multiplicado por el valor ponderado por hora; como lo indica la ecuación 1.

$$\text{Costo del paro} = \text{Horas de paro} \times \$ \text{ Ponderado por hora} \dots\dots\dots (1)$$

2.3.5.2 Ahorros en costos de mantenimiento.

Los ahorros en mantenimiento se derivan de la reducción en las horas/hombre para realizar las reparaciones más el ahorro por la disminución de partes de reemplazos innecesarios y se calculan de la siguiente manera como lo indica la ecuación 2.

$$\text{\$ Ahorro en horas} = (H_H M_C - H_H M_P) \times \text{\$ Ponderado por Hora/Hombre} \dots\dots\dots (2)$$

Siendo:

$H_H M_C$ = Horas hombre requeridas en las acciones de mantenimiento correctivo.

$H_H M_P$ = Horas hombre requeridas en las acciones de mantenimiento preventivo.

2.3.5.3 Costo del monitoreo de la condición

Los costos de los sistemas de monitoreo de condición dependen del tipo de sistema que se elija y puede ser fijo o portátil. Por supuesto los sistemas fijos requieren una mayor inversión si el número de máquinas es grande. Por el contrario, los sistemas portátiles son más económicos, pero requieren de un especialista que este midiendo cada máquina periódicamente (Renovetec, 2018, p.10).

2.4 Sistemas de Monitoreo

2.4.1 Definición de sistema de monitoreo

Los sistemas de control y monitoreo son aplicaciones o desarrollo de Software diseñado con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia que permiten el acceso a datos remotos, utilizando las herramientas de comunicación con los dispositivos de campo como son: transductores, sensores, actuadores, válvulas, etc.; necesarias en cada caso y controlando el proceso de forma automática desde un computador u otro dispositivo (Quishpe, 2017, p.13).

El monitoreo significa ser consciente del estado de un sistema, y así observar cambios que se puedan producir en el tiempo según sus condiciones operativas. En los sistemas de control y monitoreo la integración e innovación de tecnologías permiten tener un mayor conocimiento de los procesos, figura 6-2, facilitando de esta manera la toma de decisiones y optimización de recursos.



Figura 6-2: Control y monitoreo de equipos.
Fuente: (Automatización en minería, 2019).

2.4.2 Tipos de sistemas de monitoreo

2.4.2.1 Sistemas de monitoreo local

El monitoreo local permite evaluar, supervisar y controlar a través de una unidad fija el desempeño de un equipo o proceso, además su función es la de detectar condiciones anormales en la operación y funcionamiento del sistema (Santos, 2019, p.3).

En la siguiente imagen se puede apreciar el monitoreo local en tres etapas:

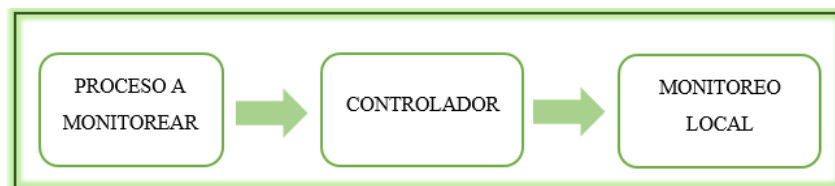


Figura 7-2: Etapas de un proceso de monitoreo local.

Fuente: (Santos, 2019, p. 3).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

2.4.2.2 Sistemas de monitoreo remoto

El monitoreo remoto o también llamada unidad de monitoreo remoto (UMR), es un sistema que permite adquirir mediciones de equipos y transductores de una manera remota, para posteriormente enviarlos a través de la red (internet), al lugar donde se encuentra el usuario u operario (Santos, 2019, p.4).

En la siguiente imagen se puede apreciar el proceso general del monitoreo remoto:

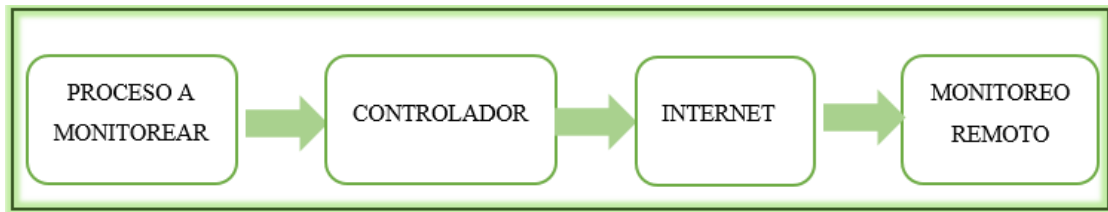


Figura 8-2: Etapas de un proceso de monitoreo remoto.

Fuente: (Santos, 2019, p.4).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

2.4.3 *Requisitos de un sistema de monitoreo*

De acuerdo con la investigación de (Molano, 2011, p.23), se indica que algunos de los requerimientos básicos en un sistema de control y monitoreo son:

- La información de un sistema o equipo debe ser obtenida en el momento en que se producen los cambios significativos en el mismo.
- El sistema de control y monitoreo debe de estar formado por una arquitectura abierta de forma que se pueda modificar fácilmente por el usuario según sus necesidades.
- Debe crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa u organización
- Se debe comunicar de una forma sencilla y transparente con el usuario.
- Deben comunicarse con los equipos de campo y con el resto de la empresa (acceso a redes locales y de gestión).

2.5 **Dispositivo de Monitoreo de Variables en Tiempo Real**

2.5.1 *Definición de dispositivo de monitoreo de variables en tiempo real*

Un dispositivo de monitoreo en tiempo real detecta, mide y transmite la información en su mayoría de aplicaciones durante las 24 horas del día, o en defecto todo el tiempo que tarde un proceso a monitorear. En cualquier escenario el dispositivo debe poseer independencia energética mediante el empleo de baterías, paneles solares o cualquier fuente de energía alternativa. (Coronel, & Espinoza, 2019, p.7).

En la figura 9-2, se presenta el esquema de funcionamiento de un dispositivo de monitoreo en tiempo real.

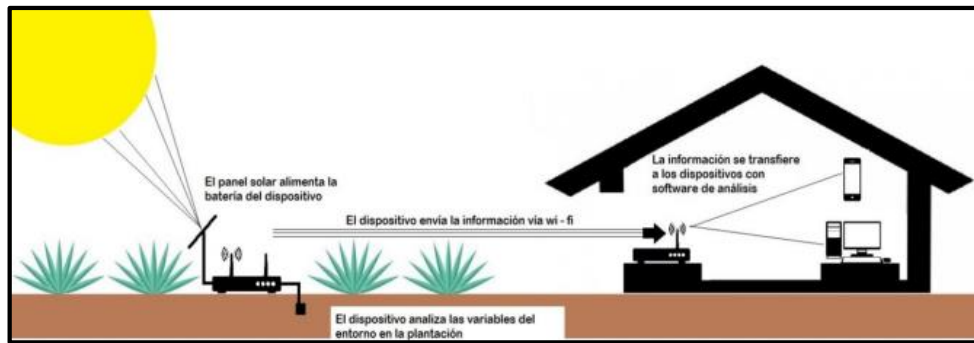


Figura 9-2: Esquema de funcionamiento de un dispositivo de monitoreo

Fuente: (Magallón. 2019, p.16).

2.5.2 Componentes de un sistema de monitoreo de variables en tiempo real

Todo sistema utilizado para el monitoreo de la condición de equipos en tiempo real, requiere de dos elementos principales software y hardware. Donde el software “es el soporte lógico del sistema, se ejecuta en un terminal gráfico o en un ordenador en donde por medio de programas específicos se comunica con los dispositivos de control de planta y los elementos de gestión”. Y el hardware es el elemento físico del sistema, el cual permite a un elemento asumir las funciones de otro de forma transparente para el sistema (Quishpe, 2017, p.13).

2.5.3 Tarjetas Controladoras y Adquisición de Datos

Las tarjetas controladoras cumplen un rol principal dentro del dispositivo de monitoreo, ya que se encargan de la adquisición y procesamiento de las señales obtenidas de los sensores. Además, actúan como interfaz con el computador. Principalmente cuentan con tres partes principales: circuito de acondicionamiento, convertidor analógico-digital (ADC) y el bus del ordenador. Se pueden utilizar en todo tipo de campo de aplicación ya que permiten ejecutar una serie de mediciones y controlar las condiciones de trabajo, destacando su aplicación más útil en los sistemas de registro, monitoreo y control de variables físicas (Mendoza & Barrios, 2017, p.15).

2.5.3.1 Tarjetas plug-in

Son diseñadas para ser insertadas en algún slot o puerto de comunicación del computador, aunque en la actualidad se diseñan para que se comuniquen mediante USB, ethernet, WIFI u otros medios y estándares. Estas tarjetas están equipadas con microprocesadores de una alta velocidad de trabajo que los hacen una opción ideal para aplicaciones con un número reducido de canales. El rango de tensiones de los terminales de entrada y salida son limitados al voltaje de trabajo determinado por el fabricante (Coronel & Espinoza, 2019, p.10).

Según la investigación de Coronel, J. & Espinoza (2019) para la selección de este tipo de tarjetas es necesario considerar ciertos criterios que garanticen su correcto funcionamiento y eficacia en las mediciones. Entre estos se consideran:

- Compatibilidad del software controlador con el sistema operativo del PC.
- Protocolo de comunicación.
- Cantidad de canales digitales o analógicos.
- Tipo de señal del sensor a emplear (voltaje o corriente).
- La frecuencia y resolución para el procesamiento de señales.

En la actualidad, se pueden encontrar una amplia gama de este tipo de tarjetas, dentro de las cuales se destacan las desarrolladas en plataformas libres (Open Source) y las fabricadas por empresas privadas. Siendo las tarjetas Arduino y las tarjetas DAQ de National Instrument sus principales representantes respectivamente (Magallón, 2019, p. 22).

Para la ejecución del trabajo se va a considerar el empleo de alguna tarjeta controladora presente en la tabla 5-2, considerando los criterios descritos. Las tarjetas presentadas son las más representativas en el mercado por su capacidad de procesamiento y uso en aplicaciones de monitoreo de variables.

Tabla 5-2: Tarjetas de control y adquisición de datos pulg-in

Tarjeta	Fabricante	Software Controlador	Microprocesador
Arduino	Arduino LLC	Arduino IDE	ATMEGA328P
Node MCU	Espressif	Arduino IDE	ESP8266
SMT32F103	STMicro	STM32 Cube	ARM Cortex M3
DAQ	National Instrument	Labview	Serie 680x0

Fuente: (Coronel, J., & Espinoza, 2019 p.13).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

2.5.4 *Sistemas de comunicación*

Los sistemas de comunicación están compuestos por 3 elementos básicos mismos que son: un transmisor, un medio de transmisión y un receptor. El transmisor es un conjunto de uno o más dispositivos o circuitos electrónicos que convierte la información de la fuente original en una señal que se presta a través del medio de transmisión. El medio de transmisión transporta las señales desde el transmisor hacia el receptor. El receptor es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que acepta del medio de transmisión las señales transmitidas (Tomasi et al., 2003, p.26)

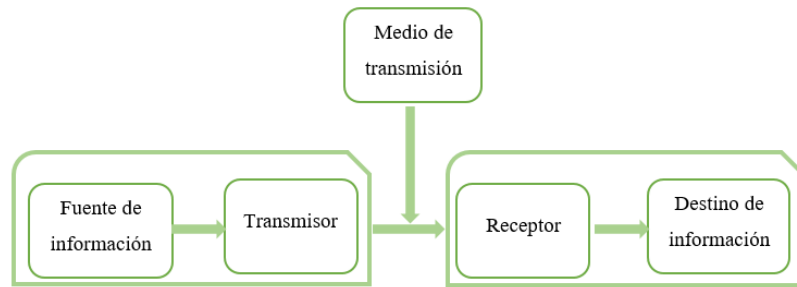


Figura 10-2: Diagrama de bloques de un sistema de comunicación electrónica

Fuente: (Tomasi et al., 2003, p.26).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

2.5.5 Fuentes de energía

Una fuente de energía o de alimentación es un dispositivo electrónico, el cual se caracteriza por su capacidad de carga y tensión nominal, donde se transforma la entrada de tensión alterna en una tensión continua; este dispositivo cumple la función de suministrar los niveles adecuados de tensión que requiere el determinado circuito electrónico para que su funcionamiento sea óptimo, generando así la autonomía de funcionamiento necesaria al dispositivo de monitoreo (Pardo & Bailon, 2017, p.125). Comúnmente se emplean baterías en conjunto con sistemas de protección y carga; así como fuentes de energía alternativa haciendo uso de recursos naturales como la luz solar.

2.5.5.1 Baterías

También conocidas como acumuladores, son dispositivos capaces de generar energía eléctrica directa empleada para hacer funcionar dispositivos electrónicos. Se caracterizan por ser recargables, destacando dos tipos acorde a la celda que lo constituye siendo primarias si dispone de un solo ciclo de carga, o secundarias que son de una generación más moderna y destacan por tener la capacidad de ser recargadas durante muchos ciclos (Ingmecafenix, 2019).



Figura 11-2: Baterías con celdas primarias y secundarias

Fuente: (Ingmecafenix., 2019).

2.5.5.2 Paneles Solares

En la actualidad el empleo de energías renovables se encuentra en auge y se presenta como una alternativa para reemplazar a las baterías beneficiando de manera directa al medio ambiente. Los paneles solares también llamados placas solares son dispositivos fabricados en silicio cristalino ya sean, mono cristalinas o poli cristalinas y tienen la función de convertir la energía del sol en electricidad; específicamente en corriente continua debido al efecto fotovoltaico producido (Ríos, 2019, p.9).

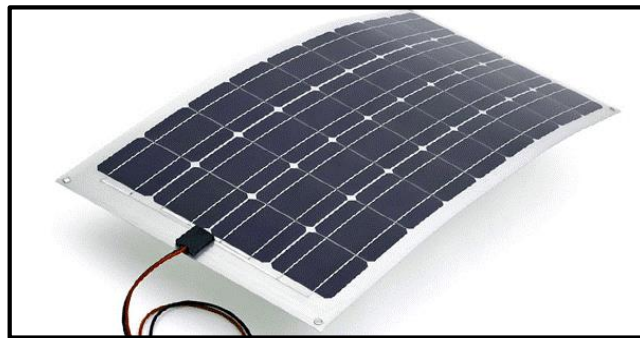


Figura 12-2: Panel solar flexible

Fuente: (Ríos, 2019, p.9).

2.5.6 Variables a medir en un dispositivo de monitoreo en tiempo real

De acuerdo a la aplicación que se pretenda orientar a un dispositivo de control y monitoreo, es posible medir cualquier tipo de variable física gracias a la amplia gama de sensores electrónicos que permiten realizar este proceso, así lo indica (Juárez, 2004, p.5) en su investigación.

En la tabla que se indica a continuación, se presentan las variables que comúnmente son monitoreadas por este tipo de dispositivos.

Tabla 6-2: Variables físicas medibles por un dispositivo de monitoreo

VARIABLES FÍSICAS	
VARIABLE	UNIDAD
Temperatura	° C
Humedad	%
Flujo volumétrico	L / min
Velocidad rotacional	R.P.M
Distancia	m
Concentración de gases	P.P.M

Fuente: (Juárez, 2004, p.5).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

En el presente proyecto de integración, es importante determinar cuáles son las variables que se necesitan monitorear con el dispositivo a implementarse, por lo descrito en el capítulo I, se va a ejecutar el monitoreo de la temperatura del motor de combustión de la compactadora en función de la velocidad de rotación del mismo.

2.5.6.1 *Temperatura*

Es una variable física que mide la cantidad de calor que posee un objeto, ambiente o un determinado cuerpo que es sometido a trabajo constante. Se mide comúnmente en grados Celsius (°C). Esta característica es considerada para que operarios tanto de control como de mantenimiento puedan evitar temperaturas que exceden el rango de operación normal de una determinada máquina (Martinez, 2021, pp.6-7).

2.5.6.2 *Velocidad*

Es una variable física que implica el cambio de posición de un objeto en el espacio dentro de una determinada cantidad de tiempo (Autoavance, 2018). En el sistema internacional se mide en m/s. Para el caso práctico se va a considerar la velocidad con que gira el eje del cigüeñal del motor de combustión interna para poder interpretar su influencia con la temperatura generada en el mismo. Comúnmente la velocidad rotacional en este caso se expresa en revoluciones por minuto (R.P.M).

2.6 *Sensores*

Un sensor es un dispositivo que está construido para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia es decir, permite captar la información del medio físico que nos rodea; encargándose así de medir magnitudes físicas y transformarlas en señales eléctricas procesadas por un micro controlador capaz de detectar magnitudes químicas o físicas y transformarlas en señales eléctricas normalizadas ya sea de corriente o voltaje en rangos de (0-20 mA; 4-20 mA) y (0-5 V; 0-10 V) (Sánchez, 2019, p.9).



Figura 13-2: Sensor

Fuente: (Sánchez, 2019, p.9).

2.6.1 *Sensores de Temperatura*

La temperatura es la medida física más utilizada por los ingenieros e investigadores en el mundo y puede ser medida por una gran diversidad de sensores. Estos sensores son diseñados para interpretar y transformar los cambios de temperatura en un medio físico, en cambios de señales eléctricas que posteriormente son enviadas a un dispositivo para ser procesadas, así lo indica (Vique, 2016, p.28).

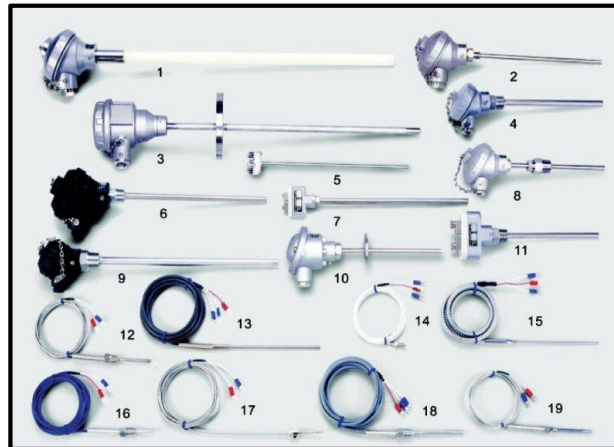


Figura 14-2: Diferentes sensores de temperatura

Fuente: (Rechner Sensors, 2018).

2.6.2 *Sensores de temperatura que cambian alguna propiedad física*

Este tipo de sensores detectan la variación de temperatura mediante la variación de su resistencia o el cambio de alguna propiedad física de los componentes que la integran. Se pueden destacar los sensores: RTD, y Termistores de tipo PTC o NTC (Rechner Sensors, 2018).

2.6.2.1 *Resistance Temperature Detector (RTD)*

Son sensores de temperatura resistivos, utilizan el efecto que produce la temperatura al conducir electrones por el medio en el cual se produce un aumento de la resistencia eléctrica. Los RTD tienen como característica un comportamiento en su mayoría lineal, comportamiento el cual depende también del material del cual están fabricados generalmente consiste en un pedazo de alambre enrollado bien envuelto con un núcleo de cerámica o vidrio, debido a que una de las características de los metales es poseer coeficientes térmicos positivos (Vique, 2016, p.31).



Figura 15-2: Sensor RTD PT100

Fuente: (Indiamart, 2017).

2.6.2.2 Termistores

Como su nombre lo indica es un resistor sensible a la temperatura, su operación está basada en el cambio del valor óhmico que presenta un semiconductor con la temperatura, debido a la concentración de portadores. Usan electrodos internos que detectan el calor y lo miden a través de impulsos eléctricos.

Según la investigación realizada por (Vique, 2016, p.30), en el mercado actualmente se presentan dos tipos de termistores:

- **PTC (Coeficiente de Temperatura Positivo):** Detectan un aumento de la temperatura con una mayor resistencia. Deben elegirse cuando se requiere un cambio drástico en la resistencia a una temperatura específica o nivel de corriente.
- **NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo):** Detectan un aumento de la temperatura con una reducción de la resistencia. debe elegirse cuando es necesario un cambio continuo de la resistencia en una amplia gama de temperaturas. Ofrecen estabilidad mecánica, térmica y eléctrica, junto con un alto grado de sensibilidad.



Figura 16-2: Termistor PTC y NTC

Fuente: (Tecnolive, 2019).

2.6.3 Sensores que trabajan directamente mediante una señal emitida

Son sensores de temperatura de semiconductores integrados o circuitos de estado sólido que, dependiendo de la temperatura producen una señal de corriente, tensión o una señal digital. Un ejemplo de este tipo de sensores son los infrarrojos.

2.6.3.1 Sensor de temperatura infrarroja

Conocidos como sondas de temperatura por infrarrojos, son dispositivos electrónicos capaces de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión ya que son sensores para medida de temperatura sin contacto permitiendo así, realizar medidas de temperatura con alta precisión en amplios rangos de temperatura. La temperatura medida es proporcional a la señal de salida emitida comúnmente acondicionada en estándares industriales de voltaje (0-10 V) o de corriente (4-20 mA), así lo indica en su investigación (Samaniego, 2019, p.30).



Figura 17-2: Sensor de temperatura infrarrojo

Fuente: (Campbell, 2018).

De los sensores descritos, en el mercado se puede encontrar una amplia gama de modelos que determinan principalmente su rango de medición. Para la selección de un sensor se debe considerar entre otras características: el campo de aplicación, el tipo de sensor, la sensibilidad, señal de salida, resolución, rango de medida y el tiempo de respuesta (Samaniago, 2019, p.27).

2.6.3.2 Sensores de Velocidad de Rotación

El sensor de velocidad de rotación es un dispositivo asociado a una rueda dentada o un disco magnetizado de forma alternada que emite una señal pulsante que es enviada a la unidad de comando que calcula la velocidad de rotación del eje, que es lugar donde se instala este tipo de sensores (Mte-Thomson, 2019). En la actualidad los tipos de sensores más utilizados para determinar la rotación son:

- **Sensor de Reluctancia Magnética Variable:** Es utilizado en varias condiciones físicas de operación, su funcionamiento consiste en que el campo de un imán permanente es deformado al paso de un objeto de alta reluctancia como los dientes de un engranaje metálico, el cambio induce en el campo, un voltaje en una bobina captadora colocada rodeando al imán, la magnitud del voltaje depende de la velocidad con la que el objeto de alta reluctancia pasa frente al campo magnético (Chugñay, 2018, p.7).



Figura 18-2: Sensor de reluctancia magnética

Fuente: (Weg, 2016).

- **Sensor de efecto Hall:** está conformado por una pequeña pastilla de material semiconductor circulada por una corriente continua. Este sensor va montado en el volante de inercia del motor de combustión, para lo cual hace uso de un sensor magnético, que se activa con un imán que ofrece un campo magnético el cual permite captar un determinado ángulo de giro del volante de inercia (Miranda, 2016, p.74).

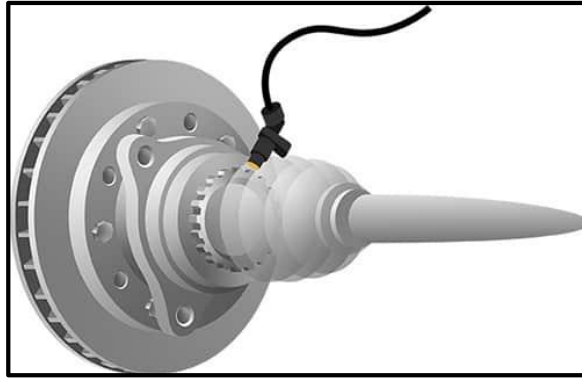


Figura 19-2: Sensor de efecto Hall

Fuente: (Directindustry, 2019).

- **Sensor Magneto-Resistivo:** Los sensores magneto-resistivos (MRS) detectan el movimiento de materiales ferromagnéticos por el cambio del flujo magnético; disponen de un disco de material magnético, magnetizado de forma alternada mediante imanes con distinta polaridad. Estos sensores son aptos para la detección de la velocidad de ruedas dentadas y para control de parada (Palma, 2020, p.15).



Figura 20-2: Sensor magneto-resistivo

Fuente: (Mesurex, 2018).

2.7 *Transmisión de datos*

Un aspecto clave en un dispositivo de monitoreo es la transmisión de los datos adquiridos por los sensores y que son procesados por la tarjeta de control. Comúnmente los dispositivos hacen empleo de sistemas de comunicación alámbricos e inalámbricos, sin embargo, debido a que estos dispositivos son empelados en aplicaciones que consideran una distancia de ubicación considerable y al creciente desarrollo de aplicaciones IOT, actualmente se hace un mayor empleo de tecnologías inalámbricas para la transmisión de la información (Fedele, 2015, p.34).

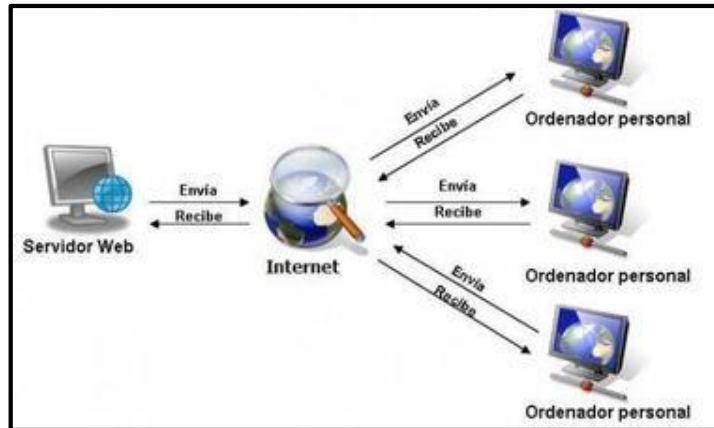


Figura 21-2: Transmisión de datos

Fuente: (Mitrium, 2017).

En el diseño del dispositivo se analizará el empleo de una tecnología inalámbrica para el monitoreo remoto, en consecuencia, se sientan las características de las dos tecnologías inalámbricas mayormente empleadas.

2.7.1 *WIFI*

Es una tecnología de red inalámbrica a través de la cual dispositivos pueden interactuar con internet, dando la posibilidad que se pueda generar un intercambio de información. Esta tecnología trabaja bajo el estándar IEEE 802.11 misma que establece los protocolos de comunicación con los dispositivos inalámbricos. Las bandas de transmisión de datos empleados son la de 2.4 GHz y 5 GHz (Nuñez & Cardona, 2009, p.3).



Figura 22-2: Tecnología WIFI

Fuente: (Redes Inalambricas, 2016).

2.7.2 *GPRS*

Es una tecnología inalámbrica que comparte un rango de frecuencias de la red celular GSM, efectúa la transmisión de datos mediante paquetes. Se caracteriza por su cobertura ya que abarca gran parte de la superficie mundial. Trabaja bajo el estándar GPRS y hace empleo de las bandas

de transmisión de 800, 1800, 1900 MHz. Si bien esta tecnología fue diseñada para el tráfico de voz no es impedimento para su empleo el hecho de transmitir información por internet (Nuñez, C., & Cardona, 2009, p.5).



Figura 23-2: Comunicación GPRS

Fuente: (Gearbest, 2018).

2.8 Almacenamiento de datos

2.8.1 Plataformas IOT

Las plataformas de visualización como un servicio en la nube son empleadas para tener información sobre las variables y acceder a los datos almacenados desde un computador o un dispositivo que cuente con internet y así tener una supervisión en tiempo real (Coronel & Espinoza, 2019, p.25).

Entre las plataformas de software libre tenemos las más usadas para aplicaciones en IoT, mismas que dan un tiempo de uso gratuito con ciertas limitaciones y otras que son del tipo pagado que brindan mayor espacio, monitorización de más variables y acceso mediante varios dispositivos.



Figura 24-2: Plataformas IOT

Fuente: (ITmasters, 2020).

2.9 Lenguajes de programación

Son una serie de instrucciones que permiten programar un conjunto de órdenes, acciones, datos o algoritmos, para determinar el comportamiento físico y lógico de un dispositivo. En la ejecución de un sistema de monitoreo la elección del lenguaje de programación a emplear es fundamental para garantizar un correcto desempeño. Sin embargo, la elección queda limitada a las capacidades y requerimientos del equipo a programar, así como la habilidad del programador (Guacho & Rea, 2014, p.21).

El primero de estos criterios hace referencia al tipo de tarjeta de adquisición a emplear, teniendo en cuenta que existen tarjetas de hardware y software libre, así como los que presentan prestaciones privadas. En cualquiera de los escenarios se dispone de una amplia gama de software de programación mismos que son de alto nivel ya que ofrecen las herramientas para gestionar el programa. A continuación, se presentan los tipos de programación comúnmente empleados en los dispositivos de monitoreo.

2.9.1 Entorno IDE

El entorno de desarrollo integrado es una aplicación informática que presenta un conjunto de servicios que facilitan la programación de software. Mismas que se indican a continuación:

- Editor de código fuente.
- Control de dispositivos.
- Gestión de versiones.
- Sistemas de control de versiones.
- Depurador para agilizar el proceso de desarrollo del software.

El IDE comúnmente empleado en las tarjetas de desarrollo de adquisición de datos es el Arduino IDE, que es una aplicación multiplataforma compatible con una serie de sistemas operativos, mismo que presenta una amplia compatibilidad para programar tarjetas de la serie Arduino, así como tarjetas de otros fabricantes mediante la instalación de controladores. El código fuente admite los lenguajes C y C++. En la figura 25-2 se presenta la interfaz gráfica del IDE donde se escribe la programación de la tarjeta (Allauca & Rocha, 2019, p.31).

Cabe mencionar que para el análisis de la información recolectada por el sistema de monitoreo, es necesario determinar el número de muestras a tomar durante el periodo de operación de la maquinaria a fin de obtener la suficiente cantidad de datos. Para la ejecución de este proceso se hará referencia a las ecuaciones descritas por el autor (Guaña, 2016, p.137), en su trabajo de titulación

de cuarto nivel denominado: “Diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura”.

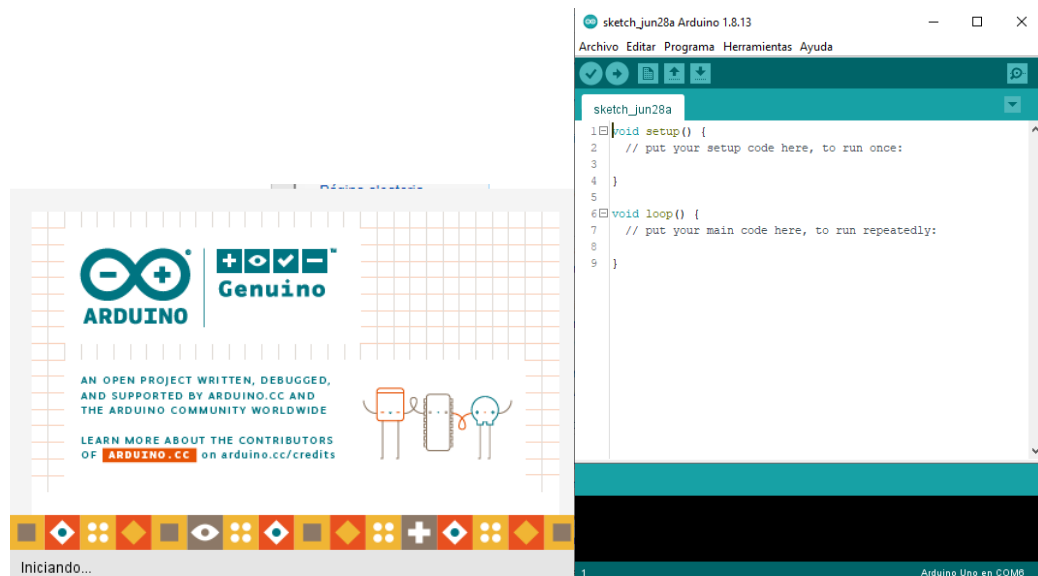


Figura 25-2: Entorno IDE Arduino

Fuente: Mosquera, Juan, 2021.

2.9.2 Programación por bloques

En la actualidad los sistemas de adquisición de datos comúnmente emplean tarjetas tipo plug in mismas que cuentan con un lenguaje de programación por bloques desarrollado por las compañías fabricantes. Las tarjetas comúnmente empleadas son las desarrolladas por la compañía National Instruments, misma que desarrolló el software Labview para su programación (Magallón, 2019, p. 22).

LabVIEW es un lenguaje de programación que proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de ingeniería basados en sistemas de medición como: monitoreo de procesos, aplicaciones de control, procesamiento de señales, manipulación de imágenes, automatización, interfaces de usuario mediante una consola interna basada en software, entre otras. Presenta compatibilidad con herramientas de desarrollo similares, permitiendo trabajar con programas como Matlab. La integración de hardware como tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos, hacen de LabVIEW una herramienta potente para el desarrollo de aplicaciones. (Allauca & Rocha, 2019, p.33).

LabVIEW emplea un lenguaje gráfico de programación, mediante iconos que representan funcionalidades, unidos entre ellos mediante cables que representan los flujos de datos. Los programas se crean en archivos llamados Instrumentos Virtuales con extensión VI. La programación de LabVIEW consta de: un panel frontal donde se diseña la interfaz de usuario y

se ubican los controles e indicadores; y un diagrama de bloques donde se encuentran las funciones y código. En la figura 26-2, se muestra el entorno de LabVIEW. (Allauca & Rocha, 2019, p.34).



Figura 26-2: Entorno programación Labview

Fuente: Mosquera, Juan, 2021.

CAPITULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo, se da a conocer las condiciones iniciales en las que se encuentra el rodillo compactador marca CATERPILLAR, modelo CS533E, mediante un diagnóstico técnico; para posteriormente implementar el dispositivo de monitoreo de la temperatura del motor de combustión en tiempo real, se describen los parámetros y requerimientos necesarios que debe cumplir; así como los diagramas de proceso, de bloque y de flujo que seguirá el mismo. También se da a conocer las características técnicas de los equipos electrónicos que se utilizarán en la etapa de diseño del circuito electrónico para su posterior construcción e implementación.

3.1 Situación actual del rodillo compactador marca CATERPILLAR, modelo CS533E

3.1.1 Descripción del área de operación

Durante el recorrido e inspección que se realiza al taller de reparación y mantenimiento del GAD Provincial de NAPO, se puede evidenciar que el rodillo compactador marca CATERPILLAR, modelo CS533E se encuentra albergado en el taller de mantenimiento sin tomarse las acciones correctivas necesarias para devolver por completo la función requerida al activo; así lo indica la figura 1-3.



Figura 1-3: Espacio de implementación para el dispositivo de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021

Se realiza también el reconocimiento del área de trabajo en la cual se implementará el dispositivo de monitoreo, constatando las condiciones iniciales tanto de la parte mecánica del rodillo compactador, así como de la parte del panel de instrumentación del mismo, tomando en cuenta las adecuaciones necesarias que se deberán hacer para el montaje del dispositivo.

3.1.1.1 *Descripción de la condición mecánica del rodillo compactador*

Como parte mecánica se toma a consideración al motor de combustión, ya que es el órgano vital y de importancia del rodillo compactador, siendo así el tema de interés de este proyecto de integración curricular; este se encuentra ubicado en la parte trasera del rodillo compactador y está conformado por 4 cilindros que proveen un cilindraje total de 4400 cc, alimentado por combustible Diésel y entrega una potencia bruta de 130 HP. En la figura 2-2 se indica la disposición del motor de combustión del equipo en cuestión.



Figura 2-3: Motor de combustión del rodillo compactador

Realizado por: Mosquera, Juan. 2021

3.1.1.2 *Descripción del panel de instrumentación del rodillo compactador*

Mediante una inspección visual, se puede constatar que el rodillo compactador no presenta un indicador del parámetro de temperatura del funcionamiento del motor de combustión dentro de su panel de instrumentación, únicamente cuenta con los indicadores de velocidad del equipo y del nivel de combustible del mismo; tal como se puede apreciar en la figura 3-3.



Figura 3-3: Panel de instrumentación del rodillo compactador

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Actualmente el motor de combustión del rodillo compactador CS533E presenta un fallo en general, mismo que afecta al rendimiento del equipo, produciendo la pérdida de potencia al aplicar una determinada carga a la masa concéntrica la cual se encarga de producir la densificación de suelos; por consiguiente, el operador de la maquinaria debe acelerar más, produciéndose así el sobreesfuerzo del motor de combustión; sin embargo el rodillo compactador en estudio, continua atendiendo las obras de vialidad que la provincia de Napo demanda.

3.2 Resultados obtenidos por el equipo de medición de compresión de los cilindros.

Para la toma y recolección de datos de compresión del motor de combustión, se hace uso del proceso de medición denominado prueba en húmedo, la cual consiste en verter 2 cucharadas de aceite de motor (dos emboladas de un aceitero de mano) en el orificio del inyector o pre calentador, antes de la colocación del compresímetro. Se utiliza aceite SAE, 15W-40 para poder realizar la toma de medidas.

A continuación, en la tabla 1-3, se indican los datos que refiere el fabricante CATERPILLAR para la correcta presión de compresión del motor CAT 3054C.

Tabla 1-3: Presión de compresión motor CAT 3054C

DATOS DEL FABRICANTE	
Presión de Compresión.	
30 kg/cm ²	427 psi
Presión Mínima	
25 kg/cm ²	356 psi
Diferencia entre cada cilindro.	
Menos de 5 kg/cm ²	71 psi

Fuente: (CATERPILLAR, 2017, p.10).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

De acuerdo con la tabla 1-2 que se presenta en el capítulo II, se puede recolectar los siguientes datos de compresión en el motor de combustión y se los representa a continuación.

Tabla 2-3: Datos de medidas de compresión en los cilindros

	MEDICIÓN	CILINDROS (PSI)			
		1	2	3	4
PRUEBA EN HÚMEDO	1	389	335	344	393
	2	386	335	347	390
	3	388	336	347	391
	4	388	336	345	393
	PROMEDIO	388	336	346	392

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

De la información que se indica en la tabla 2-3, se puede evidenciar que el cilindro 2 con 336 PSI y el cilindro 3 con 346 PSI, están por debajo de la presión de compresión mínima que indica el fabricante CATERPILLAR, la cual garantiza el buen funcionamiento y desempeño del motor de combustión.

El autor (Hurtado, 2019, p.8) indica que, la baja compresión en dos cilindros adyacentes determina que el empaque de la culata está defectuoso por el exceso de la temperatura en funcionamiento del motor.

Así lo evidencia la tabla 2-3 en la cual los cilindros 2 y 3 son adyacentes, es decir, están próximos el uno del otro; por consiguiente, se puede atribuir que el empaque de la culata del motor de combustión CAT 3054C se encuentra dañado, mal apretado, mal asentado o mal seleccionado; produciendo así fugas de compresión las cuales afectan al rendimiento total del equipo.

3.3 Diseño del sistema de monitoreo en tiempo real

3.3.1 Parámetros de diseño del sistema

El dispositivo de monitoreo de temperatura para el motor de combustión en el rodillo compactador CS533E perteneciente al GAD Provincial de Napo, centra su funcionamiento en el desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real, por tal motivo se debe considerar aspectos de relevancia previo a ejecutar su implementación, mismos que se pueden observar en el gráfico 1-3.



Gráfico 1-3: Parámetros de diseño del sistema de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.3.1.1 *Tolerancia a fallos*

Está directamente relacionada con el área donde va a operar el sistema de monitoreo, así como los posibles elementos causales de un fallo en la operación. En consecuencia, para el caso de aplicación se debe considerar que el rodillo compactador realiza trabajos en áreas lejanas y con variables de operación ambientales como son temperatura y humedad elevadas.

3.3.1.2 *Medios de transmisión*

Se refiere con el tipo de instalación siendo alámbrica o inalámbrica. Para el presente caso se considera el empleo de ambos tipos ya que por la facilidad de operación y montaje acorde al caso conforman un excelente medio de transmisión.

3.3.1.3 *Escalabilidad*

Mide la capacidad de adaptación y respuesta que tendrá el sistema con respecto a su rendimiento a medida que se incremente el número de variables a monitorear desde su implementación; si bien inicialmente se efectúa el monitoreo de temperatura y revoluciones del motor, existen variables que pueden ser consideradas en trabajos futuros a los que el sistema deberá ser capaz de añadirse sin afectaciones en su funcionamiento.

3.3.1.4 *Capacidad de procesamiento del hardware*

Se enfoca en el tiempo y número de tareas simultáneas que puede ejecutar la tarjeta de adquisición de datos o micro controlador empleado dentro del sistema, para gestionar la información adquirida. Para la elección de la tarjeta se considera la compatibilidad con los sensores a utilizar para la medición de temperatura, revoluciones, así como el medio de transmisión a emplearse.

3.3.1.5 *Consumo de energía*

Se relaciona con la energía requerida por los componentes eléctricos y electrónicos, así como la potencia necesaria para la transmisión de la información. En la implementación, se busca tener un diseño con un consumo bajo de energía a fin de garantizar un amplio periodo de funcionamiento autónomo mediante el empleo de una batería.

3.3.2 *Características a considerar en el diseño del sistema*

3.3.2.1 *Ambiente de trabajo*

En el equipo en el cual se propone implementar el dispositivo de monitoreo, se debe tener presente que el mismo opera en diversos lugares dentro de la provincia de Napo, presentando así condiciones ambientales variables a las que el dispositivo deberá adaptarse y garantizar un funcionamiento correcto; en el proceso de pruebas de funcionamiento se evalúa su desempeño.

3.3.2.2 *Enlace inalámbrico*

Para la transmisión de datos entre el dispositivo de monitoreo y la estación base ubicada en las oficinas de la Sub Dirección de Mantenimiento, Transporte y Maquinaria del GAD Provincial de Napo, hay que considerar que deben ser instalados dentro del área de operación, la incidencia de obstáculos como la espesa vegetación de la provincia puede incidir cierta interferencia. Además, la información debe transmitirse mediante una conexión activa entre internet y la plataforma de visualización seleccionada, durante un determinado número de muestras. Sin embargo, de producirse la falta de esta conexión por las limitaciones de conectividad, se contará como segunda alternativa, con un sistema de almacenamiento mediante una memoria extraíble; mismo que respalde continuamente la información.

3.3.2.3 Número de muestras para el análisis de datos

Para el análisis de la información recolectada por el sistema de monitoreo, es necesario determinar el número de muestras a tomar durante el periodo de operación de la maquinaria a fin de obtener la suficiente cantidad de datos. Para la ejecución de este proceso se hace referencia a las ecuaciones 3 y 4; enunciadas por el autor (Guaña, 2016, p.137), mismas que expresan:

Ecuación para determinar la cantidad de muestras que se van a tomar por hora.

$$Mh = \frac{Th(\text{min})}{Td(\text{min})} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

Mh = número de muestras tomadas por hora (Unidades)

Td = tiempo de dormido profundo (Tiempo)

Th = minutos en una hora – 60 minutos (Tiempo)

Ecuación para determinar la cantidad de muestras totales que va a tomar el dispositivo.

$$MT = Mh * H(t) * D \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

MT = total de muestras tomadas por el dispositivo (Unidades)

Mh = muestras tomadas por hora (Unidades)

H = horas operativas analizadas en un día (Tiempo)

D = días analizados (Unidades)

Debido a que el sistema a implementarse cuenta con dos alternativas de almacenamiento de información, en primer lugar, se evalúa la cantidad de datos que se transmiten a la plataforma IOT, considerando que en este tipo de plataformas es primordial enviar solo la información indispensable. Por este motivo, el dato que se envía será el resultado del promedio de la serie de lecturas tomadas en tiempo real cada cierto intervalo de tiempo.

A continuación, se detalla el número de muestras a enviar considerando que se hace un monitoreo y seguimiento a la maquinaria durante una semana con una duración de 8 horas de trabajo.

$$\mathbf{Mh} = \frac{\text{Th}(\text{min})}{\text{Td}(\text{min})}$$

$$\mathbf{Mh} = \frac{60(\text{min})}{2(\text{min})}$$

$$\mathbf{Mh} = 30 \text{ Muestras en una hora}$$

$$\mathbf{MT} = \text{Mh} * \text{H}(\text{t}) * \text{D}$$

$$\mathbf{MT} = 30(\text{U}) * 8(\text{t}) * 7$$

$$\mathbf{MT} = 1680 \text{ Muestras totales}$$

Para la toma y recolección de datos, se configura al dispositivo con la finalidad de que el mismo entre en un proceso de dormido entre el lapso del periodo de lectura y el nuevo envío de información, permitiendo de esta manera en lo posible tener las 1680 muestras totales, ya que la cobertura y velocidad de red en la zona donde va a operar el dispositivo es limitada y puede ocasionar que los datos no sean enviados en su totalidad a la plataforma de visualización.

Sin embargo, los datos que no puedan ser enviados, son respaldados en el segundo sistema de almacenamiento; ya que cuenta con una tarjeta de memoria extraíble donde se almacenan los ficheros con toda la información que se registre a lo largo de la jornada de trabajo. Debido a que la cantidad de información no consume mucho espacio de almacenamiento, para el caso de este sistema se considera duplicar la cantidad de muestras a almacenar:

$$\mathbf{Mh} = \frac{\text{Th}(\text{min})}{\text{Td}(\text{min})}$$

$$\mathbf{Mh} = \frac{60(\text{min})}{1(\text{min})}$$

$$\mathbf{Mh} = 60 \text{ Muestras en una hora}$$

$$\mathbf{MT} = \text{Mh} * \text{H}(\text{t}) * \text{D}$$

$$\mathbf{MT} = 60(\text{U}) * 8(\text{t}) * 7$$

$$\mathbf{MT} = 3360 \text{ Muestras totales}$$

3.3.2.4 *Fuente de energía*

En función al diseño del sistema de monitoreo y a los requerimientos del mismo, la fuente de energía cumple un papel determinante; en consecuencia, se propone como primera opción el empleo de una fuente de alimentación externa que suministre la energía necesaria para el correcto funcionamiento del sistema; de esta manera se desarrolla un dispositivo de monitoreo completamente no invasivo con los demás sistemas de consumo eléctricos y electrónicos propios del rodillo compactador.

Sin embargo, acorde a las necesidades se propone como segunda opción el empleo de la misma batería o acumulador de energía del rodillo compactador para alimentar al sistema, ya que ofrece la tensión correcta para el funcionamiento, así como un sistema de carga integrado cada vez que entra en operación

3.3.3 *Requerimientos de desempeño del sistema*

El sistema de monitoreo a implementarse debe cumplir con los siguientes parámetros de funcionamiento:

- El sistema de monitoreo mediante el empleo de un dispositivo remoto, debe ser capaz de transmitir, procesar y registrar la información, así como de recibir los datos en una estación remota para su correcto monitoreo en tiempo real.
- Los datos recolectados con ayuda de los sensores y la tarjeta de adquisición de datos deben poder visualizarse en el equipo donde se instalará el dispositivo, así como en una plataforma de visualización IOT.
- En lo referente a la funcionalidad por el área de operación del sistema, debe ser capaz de almacenar la información registrada cuando no exista la posibilidad de establecer comunicación mediante internet, por problemas de cobertura inalámbrica.
- Adaptabilidad y posibilidad de expansión para ejecutar el monitoreo de algún parámetro adicional que pueda ayudar al correcto control y monitoreo completo para el rodillo compactador.

3.4 *Diseño del dispositivo de monitoreo para el motor de combustión*

3.4.1 *Diagrama de procesos del dispositivo de monitoreo*

El diseño del dispositivo de monitoreo a implementarse, se detalla en las etapas descritas en el diagrama de procesos que se indica en el gráfico 2-3.



Gráfico 2-3: Diagrama de procesos del dispositivo de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.4.1.1 *Análisis de equipos e instrumentación para el sistema de monitoreo*

En esta etapa con la fundamentación teórica recopilada, se realiza un análisis de los equipos a emplear en la etapa de diseño del dispositivo para su posterior implementación, buscando las características más relevantes que se ajusten a los requerimientos basado en fuentes confiables como son DATASHEET, papers e investigaciones, garantizando así un correcto desempeño y operación del sistema de monitoreo.

3.4.1.2 *Selección de equipos hardware y software del dispositivo*

Se realiza la determinación y selección de todos los componentes del sistema y dispositivo a implementar, teniendo presente los requerimientos del usuario y criterios del diseñador en las especificaciones técnicas que cumple el dispositivo, basado en el análisis funcional del mismo. Además de características de vital importancia como: compatibilidad, funcionalidad, conexión y escalabilidad.

3.4.1.3 *Esquema de conexión del dispositivo*

Se efectúa el esquema de conexión de todos los componentes del sistema mediante el empleo de un software especializado, mismo que será de apoyo para establecer los pines de conexión adecuados para que el dispositivo tenga una correcta funcionalidad.

3.4.1.4 *Programación del sistema y diseño página IOT*

Determinada la conexión de todos los equipos se procede a efectuar la programación de cada una de las etapas del sistema de monitoreo, así como del diseño de la interfaz gráfica de la página IOT y pantalla HMI donde se van a visualizar los datos registrados por el dispositivo.

3.4.1.5 *Construcción del dispositivo*

Culminada la programación y una vez verificada la funcionalidad del dispositivo, en esta etapa partiendo de esquemas desarrollados en un programa de diseño electrónico se construye la placa electrónica. También se construye el contenedor del sistema que garantice su integridad y operatividad.

3.4.1.6 *Implementación y pruebas de funcionamiento*

Finalmente, con el dispositivo de monitoreo materializado, se procede con la implementación del mismo dentro del habitáculo del rodillo compactador, así como los respectivos sensores ubicados en el motor de combustión. Además, se desarrolla la implementación del sistema de monitoreo remoto para el personal encargado de la Sub Dirección de Mantenimiento, Transporte y Maquinaria del GAD Provincial de Napo. De esta manera entrando a la etapa pruebas donde se calibra el sistema en condiciones reales de operación.

3.4.2 *Diagrama de bloques del dispositivo de monitoreo*

Para poder tener un enfoque referente al diseño del dispositivo, se procede a detallar los componentes que van a conformarlo, teniendo así una mejor comprensión del mismo. En el gráfico 3-3 se muestra el diagrama de bloques del hardware del dispositivo de monitoreo.

Al momento de ejecutar el diseño se toma como elemento central a la tarjeta de adquisición de datos, debido a que es la encargada de centralizar las operaciones a ejecutarse; por ello, debe poseer compatibilidad con todos los elementos que conforman el dispositivo de monitoreo.

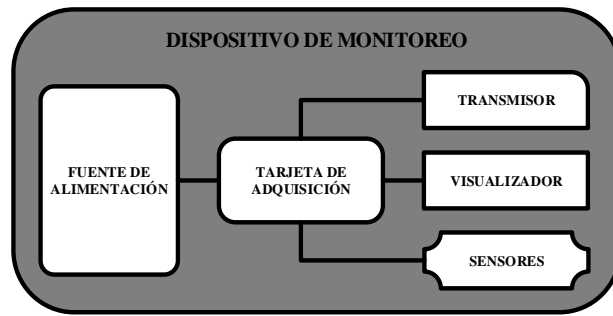


Gráfico 3-3: Diagrama de bloques hardware del dispositivo de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.4.3 Diagrama de flujo del dispositivo de monitoreo.

En el gráfico 4-3, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al funcionamiento del dispositivo a implementar en el rodillo compactador. Se detalla la secuencia lógica de ejecución de los procesos durante la adquisición de datos de temperatura y revoluciones del motor.



Gráfico 4-3: Diagrama de flujo del dispositivo de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.4.4 Alcance del dispositivo de monitoreo

El diseño del dispositivo de monitoreo está enfocado al sector industrial, específicamente al mantenimiento de maquinaria pesada tomando como referencia el rodillo compactador CS533E perteneciente al GAD Provincial de Napo; dicha maquinaria ha ido presentando una serie de inconvenientes en su funcionamiento, debido a que no cuentan con dispositivos que monitoreen sus condiciones de trabajo, resultando así en daños considerables mismos que ocasionan que los equipos vayan perdiendo poco a poco la función requerida. Para el diseño e implementación del dispositivo se consideran los componentes hardware y software, ya que permiten establecer un correcto sistema de monitoreo en tiempo real. Además, se determina la ubicación estratégica del dispositivo en conjunto con los sensores, variables a monitorear, así como la visualización de los datos que se generan y transmiten en la red.

3.5 Análisis de equipos a utilizar en el diseño del dispositivo

Se realiza una comparativa entre las tecnologías existentes para la correcta selección de los componentes requeridos para los procesos de adquisición, procesamiento y visualización de los datos de las variables a monitorear con el dispositivo.

3.5.1 Sensores para la medición de factores operacionales

Actualmente en el mercado existen una amplia gama de sensores, mismos que permiten adquirir los parámetros de las condiciones operacionales de los sistemas que conforman un determinado equipo, estos dispositivos en general son de tipo electrónico y generan una serie de señales pulsantes que requieren de un acondicionamiento para una correcta lectura e interpretación. Los parámetros de medición con los que se trabaja son temperatura y revoluciones de funcionamiento en el motor de combustión que se encuentra dentro del rodillo compactador. Por lo mencionado, se procede a realizar una descripción de los diferentes sensores, usos y las aplicaciones que pueden generar acorde a su modelo y funcionalidad para poder medir las variables: Temperatura y Revoluciones por minuto.

3.5.1.1 Sensores de temperatura

Para la elección del sensor de temperatura se realiza la comparación de los equipos que tengan características acordes a las necesidades del trabajo, como son buena precisión, rangos altos de medición, un mayor número de muestras en función del tiempo. Cabe destacar que el sensor a emplearse está encargado de realizar la medición de la temperatura de un objeto y mas no de la

variable ambiental temperatura. Si bien estos pueden llegar a generar confusión para el presente caso, se analizan sensores que permitan cumplir con la primera opción.

Tabla 3-3: Características de sensores de temperatura

Características	Termopar	RTD	Termistor	Láser MLX90614
Voltaje de operación	500 VDC	500 VDC	500 VDC	2,6 a 3,6 VDC
Rango	-450 °F + 4200 °F	-400 °F + 1200 °F	-100 °F + 500 °F	-70 °C + 380 °C
Precisión	Alta	Alta	Media	+/- 0,5 °C
Resolución	-	-	-	8 bits
Tiempo de respuesta	Medio a rápido	Medio	Medio a rápido	Menor a 30 ms
Muestras/S	-	-	-	0,5
Tipo de sensor	Analógico	Analógico	Analógico	Digital
Acondicionador	Sí	Sí	Sí	No

Fuente: (DATASHEET).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Por lo descrito en la tabla 3-3 se analiza como opciones para el dispositivo al termopar, termistor y al sensor laser; por ser los sensores que presentan las mejores prestaciones en comparativa con los demás tipos. Se prioriza el termopar y termistor como dispositivos comúnmente empleados para monitorear la temperatura en los motores debido a su fácil instalación y robustez.

En la figura 4-3, se presenta un termistor automotriz enfocado en la medición de la temperatura del motor mismo que se comunica con el computador del vehículo e interpreta su señal, a su vez se muestra un termopar cuya robustez y rangos de medida lo hacen una opción viable para la aplicación por su compatibilidad con micro controladores y la posibilidad de adecuarse al objeto a censar para efectuar una medición directa no invasiva; en ambos casos es necesario el empleo de un acondicionador que permita comunicarse con la tarjeta de adquisición.



Figura 4-3: Termistor automotriz y termopar

Fuente: (Motoryracing, 2020).

El sensor laser además de mejorar las prestaciones, realiza la medición sin la necesidad de establecer contacto directo con el objeto a censar, sin embargo, por sus características de

funcionamiento lo hace susceptible al polvo y humedad provocando una variación en su medida. Existe una amplia gama de este tipo de sensores, en el mercado destaca el sensor láser MLX90614, el cual se indica en la figura 5-3; mismo que es compatible con la totalidad de tarjetas y micro controladores comerciales ya que dispone de comunicación con protocolo I2C. Además, posee un voltaje de funcionamiento estándar, un consumo mínimo de energía, un rango de medición de hasta 380 °C y un diseño compacto.

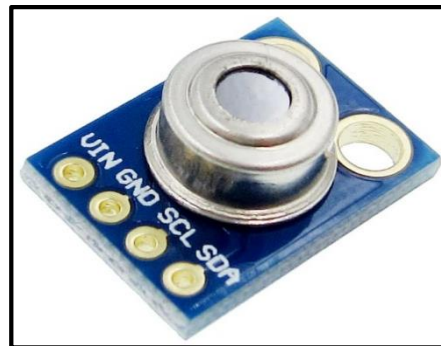


Figura 5-3: Sensor MLX90614

Fuente: (Uelectronics, 2020).

3.5.1.2 Sensores de revoluciones

Los sensores de revoluciones están diseñados para detectar el cambio de pulsaciones provenientes del efecto hall, generados al pasar por una serie de dientes metálicos. Estos tipos de sensores son muy usados en el campo automotriz para detectar la velocidad o revoluciones del eje del motor, posicionamiento de cigüeñales entre otros. La elección de este sensor se basa en la necesidad de establecer una relación entre la temperatura y revoluciones del motor durante su funcionamiento. Por tal motivo se realiza una comparativa entre los sensores que puedan medir las revoluciones del motor de combustión, como se puede visualizar en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Características de sensores de revoluciones

Características	Encoder	Sensor Inductivo
Voltaje de operación	5 – 24 VDC	12 - 24 VDC
Corriente de alimentación	< 100 mA	Baja
Rango de medida	100 – 10000 ppm	-
Tipo de sensor	Digital	Analógico
Acondicionador	No	Sí

Fuente: (DATASHEET).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

En base a lo descrito, en el proceso de diseño se tiene presente el uso del sensor inductivo efecto hall para poder determinar las revoluciones del eje del motor, debido a su grado de protección y

velocidad de respuesta mediante el empleo de un acondicionamiento sus lecturas pueden ser registradas por cualquier controlador. Además, es un dispositivo no invasivo que no causa interferencias con los sistemas propios de la maquina compactadora. En la figura 6-3, se presenta un sensor inductivo compatible con la totalidad de micro controladores.



Figura 6-3: Sensor inductivo efecto Hall

Fuente: (Suconel, 2018).

El empleo de un sensor encoder queda bajo criterio durante las pruebas de funcionamiento a fin de determinar si existe las condiciones adecuadas para su operación ya que este sensor no cuenta con un grado de protección y queda expuesto a agentes que interfieran en su funcionamiento. La figura 7-3 muestra un sensor encoder para determinar revoluciones.

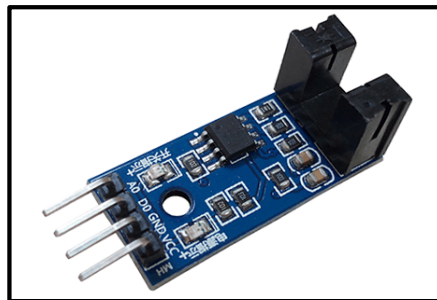


Figura 7-3: Sensor Encoder

Fuente: (Refracciomex, 2019).

3.5.2 Tarjetas de adquisición y procesamiento de datos

Son los dispositivos que se encargan de gestionar la información, procesarla y almacenarla; de acuerdo a su uso en ocasiones actúa como un enlace para adquirir las señales físicas y transformarlas en información que puede interpretar el usuario dependiendo de la necesidad aplicativa. En el caso de estudio, el cual se ejecuta en el rodillo compactador se tomará en cuenta dispositivos que no ocupen un área extensa y que a la vez posean procesadores que permitan interactuar con las variables provenientes de los sensores.

En el mercado existen varios equipos que pueden realizar la adquisición y procesamiento de datos, entre ellos se tiene dispositivos como Arduino, Raspberry Pi o la tarjeta NI DAQ de la compañía National Instruments, así se indica en la figura 8-3. Cada uno con especificaciones distintas como se puede observar en la tabla 5-3.

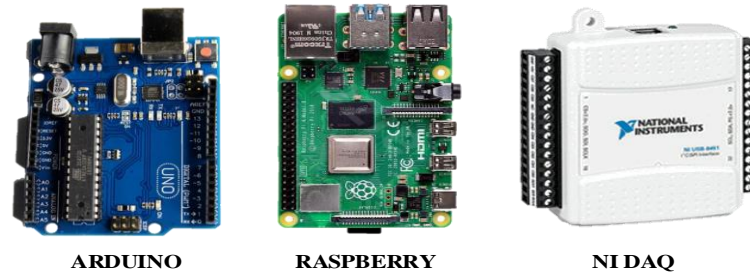


Figura 8-3: Tarjetas de adquisición de datos

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Tabla 5-3: Especificaciones tarjetas de adquisición y procesamiento de datos

Especificaciones	Arduino	Raspberry	NI DAQ
Entradas analógicas	8	-	8
Salidas analógicas	5	-	2
E/S digitales	14	40 GPIO	13
Software	Libre	Libre	Pagado
Hardware	Libre	Privado	Privado
Entorno de programación	IDE	Phyton	Labview
Microcontrolador	AMEL 328	ARM CORTEX	USB CONTROLLER
RAM	2 Kb	1, 2, 4 GB	NA
Almacenamiento	EEPROM 1 Kb	MicroSD	EEPROM 1 KB
Wireless	No	802.11 AC	No
Voltaje de alimentación	5-12 VDC	5 V	5 V
Corriente de consumo	19 mA	500 mA	200 mA
Dimensiones	4,5x1,8 mm	85x53 mm	76,09x81,81 mm
Tipo de alimentación	Batería/USB	Cargador	USB
Frecuencia de trabajo	16 MHz	2 GHz	15 MHz

Fuente: (DATASHEET).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Con base a la descripción de los equipos y a los requerimientos para efectuar la adquisición de datos se prioriza el uso de Arduino o tarjetas de software libre con características similares, ya que presentan autonomía ante fallos de energía y no requiere de terceros para reiniciar el programa, en comparación con los equipos Raspberry Pi que son considerados como minicomputadores y requieren de una persona para poder ser encendida; en el caso de la tarjeta NI DAQ el no contar con memoria ROM para almacenar la programación requiere de un equipo computador complementario para cumplir con sus funciones. La placa Arduino tiene un bajo

consumo de energía lo que facilita la elección de la fuente de energía, misma que suministre el voltaje para operar el dispositivo, al ser un equipo de bajo consumo a precio aceptable además que sus dimensiones son pequeñas lo convierten en el elemento propicio para ser el encargado de procesar información.

Sus entradas y salidas digitales son suficientes para el número de sensores a emplear en el dispositivo de monitoreo, dejando como posibilidad la escalabilidad de aumentar el número de sensores para monitorear alguna otra variable de la maquinaria. El poseer tanto hardware y software libre permite una programación más accesible y fácil de realizar, por la gran compatibilidad que presenta con una serie de elementos complementarios para el trabajo.

3.5.3 Equipos de transmisión

Son los dispositivos encargados de enviar la información a la red internet mediante una infraestructura establecida. Debido a que los datos adquiridos por los sensores del dispositivo deben ser visualizados en una plataforma IOT, se presentan las alternativas para realizar el enlace, figura 9-3. Además, en la tabla 6-3, se muestran las características a ser analizadas.



Figura 9-3: Equipos para transmisión de la información

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Tabla 6-3: Especificaciones equipos de transmisión a la Red

Especificaciones	SIM800L	Shield W5100	ESP8266
Tipo de comunicación	GSM-GPRS	LAN	WIFI
Consumo de corriente	0,7 – 500 mA	200 – 450 mA	0,5 – 170 mA
Bandas de frecuencia	850/900/1800/1900	2,4 GHz	2,4 GHz
Voltaje de operación	3,5 – 5 VDC	5 VDC	3 – 3,6 VDC
Protocolos	TCP/IP en Chip, PAP	TCP/IP/UDP	TCP/UDP/HTTP/HTTPS/FTP
Velocidad transmisión	85,6 Kbps	10/100 Mbps	300 Kbps

Fuente: (DATASHEET).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Debido a que el área de operación de la maquinaria cuenta con limitantes en cobertura de internet tanto en forma cableada o inalámbrica, no se considera el empleo de la Shield ethernet W5100, ya que si bien presenta la mayor velocidad de transmisión este requiere de una conexión cableada

hacia el modem proveedor de internet. La opción del ESP8266 queda descartada por motivos similares ya que no existe cobertura de red inalámbrica en todos los lugares donde opera la máquina compactadora.

Por tal motivo se destaca el empleo del módulo SIM800L, ya que el tipo de comunicación GPRS con el que trabaja basa su funcionamiento en la red de telefonía celular, misma que cuenta con la mayor cobertura acorde a la operadora telefónica. Además, que las bandas de trabajo siendo la red celular 2G y 3G permiten la transmisión de los datos a la plataforma mediante el empleo y utilización de datos móviles.

3.5.3.1 Conexión a la red móvil

Debido a que el módulo SIM800L requiere la conexión continua a la red móvil celular GSM y GPRS para poder transmitir los datos, se hace un análisis de las empresas que operan en Ecuador y ofrecen el servicio de telefonía celular, teniendo la presencia de cuatro operadoras: Claro (CONECEL), Movistar y Tuenti (OTECCEL) y CNT E.P.

El organismo encargado de regular la operación y asignar el espectro de frecuencia en el que operan las compañías es ARCOTEL, en la tabla 7-3 se presentan las bandas de frecuencia de cada compañía telefónica.

Tabla 7-3: Bandas de frecuencia de las operadoras móviles en Ecuador

Operadora Móvil	Tecnología y espectro
Claro (CONECEL)	850 MHz - 1900 MHz GSM 850 MHz – 1900 MHz UMTE/HSPA 1700/2100 MHz LTE
Movistar y Tuenti (OTECCEL)	850 MHz - 1900 MHz GSM 850 MHz – 1900 MHz UMTE/HSPA 1900 MHz LTE
CNT E.P	1900 MHz GSM 1900 MHz UMTS/HSPA 1700/2100 MHz LTE

Fuente: (DATASHEET).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

El módulo SIM800L es un dispositivo de banda cuádruple o quad-band que trabaja en las frecuencias de 850/900/1800/1900 MHz lo que le permite acceder a las redes celulares en la mayoría de zonas del mundo. Para la conexión a internet hace uso de la tecnología de las redes 2G GPRS, misma que permite la conexión en lugares alejados como zonas rurales o de montaña. Para el análisis de la operadora a emplear se analiza la cobertura de la red 2G de las compañías telefónicas en el sector donde trabaja mayormente la maquinaria, siendo la provincia de Napo cantón Archidona.

En la figura 10-3 se puede apreciar la cobertura que tiene la compañía Claro en el sector de análisis, destacando un amplio rango de cobertura e intensidad alta de señal en todo el cantón y sus alrededores.

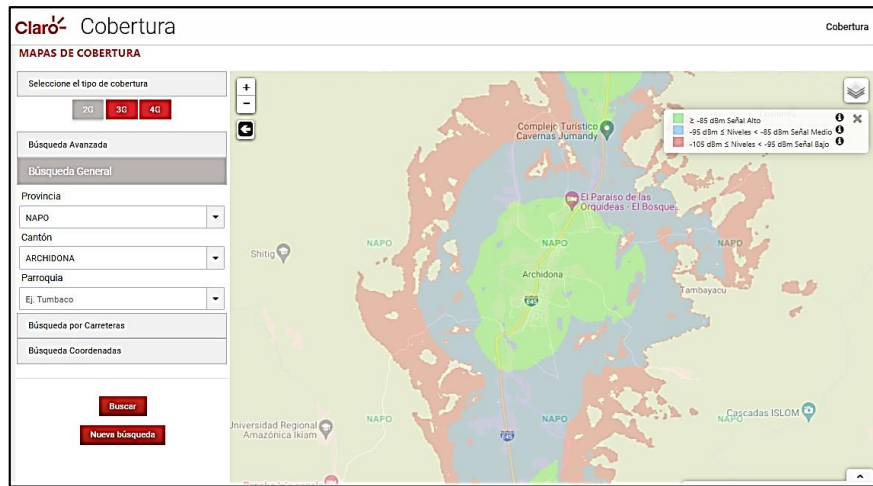


Figura 10-3: Cobertura red 2G red móvil Claro en la provincia Napo

Fuente: (Claro, 2021).

La red celular Movistar también posee una amplia cobertura en la zona, sin embargo, en el área de interés posee una intensidad de señal media como se aprecia en la figura 11-3.

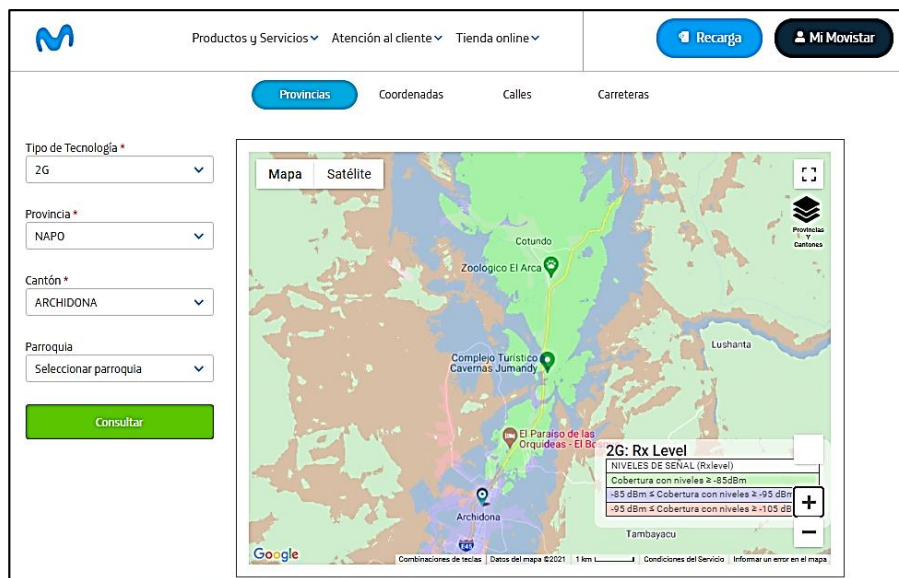


Figura 11-3: Cobertura red 2G red móvil Movistar en la provincia Napo

Fuente: (Claro, 2021).

En lo referente a la red celular Tuenti se presenta un caso similar a la operadora Movistar, debido a que comparten infraestructura de red. Por tal motivo el mapa de cobertura es similar entre estas operadoras como se puede observar en la figura 12-3.

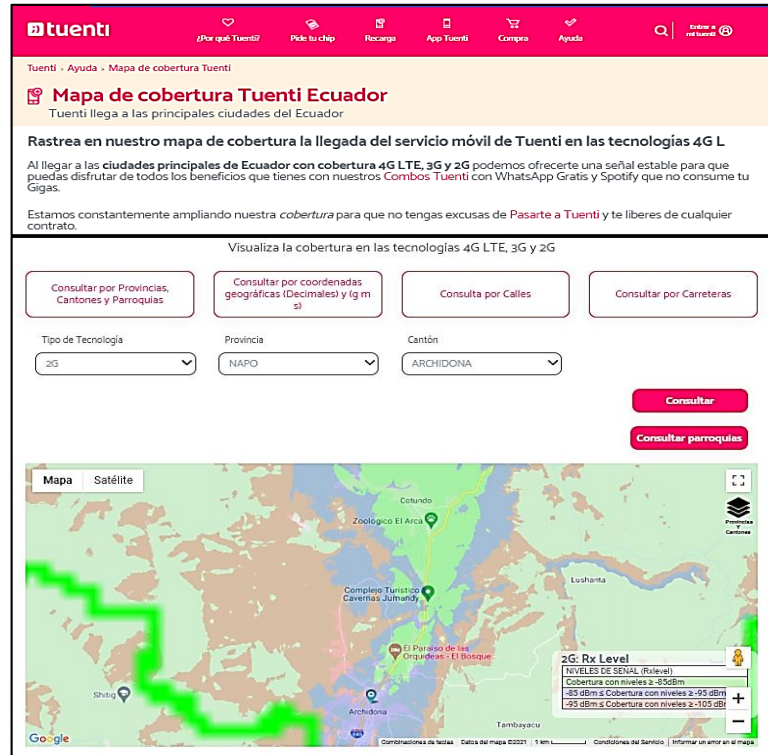


Figura 12-3: Cobertura red 2G red móvil Tuenti en la provincia Napo

Fuente: (Tuenti, 2021).

Finalmente, en la figura 13-3 se presenta la cobertura de la red celular CNT misma que presenta una extensa cobertura y niveles altos de intensidad de señal en la zona céntrica del cantón.

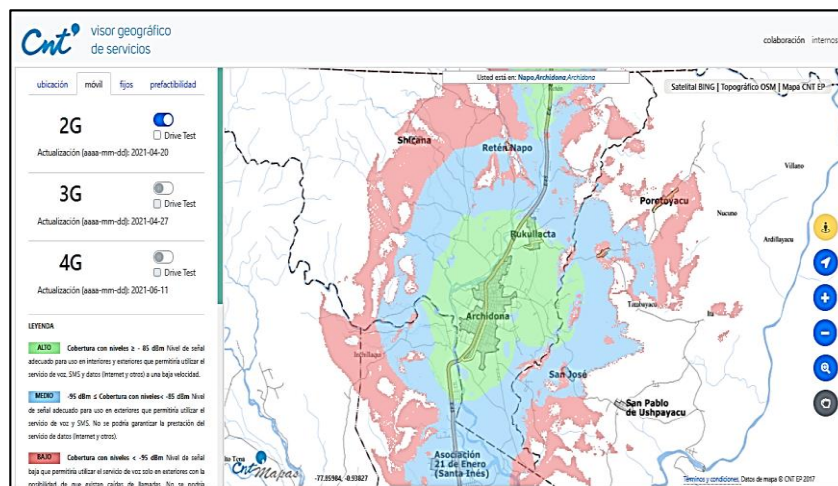


Figura 13-3: Cobertura red 2G red móvil CNT en la provincia Napo

Fuente: (CNT, 2021).

Por lo descrito para el desarrollo del dispositivo se opta por utilizar la red telefónica móvil Claro, ya que es la operadora que cuenta con la mayor cobertura e intensidad de señal en las zonas de trabajo, dato que es corroborado por los operadores de la maquinaria.

3.5.4 Dispositivos de visualización

Son dispositivos comúnmente conocidos como pantallas que permiten la visualización de la información, en el mercado existe una amplia gama de pantallas comúnmente empleadas en sistemas electrónicos de monitoreo. Ya que los datos adquiridos por la tarjeta controladora a través de los sensores deben visualizarse en la maquinaria donde se instala el dispositivo, en la figura 14-3 se presentan las opciones disponibles.



Figura 14-3: Dispositivos para visualización de la información

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

La tabla 8-3 muestra una comparativa de las prestaciones de las pantallas LCD, OLED y HMI Nextion compatibles con Arduino, características que pueden ser evidenciadas en la figura 14-3.

Tabla 8-3: Especificaciones equipos de transmisión a la Red.

Especificaciones	Pantalla LCD	Pantalla OLED	Pantalla HMI Nextion
Tamaño	Desde 80 x 36 mm	0.96''	2,8''; 3,2'' ; 3,5'' ; 4,3'' , 7''
Tipo de comunicación	I2C	I2C / SPI	Serial
Voltaje de operación	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Consumo de corriente	25 mA	16 mA	85 mA
Pantalla	Monocromática	Monocromática	TFT con panel táctil
Resolución	16x2, 16x4, 20x4	128x64	Desde 320x240

Fuente: (DATASHEET).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

En referencia a la información detallada para el diseño y desarrollo del dispositivo se descarta el empleo de la pantalla LCD debido a que requiere un número considerable de pines para su conexión con el micro controlador, así como su pantalla monocromática está limitada a la visualización de 16 a 32 caracteres por línea dependiendo el modelo.

De igual manera la pantalla OLED compatible con Arduino requiere de al menos cuatro pines de conexión para la interconectividad I2C y seis pines para el protocolo SPI, su tamaño es menor a una pulgada y de igual manera que la LCD es monocromática; su área de visualización permite una limitante de caracteres para mostrar por pantalla programada.

Finalmente se destaca el empleo de la pantalla HMI de la compañía Nextion debido a que cuenta con una amplia gama de tamaños y requiere de un mínimo de dos pines de conexión para la comunicación serial con la tarjeta controladora Arduino, la pantalla presenta la más alta resolución entre sus competidores permitiendo el desarrollo de una interfaz gráfica moderna mediante el empleo de objetos como botones o indicadores que permitan simular el tablero de control y supervisión de la maquinaria. A pesar que presenta el mayor consumo de corriente este detalle se justifica por las prestaciones que aporta al desarrollo del trabajo.

3.5.5 Fuente de energía

Es el componente encargado de proporcionar la tensión nominal y corriente necesaria para el funcionamiento del dispositivo. En el mercado existe una amplia gama de baterías que pueden ser opción de empleo para la implementación del presente trabajo. En la tabla 9-3, se presentan las características de las baterías acorde a sus componentes.

Tabla 9-3: Características de las baterías según sus componentes

Características	Plomo	NiCd	Ion-Litio	Li-Po
Densidad energía Wh/Kg	30-50	40-80	120-200	130-150
Tensión nominal por celda	2 V	1,2 V	3,6 V	3,7 V
Rendimiento de recarga	60-70 %	70 %	98 %	90 %
Esperanza de vida	4 – 8 años	15 años	10-15 años	7-10 años
Auto descarga mensual %	5-10 %	10-15 %	1-2 %	1-2%

Fuente: (DATASHEET).

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

En la actualidad por sus prestaciones en el desarrollo de sistemas de adquisición de datos, se ha generalizado el empleo de baterías de Ion-Litio y Li-Po, por poseer las mejores características del mercado. Además, cuentan con una alta capacidad de corriente y variedad en tamaños; sin embargo, tienen un costo considerable en comparación a sus competidores. Comúnmente requieren de sistemas de carga externo o mediante el empleo de paneles solares en lugares donde no existe suministro eléctrico. En la figura 15-3 se indica una batería de tipo Li-Po.



Figura 15-3: Batería Li-Po

Fuente: (AvElectronics, 2017).

Para el diseño del dispositivo de monitoreo, se considera el empleo del banco de baterías presentes en la máquina compactadora, ya que cuentan con el voltaje y corriente suficiente para alimentar al sistema. También se tiene presente el empleo de un inversor de corriente proveniente de las baterías, cuya función es convertir el voltaje directo en alterno 110 Voltios mismos que pueden alimentar un cargador de corriente continua. La figura 16-3 muestra el conjunto inversor de corriente con batería de vehículo de 12 voltios.



Figura 16-3: Batería de 12 V con inversor

Fuente: (AvElectronics, 2017).

Finalmente se destaca que la selección de este componente queda limitado a la corriente de consumo total que tenga el dispositivo una vez seleccionados todos los elementos componentes, así como la facilidad y espacio para la instalación.

3.6 Selección de equipos a utilizar en el diseño del dispositivo

Para el desarrollo del dispositivo de monitoreo, se aplican criterios y consideraciones de ingeniería recurrente, que no es más que una forma de aplicar el diseño apoyados en diferentes

puntos de vista, desde el ingenieril hasta los requerimientos del usuario. De esta manera se pueden abarcar todos los pasos necesarios para la correcta elaboración del dispositivo, desde la selección de equipos, hasta su construcción e implementación.

Como primer punto procede convertir los requerimientos del usuario en características técnicas determinantes del dispositivo.

3.6.1 *Requerimientos del usuario*

Determina la necesidad y deseo del usuario para el producto final, mismas que son obtenidas a través del personal que opera la maquinaria, así como de la subdirección de mantenimiento, transporte y maquinaria del GAD Provincial de Napo que las supervisa. Estos requerimientos se complementan con las especificaciones previamente detalladas para un sistema de monitoreo. Dentro de estas características se toman en cuenta no solo las expresadas por el cliente sino también ciertas funciones complementarias que den una completa satisfacción a los usuarios. Para el presente caso se consideran los siguientes:

- Mantener constante el monitoreo de las variables.
- Fácil montaje y desmontaje del dispositivo.
- Fácil aplicación y ejecución de Mantenimiento.
- Trabajo continuo y eficaz durante los periodos operativos de la maquinaria.
- Funcionamiento no invasivo con los sistemas de la maquinaria.
- Bajo costo, buen acabado y larga vida útil del dispositivo.
- Fácil de operar y que no afecte en la seguridad para el operario.

3.6.2 *Criterios del diseñador*

Se procede a traducir en especificaciones técnicas los requerimientos por parte del usuario hacia el dispositivo de monitoreo. Para cada requerimiento es necesario tener por lo menos una especificación técnica, de esta manera se consigue englobar todo el ciclo de vida del producto. Para el dispositivo las especificaciones serán las siguientes:

- Temperatura del ambiente de trabajo.
- Temperatura máxima de monitoreo.
- Revoluciones por minuto máxima de monitoreo.
- Sistema de control.
- Medio de transmisión y visualización de información.
- Resistencia a la corrosión
- Energía eléctrica.

- Costos.
- Seguridad operacional.

3.6.2.1 Especificaciones técnicas que cumple el dispositivo de monitoreo

Una vez analizados los requerimientos de diseño, se obtienen las especificaciones técnicas que debe cumplir el dispositivo de monitoreo para satisfacer las necesidades del usuario, las cuales sirven de base para la adquisición de los componentes del dispositivo. Algunos de los parámetros tomados en cuenta en la tabla 10-3 se basan en información referente al manual de operación de la maquinaria. El motor de combustión del rodillo compactador trabaja en condiciones idóneas de temperatura de 90 °C a 120 °C, llegando a 2400 RPM.

Tabla 10-3: Especificaciones técnicas a cumplir por el dispositivo de monitoreo

Parámetro	Valor de referencia
Temperatura en ambiente de trabajo	40 °C
Temperatura máxima de monitoreo por el dispositivo	120 °C
Revoluciones por minutos máxima a monitorear	2400 RPM
Tipo de control	Control con microcontrolador
Medio de transmisión y visualización de información	GPRS/GSM
Medio de visualización de información	Pantalla y Página web IOT
Resistente a la corrosión	Carcaza en acero inoxidable
Energía eléctrica	12 VDC
Seguridad operacional	Diseño ergonómico
Mantenimiento	Mantenimiento fácil y eficiente

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.6.3 Análisis funcional del sistema de monitoreo

Posterior a la obtención de las especificaciones técnicas que se requieren, el funcionamiento general del sistema se visualiza en la figura 17-3.

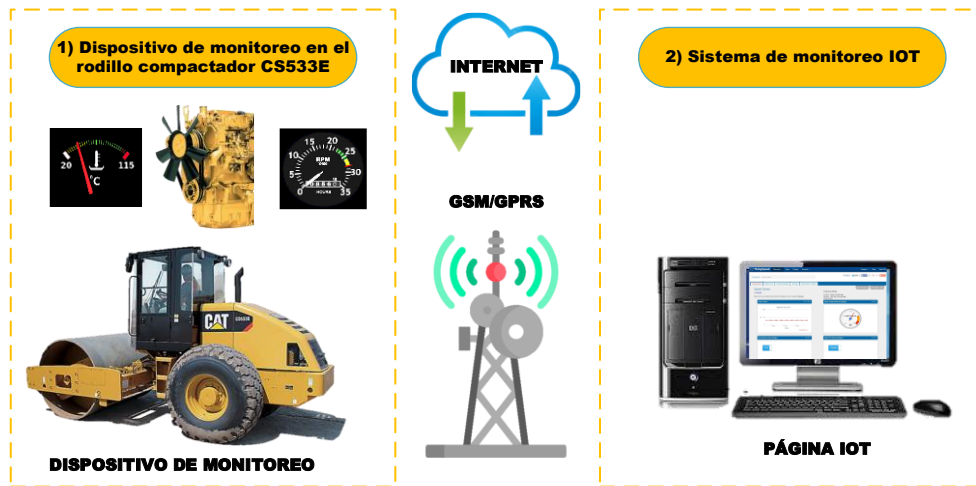


Figura 17-3: Esquematación del sistema

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.6.3.1 *Dispositivo de monitoreo en el rodillo compactador CS533E*

Se refiere al conjunto de componentes electrónicos ensamblados e instalados en la maquinaria, los cuales se encargan de censar, monitorear y a la vez enviar la información referente a las variables temperatura y revoluciones del motor de combustión. Además, ejecuta acciones de almacenamiento de información e interacción con los usuarios: operario y supervisor.

El sistema instalado en la maquinaria recibe información procedente del sensor de temperatura como del sensor de revoluciones; dichos datos son almacenados en una tarjeta de memoria y a su vez enviados cada cierto tiempo mediante el empleo de tecnología GPRS hacia la plataforma de visualización IOT.

3.6.3.2 *Sistema de monitoreo IOT*

Consiste en la visualización de los datos adquiridos por el dispositivo de monitoreo a través de una plataforma de almacenamiento y acceso libre; enfocadas al desarrollo de aplicaciones IOT. A esta plataforma el personal de mantenimiento responsable del control y supervisión de la maquinaria obtiene acceso para poder visualizar los datos registrados durante la operación del rodillo compactador tanto en forma numérica como gráfica, además lleva un registro detallado del historial de las variables durante todo el tiempo de operación.

3.6.4 Selección de Hardware y Software

Una vez determinado el funcionamiento del sistema se procede a representar el dispositivo de monitoreo a implementar, el cual permite ejecutar todos los procesos previamente mencionados bajo los parámetros descritos.

3.6.4.1 Selección de Hardware

En la figura 18-3 se presentan los equipos seleccionados en conjunto con las etapas de trabajo que tendrá el dispositivo para su correcta operación.

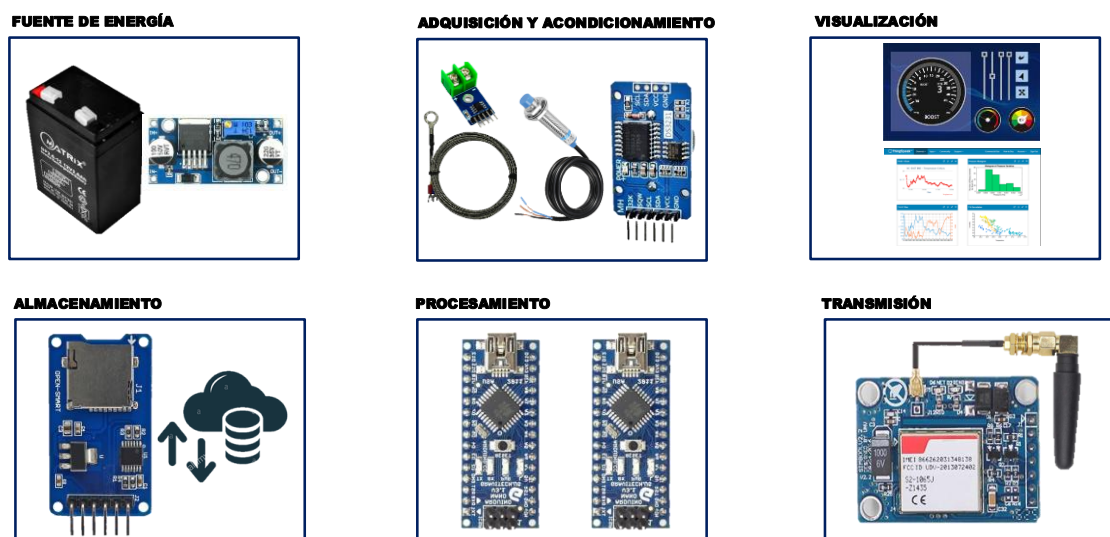


Figura 18-3: Selección de equipos de acuerdo a las etapas de trabajo.

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

La tabla 11-3 presenta los equipos seleccionados con los que se procede a ejecutar el esquema de conexión en el siguiente punto del trabajo.

Tabla 11-3: Equipos hardware del sistema

Etapa	Función	Equipo
Adquisición y acondicionamiento	Censar Temperatura	Termopar
	Censar Revoluciones	Sensor inductivo
	Censar Fecha y Hora	RTC DS3231
Procesamiento	Gestionar información	Arduino Nano
Almacenamiento	Registrar información	Lector de Tarjeta SD y almacenamiento Web
Comunicación	Enviar información	Sim800L
Visualización	Mostrar información	Pantalla HMI y Página Web IOT Thingspeak
Fuente de energía	Suministrar voltaje	Batería 12 V y regulador LM2596

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.6.4.2 Selección de Software

La elección del software a emplear en el diseño del dispositivo, se realiza acorde a las etapas de ejecución del trabajo; poniendo como primordial referencia los paquetes informáticos enfocados a trabajos de ingeniería y que se encuentran optimizados para los equipos del sistema, permitiendo de esta manera representar los diversos diagramas del equipo a implementar. En la tabla 12-3, se presentan los programas informáticos a emplearse en las siguientes etapas para el desarrollo del dispositivo de monitoreo:

Tabla 12-3: Software empleado en el desarrollo del dispositivo

Etapa	Programa
Conexión y diseño de la placa electrónica del dispositivo	Fritzing
	EagleSoft
Programación del microcontrolador y pantalla HMI	Arduino IDE
	Nextion Editor
Interfaz gráfica de la página IOT	Plataforma Web IOT Thingspeak

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Fritzing: Para tener una mejor noción del dispositivo a implementar se hace empleo del programa libre orientado a la automatización de diseño electrónico Fritzing, mismo que permite esquematizar las conexiones de los elementos dando la posibilidad de trabajar sobre los mismos de manera virtual, poder simular su funcionamiento y proyectar el producto final sin afectar en la operatividad por una mala conexión. Además, cuenta con una amplia gama de componentes entre los que destacan la mayoría del hardware seleccionado.

Este software también permite documentar los diseños, en la figura 19-3 se presenta la página de descarga que se encuentra en el enlace: <https://fritzing.org/download/>.

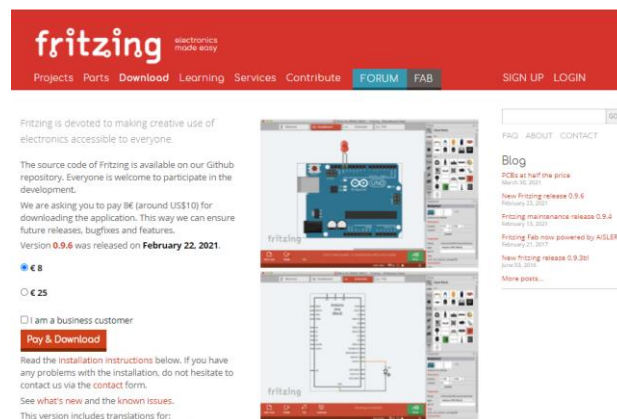


Figura 19-3: Página de descarga software Fritzing

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

EagleSoft: En el diseño de la placa electrónica del dispositivo se escoge el software EagleSoft desarrollado por la compañía Autodesk por tener mayor presencia en el campo de ingeniería. Sus prestaciones son justificadas por la calidad de diseños obtenidos. De igual manera que Fritzing, cuenta con un extenso catálogo de componentes para la fabricación de circuitos impresos, mismos que pueden ser descargados desde la página web del fabricante o incluso brinda la opción de desarrollar propios componentes de acuerdo a la necesidad presente.

En la figura 20-3, se presenta la página de descarga de acceso gratuito con prestaciones de licencia para estudiantes: <https://www.autodesk.com/products/eagle/free-download>.

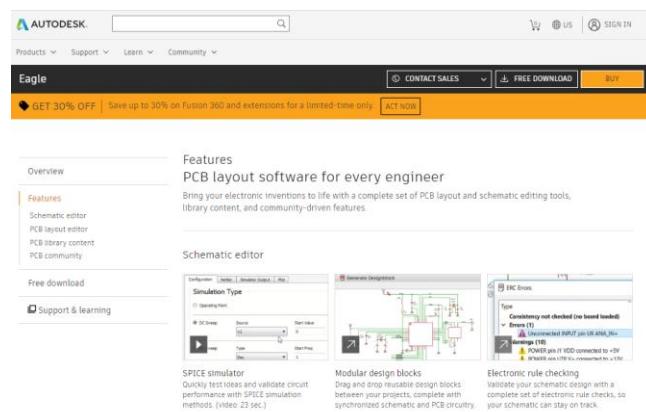


Figura 20-3: Página de descarga software Autodesk Eagle

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Arduino IDE: En la etapa de programación se hace empleo del programa compatible con el controlador seleccionado como es Arduino IDE, plataforma de programación de desarrollo libre basado en lenguaje C que continuamente presenta mejoras en sus versiones. En la figura 21-3 se presenta la página de descarga del programa en su versión 1.8.15, misma en la que se ejecuta la programación de la tarjeta controladora: <https://www.arduino.cc/en/software>

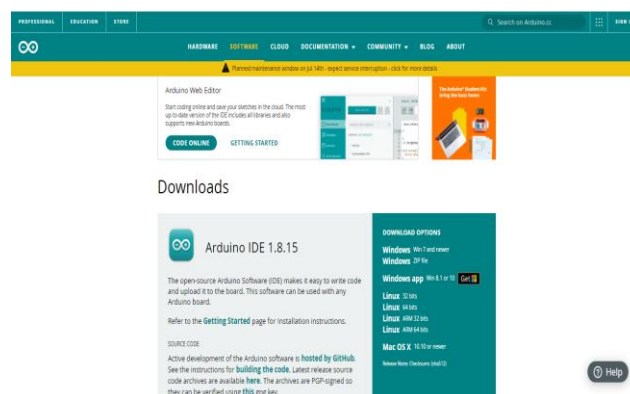


Figura 21-3: Página de descarga software Arduino IDE

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Nextion Editor: Debido al empleo de la pantalla HMI de la compañía Nextion para visualizar los datos adquiridos por el sistema dentro del habitáculo de la maquinaria, se hace empleo del programa desarrollado por la misma compañía. En equivalencia a los demás programas empleados se caracteriza por ser de desarrollo y descarga libre, posee las herramientas necesarias tales como botones, indicadores, texto entre otros para desarrollar una correcta visualización de la información del dispositivo de monitoreo. En la figura 22-3, se presenta la página de descarga del programa en su versión 1.63.3: <https://nextion.tech/nextion-editor/>

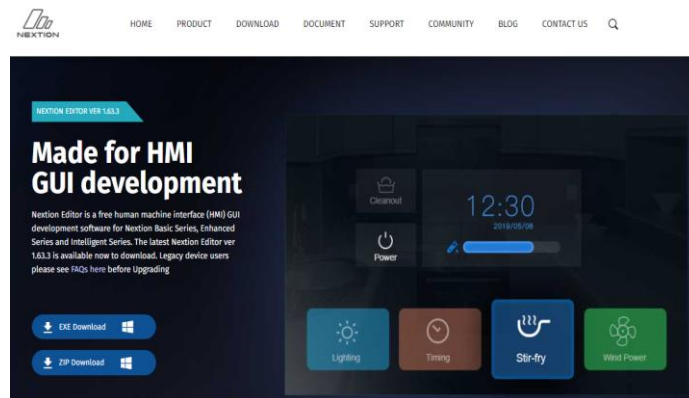


Figura 22-3: Página de descarga software Nextion Editor

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Thingspeak: Para la visualización de la información procedente del dispositivo de monitoreo se escoge la plataforma web IOT gratuita de Thingspeak, misma que ofrece funcionalidades de programación simplificadas. Para visualizar la información la plataforma presenta un código de solicitud único creado al momento de generar un nuevo canal de medición, mismo al que hace enlace el microcontrolador para subir los datos recolectados. La plataforma no necesita ser descargada debido a que se ejecuta en su servidor web: <https://thingspeak.com/>, lo que permite tener acceso desde cualquier lugar del mundo. En la figura 23-3 se presenta la página escogida.

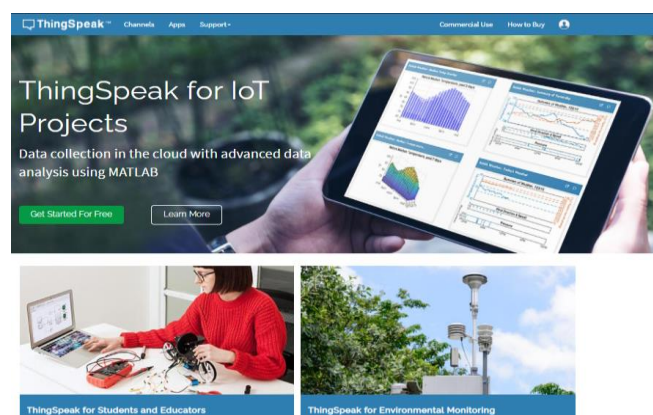


Figura 23-3: Página web plataforma IOT Thingspeak

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.7 Conexión de los equipos del sistema

Una vez seleccionados todos los equipos e instrumentación del dispositivo de monitoreo de temperatura y revoluciones del motor de combustión, se realiza en el programa Fritzing la simulación de cada componente del dispositivo para comprobar su funcionamiento y evitar problemas al momento de su implementación.

3.7.1 Esquema de conexión del dispositivo de monitoreo

El esquema de conexión de los equipos desarrollado en Fritzing se presenta en la figura 24-3, donde se destaca como componente principal el empleo de dos tarjetas Arduino Nano, debido a que se plantea dividir las acciones a ejecutar siendo para el primero la adquisición de datos de los sensores y visualización en la pantalla HMI, mientras que el segundo controlador está encargado de almacenar y enviar la información adquirida en una tarjeta de memoria SD y plataforma IOT respectivamente.

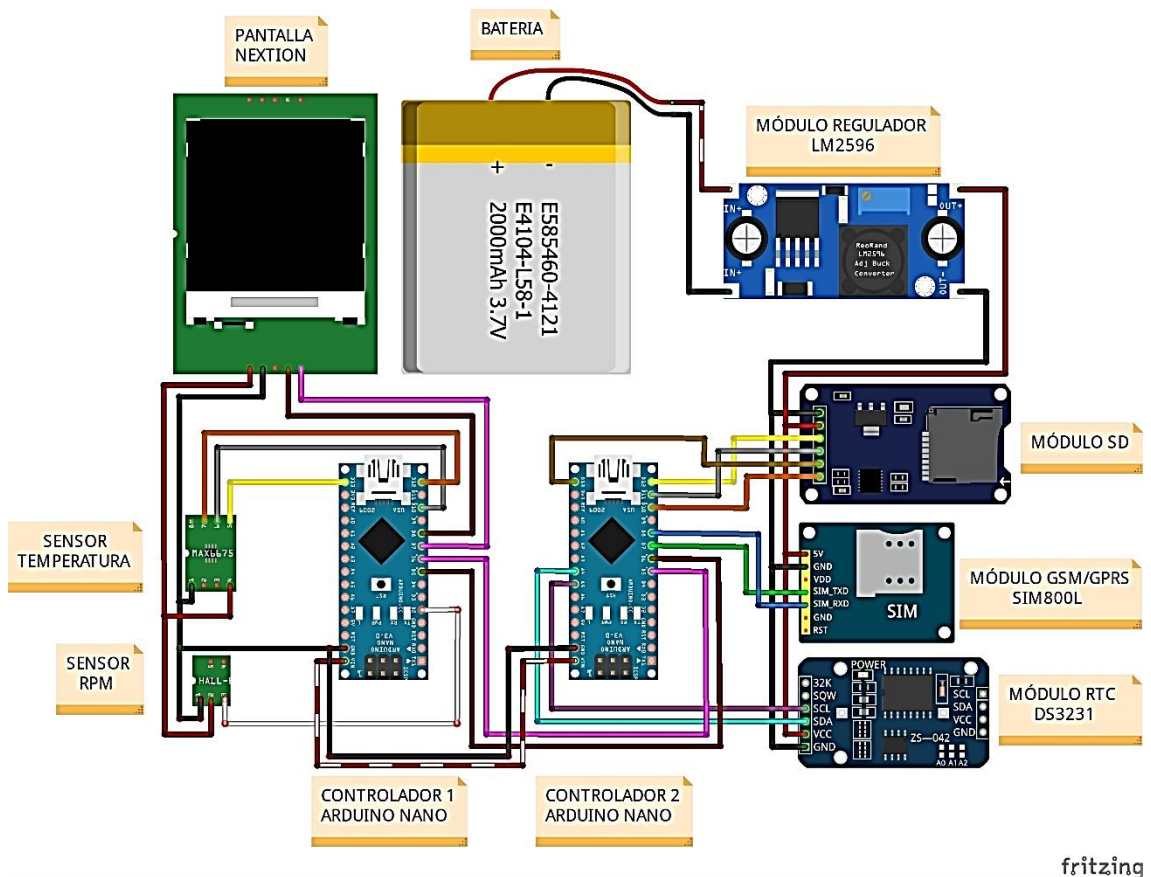


Figura 24-3: Esquema de conexión del dispositivo de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

La conexión de los equipos con la tarjeta controladora 1 se detalla en la tabla 13-3:

Tabla 13-3: Pines de conexión de equipos con el controlador 1

Equipo	Pin	Pin de Controlador 1 Arduino Nano
Pantalla HMI Nextion 3.2"	5 VDC	5 VDC Regulador LM2598
	TX	D6
	RX	D7
	GND	GND Común
Sensor de temperatura	GND	GND Común
	5 VDC	5 VDC Regulador LM2598
	SCK	D13
	CS	D10
	S0	D12
Sensor de RPM	5 VDC	5 VDC Regulador LM2598
	GND	GND Común
	DO	D2

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Los equipos de conectados a la tarjeta controladora 2 se muestra en la tabla 14-3:

Tabla 14-3: Pines de conexión de equipos con el controlador 2.

Equipo	Pin	Pin de Controlador 2 Arduino Nano
Módulo SD	GND	GND Común
	VCC	5 VDC Regulador LM2598
	MISO	D12
	MOSI	D11
	SCK	D13
	CS	D9
Módulo SIM800L	5 VDC	5 VDC Regulador LM2598
	GND	GND Común
	SIM_TXD	D7
	SIM_RXD	D8
Módulo RTC	SDA	A4
	SCL	A5
	VCC	5 VDC Regulador LM2598
	GND	GND Común

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Definidos todos los componentes, el programa permite visualizar la conexión física entre ellos de esta manera pudiendo simular el comportamiento y evidenciar el funcionamiento que tendrá el dispositivo cuando se realice la etapa de programación. Se destaca además que el software cuenta con todos los equipos seleccionados.

3.8 Configuración de los equipos del dispositivo de monitoreo

3.8.1 Instalación del software para la configuración del dispositivo

De acuerdo a lo expuesto el software empleado para la configuración del dispositivo es Arduino IDE, mismo que si bien permite programar todos los procesos de cada tarjeta controladora, para completar la configuración es necesario emplear librerías programadas por usuarios enfocadas a la interacción con los sensores empleados, pantalla Nextion, modulo SD, RTC y GSM SIM800L. En la tabla 15-3 se presenta el software empleado en la programación del dispositivo.

Tabla 15-3: Software para la configuración del dispositivo

Software	Nombre	Función
Principal	Arduino IDE 1.8.13	Programación y configuración de tarjetas controladoras
Librerías	SoftwareSerial.h	Comunicación serial entre equipos
	SPI.h	Comunicación SPI
	Wire.h	Comunicación I2C
	RTCLib.h	Lectura módulo RTC
	Nextion.h	Escritura pantalla Nextion
	SD.h	Lectura/Escritura módulo MicroSD
	MAX6675.h	Lectura sensor termopar

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Como se mencionó en la selección del programa Arduino en la página de descarga se presenta dos opciones de instalación, mediante un archivo ejecutable o un archivo Zip que contiene todos los elementos del programa mismo que deben ser ubicados en una carpeta del computador. En la figura 25-3 se presentan los archivos de instalación destacando el archivo arduino.exe que es el ejecutable del programa a emplear.



Figura 25-3: Archivos de instalación de Arduino IDE

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Para el empleo de las librerías mencionadas se realiza la descarga de los archivos desde la página de los creadores, mismas que son ubicadas dentro de la carpeta librerías como se puede observar en la figura 26-3.

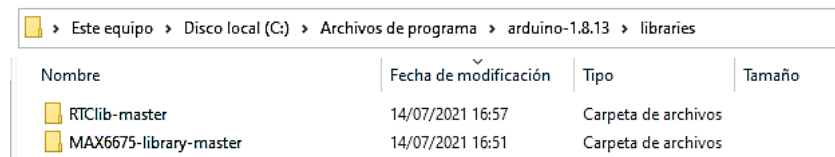


Figura 26-3: Librerías instaladas dentro de Arduino IDE

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Con Arduino IDE y complementos instalados, el programa permite crear y compilar los programas, así como visualizar la información generada mediante el puerto serie. Además, se destaca que el programa es compatible con todos los sistemas operativos. La interfaz del programa se visualiza en la figura 27-3.

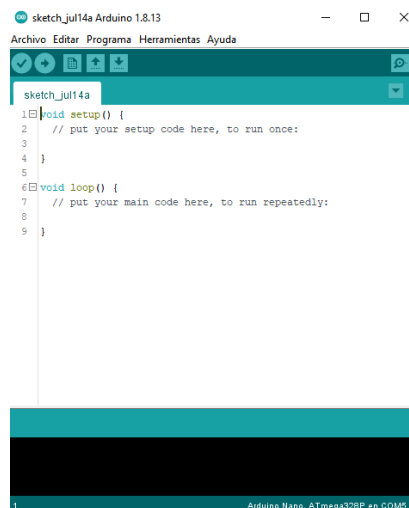


Figura 27-3: Interfaz de Arduino IDE

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.8.2 Configuración de las tarjetas controladoras

Para ejecutar la configuración del dispositivo se debe conectar mediante cable serial USB al computador donde se ejecuta la interfaz IDE. El diseño del dispositivo cuenta con dos tarjetas Arduino Nano con procesador Atmega 328P; el primer procesador se encarga de la lectura de los sensores y la visualización de sus datos en la pantalla Nextion, mientras que el segundo procesa la información proveniente del primer controlador, gestiona el almacenamiento en la tarjeta MicroSD, así como el envío de los datos a la plataforma IOT de acuerdo a los tiempos adquiridos por el módulo RTC.

La configuración de las tarjetas sigue la secuencia mostrada en el gráfico 5-3:

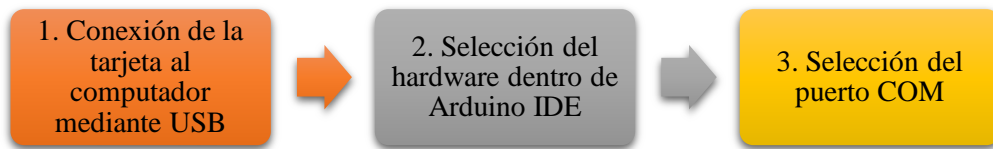


Gráfico 5-3: Secuencia de configuración de las tarjetas controladoras

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

En primer lugar, para realizar la configuración se conecta la tarjeta Arduino Nano al computador mediante cable USB donde el sistema asigna el puerto COM para su comunicación y posterior programación, el número de puerto asignado es único por dispositivo de esta manera cada tarjeta cuenta con su propio puerto.

Una vez dentro de la interfaz de Arduino IDE en la sección de Herramientas se selecciona el hardware y puerto COM ingresado los siguientes parámetros en Placa: Arduino Nano; Procesador: Atmega 328P y en Puerto: COM5 o COM6 acorde a la placa a programar. El resultado de la configuración se muestra en la figura 28-3, quedando de esta manera listo para el desarrollo de la programación.

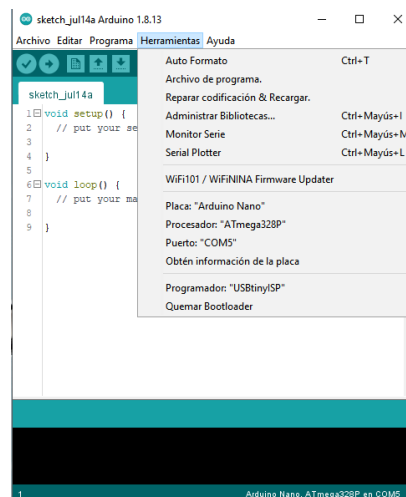


Figura 28-3: Configuración de las tarjetas dentro de Arduino IDE

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9 Desarrollo del código de programación de tarjetas controladoras

Configuradas las tarjetas a emplear en el dispositivo de monitoreo se procede a cargar el código de programación respectivo para los procesos a ejecutar por cada una, mismos que se encuentran documentados y comentados en el Anexo A y Anexo B del presente trabajo.

3.9.1 Código Tarjeta controlador 1

Para el correcto funcionamiento del sistema el código de la primera tarjeta cumple el diagrama de flujo del gráfico 6-3, donde se evidencia los tres procesos programados mismos que se ejecutan cada cierto intervalo de tiempo siendo la lectura de los sensores, visualización en la pantalla Nextion y transmisión de datos de forma serial a la tarjeta controlador 2.

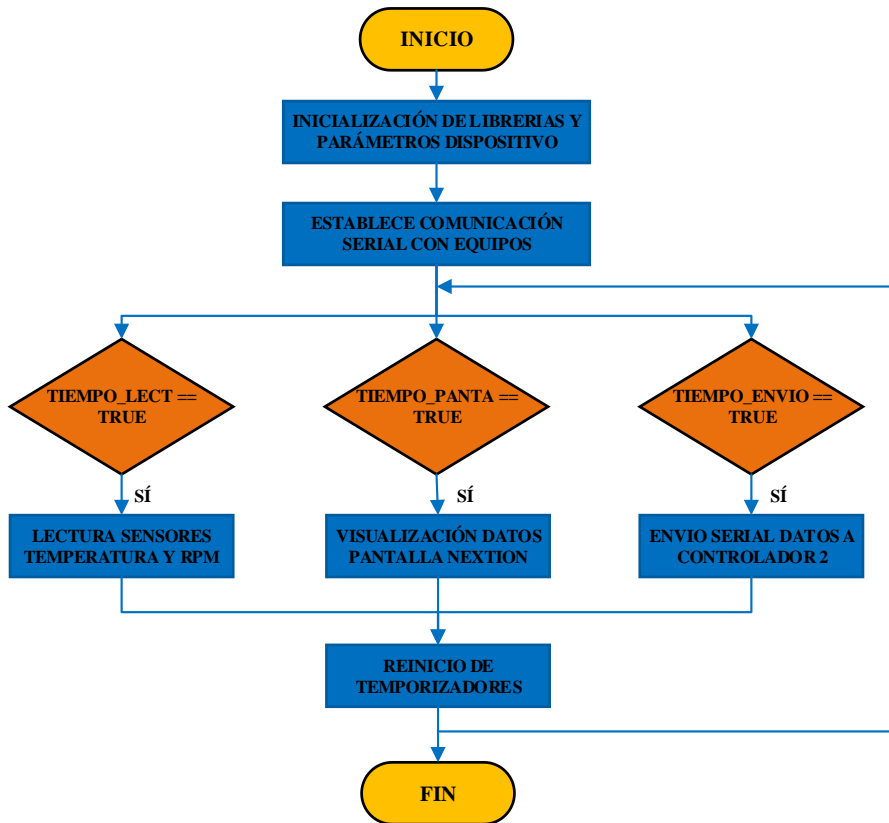


Gráfico 6-3: Diagrama de flujo código tarjeta controlador 1

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

La programación del código de la tarjeta controlador 1 se realiza mediante la implementación de las instrucciones de la tabla 16-3.

Tabla 16-3: Instrucciones del código de tarjeta controlador 1

Parámetro	Instrucción
Librerías	#include <SoftwareSerial.h> #include <SPL.h> #include <Wire.h> #include <max6675.h>
Parámetros de comunicación	SoftwareSerial conArduinos (5, 6); SoftwareSerial conNextion (7, 8); MAX6675 termopar(6, 5, 4);
Arreglo de datos	float datos[10]; float dato1; float dato2;

Continúa

Temporizadores	unsigned long tiempoLect; unsigned long tiempoPanta; unsigned long tiempoEnvio;
Variables	int sensorhall_pin = 2; unsigned int rpm = 0; volatile byte pulsos = 0; unsigned int pulsosxVuelta = 2; static volatile unsigned long rebote = 0; unsigned int temperatura = 0;
Lectura sensores	LecturaSensores();
Visualización en pantalla	VisualizaciónPantalla();
Envío de datos a controlador 2	EnvioControlador2();

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9.1.1 Lectura de los sensores

La lectura de los sensores es la función principal programada en el controlador 1, para este se hace una lectura directa del sensor termopar con la función programada en la librería Max6675, y en el caso del sensor de revoluciones se analizan a partir de los pulsos detectados con las interrupciones que presenta Arduino. En la figura 29-3, se presenta la subrutina programada para la lectura de los sensores que conforman el dispositivo.

```
82 void LecturaSensores() {  
83     //LECTURA SENSORES TERMOPAR E INDUCTIVO  
84     temperatura = termopar.readCelsius(); //TEMPERATURA GRADOS CENTIGRADOS  
85     noInterrupts();  
86     rpm = (60 * 1000 / pulsosxVuelta) / (millis() - tiempoLect) * pulsos; // RPM MOTOR  
87 }  
88
```

Figura 29-3: Subrutina lectura sensores tarjeta controlador 1

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9.1.2 Visualización datos sensores en pantalla HMI

En la figura 30-3 se presenta el código empleado para la visualización de los datos adquiridos en la pantalla Nextion, misma que se produce mediante envío de comandos por el medio de comunicación serial entre la tarjeta y la pantalla.

```
89 void VisualizacionPantalla() {  
90     //VISUALIZACION DATOS EN PANTALLA NEXTION  
91     conNextion.setText("page2.t0", String(temperatura) + " gC");  
92     conNextion.setText("page2.t1", String(rpm) + " RPM");  
93 }  
94
```

Figura 30-3: Subrutina visualización datos en pantalla tarjeta controlador 1

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9.1.3 Envío de datos a controlador 2

Para el envío de los datos censados al controlador 2 de igual manera se emplea comunicación serial entre las tarjetas, por este canal se envía una trama de información, figura 31-3, con los datos del sensor de temperatura y revoluciones separadas por el identificador coma y culminando con un salto de línea. El empleo de estos separadores ayuda al controlador 2 en la recepción y separación de los datos para la gestión de almacenamiento y transmisión a la plataforma IOT.

```
95 void EnvioControlador2() {  
96   //ENVIO DE DATOS AL CONTROLADOR 2  
97   comArduinos.print(String(temperatura) + ",");  
98   comArduinos.println(String(rpm));  
99 }  
100
```

Figura 31-3: Subrutina envío datos a tarjeta controlador 2

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9.2 Código Tarjeta controlador 2.

La implementación del código en la tarjeta controlador 2 se ejecuta mediante el diagrama de flujo representado en el gráfico 7-3.

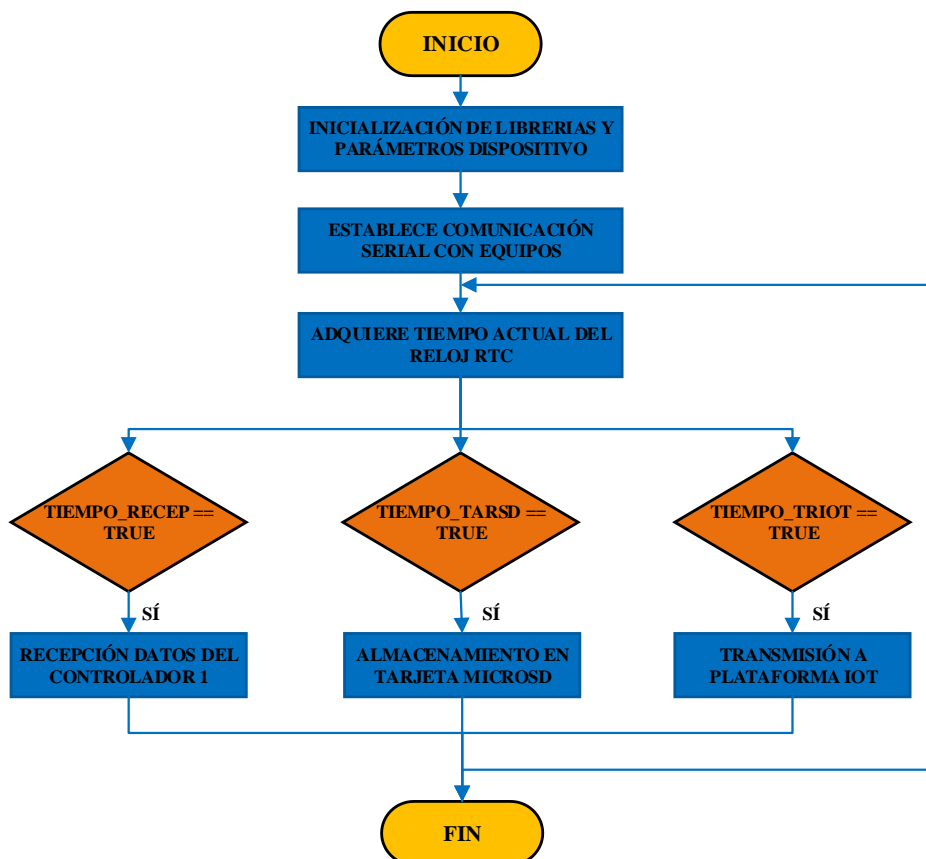


Gráfico 7-3: Diagrama de flujo código tarjeta controlador 2

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

El principal proceso programado es la recepción y gestión de los datos recibidos del controlador 1, determinando de esta manera: recepción, almacenamiento en tarjeta MicroSD y transmisión a la plataforma IOT. Estas funciones se programan con las instrucciones de la tabla 17-3; se destaca el parámetro APIKEY que es un código identificador único generado al momento de crear un nuevo canal en la plataforma IOT, el cual permite visualizar los datos transmitidos.

Tabla 17-3: Instrucciones del código de tarjeta controlador 2

Parámetro	Instrucción
Librerías	#include <SoftwareSerial.h> #include <SPI.h> #include <Wire.h> #include <SD.h> #include "RTClib.h"
Parámetros de comunicación	SoftwareSerial conArduinos (5, 6); SoftwareSerial comSIM800L (7, 8); RTC_DS3231 rtc;
Variables	String temperatura; String rpm; bool estado = false; File logFile;
APIKEY	String API_KEY = " B0A18YAAAT6BUPCR ";
Obtención hora actual	DateTime now = rtc.now();
Recepción de datos	RecepcionControlador1();
Almacenamiento datos en SD	AlmacenamientoSD();
Transmisión a plataforma IOT	TransmisionIOT();

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9.2.1 Recepción de datos del controlador 1

El proceso de recepción de datos se ejecuta de manera continua al verificar la existencia de datos procedente del controlador 1, a continuación, mediante el empleo de los identificadores añadidos en el envío se separan en variables temperatura y rpm como se muestra en la figura 32-3.

```

73 void RecepcionControlador1() {
74   comArduinos.listen();
75   if (comArduinos.available() > 0) {
76     temperatura = comArduinos.readStringUntil(',');
77     rpm = comArduinos.readStringUntil('\n');
78   }
79 }
80

```

Figura 32-3: Subrutina recepción datos tarjeta controlador 2

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9.2.2 Almacenamiento de datos en tarjeta MicroSD

En la figura 33-3 se presenta la subrutina de almacenamiento de los datos adquiridos por el dispositivo en un archivo denominado: Monitoreo.txt. En este archivo se almacena la fecha y hora de lectura acompañado del valor de temperatura y rpm registrados.

```
81 void AlmacenamientoSD() {
82     logFile = SD.open("Monitoreo.txt", FILE_WRITE);
83     if (logFile) {
84         DateTime now = rtc.now();
85         logValue(now, temperatura, rpm);
86         logFile.close();
87     }
88     else {
89         Serial.println(F("Error al abrir el archivo"));
90     }
91 }
92
```

Figura 33-3: Subrutina recepción datos tarjeta controlador 2

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.9.2.3 Transmisión de datos a la plataforma IOT

Para ejecutar el último proceso es necesario ejecutar una subrutina adicional para inicializar el módulo SIM800L, figura 34-3, mediante el envío de comandos AT por un canal de comunicación serial que configura los parámetros de funcionamiento para el envío de datos mediante GPRS. Para el enlace a la red celular Claro se hace empleo del APN registrado en la operadora: internet.claro.com, el cual permite configurar la puerta de enlace a internet y enviar los datos a la plataforma IOT.

```
52 void Inicio_SIM800L() {
53     //COMANDOS AT INICIALIZACIÓN SIM800L
54     gprsSerial.listen(); // ACTIVA PUERTO SERIE SIM800L
55     // COMANDOS GPRS
56     gprsSerial.println("AT+CREG?");
57     gprsSerial.println("AT+CGATT?");
58     gprsSerial.println("AT+CIPSHUT");
59     delay(1000);
60     gprsSerial.println("AT+CIPSTATUS"); // COMANDO AT ESTATUS
61     delay(2000);
62     gprsSerial.println("AT+CIPMUX=0");
63     gprsSerial.println("AT+CSQT=\\"internet.claro.com\\""); // COMANDO AT APN RED CLARO
64     delay(1000);
65     gprsSerial.println("AT+CIICR");// COMANDO AT ABRE COMUNICACIÓN INALAMBRICA
66     delay(3000);
67     gprsSerial.println("AT+CIFSR"); // COMANDO AT ADQUIERE IP LOCAL
68     delay(1000);
69     loop();
70     Serial.println("DISPOSITIVO MONITOREO RODILLO COMPACTADOR LISTO");
71 }
72
```

Figura 34-3: Subrutina inicio módulo SIM800L tarjeta controlador 2

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Una vez inicializado el módulo se emplea la subrutina expuesta en el código de la figura 35-3, mediante el envío de comandos AT se establece comunicación con la plataforma IOT Thingspeak en la que se encuentra un canal de visualización. La escritura de los datos se direcciona mediante el código APIKEY a través de una trama de datos en el que se especifica el campo a escribir.

```

93 void TransmissionIOT() {
94   gprsSerial.listen();
95   gprsSerial.println("AT+CIPSPRT=0");
96   delay(10);
97   ShowSerialData();
98   gprsSerial.println("AT+CIPSTART=\"TCP\", \"api.thingspeak.com\", \"80\"); // CONEXIÓN
99   delay(10);
100  ShowSerialData();
101  gprsSerial.println("AT+CIPSEND"); // ENCABEZADO PARA EL ENVIO DE DATOS
102  delay(10);
103  ShowSerialData();
104  // TRAMA ENVIADA A LA PÁGINA WEB
105  String str = "GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=" + API_KEY
106             + "&field1=" + temperatura + "&field2=" + rpm;
107  Serial.println(str);
108  gprsSerial.println(str); // INICIO ENVIO DE DATOS A LA PÁGINA
109  delay(10);
110  gprsSerial.println((char)26); // ENVIANDO DATOS
111  delay(10); // ESPERA LA RESPUESTA DE ENVIO CORRECTO
112  gprsSerial.println();
113  gprsSerial.println("AT+CIPSHUT"); //CIERRA COMUNICACIÓN
114  delay(10);
115 }
116

```

Figura 35-3: Subrutina transmisión datos plataforma IOT tarjeta controlador 2

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.10 Desarrollo Interfaz HMI pantalla Nextion

Culminada la programación de los procesos a ejecutar por del dispositivo de monitoreo, se procede a desarrollar la interfaz gráfica de la pantalla HMI Nextion donde se visualizan los datos adquiridos por los sensores dentro del habitáculo de la maquinaria dando al operario la posibilidad de monitorear las condiciones de funcionamiento del motor durante la jornada laboral. Haciendo uso del programa Nextion Editor se inicia con la creación de un nuevo proyecto, denominado: HMI MONITOREO CS533E, como se visualiza en la figura 36-3.

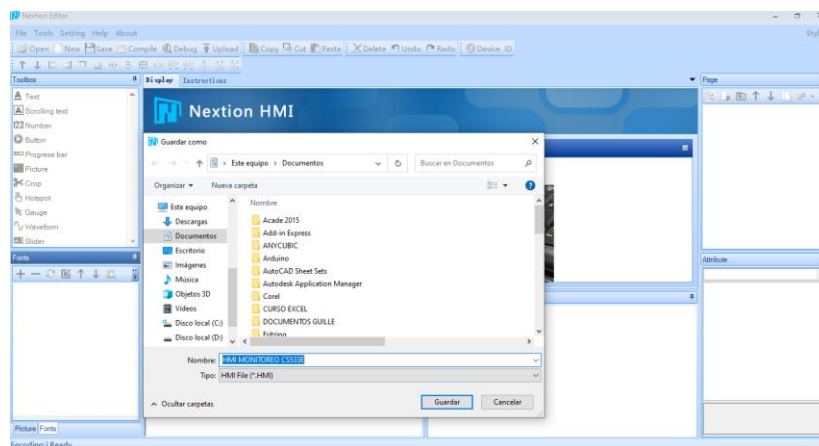


Figura 36-3: Creación de un nuevo proyecto en Nextion Editor

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Enseguida se configura las propiedades de la pantalla seleccionando en el apartado Device: NX4024K032_011 y Display: 90 Horizontal. Haciendo de esta manera referencia al tamaño de la pantalla siendo para el caso de 3.2” táctil, así como la orientación en la visualización de las pantallas. En la figura 37-3 se presenta el resultado de la configuración.

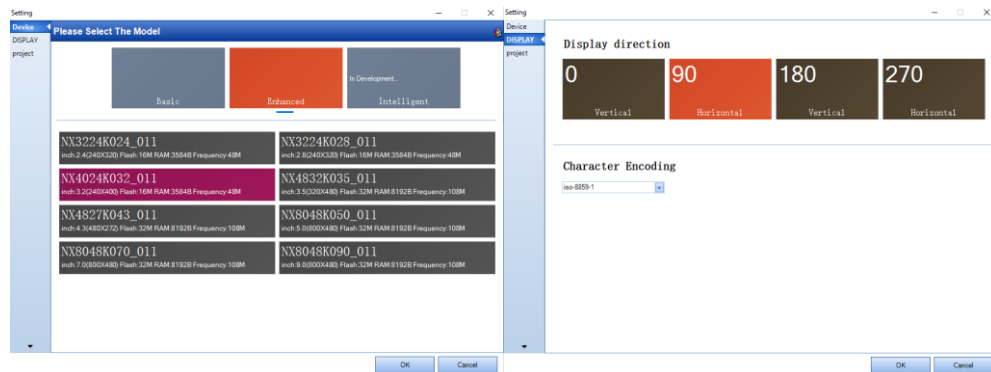


Figura 37-3: Configuración de las propiedades de la pantalla

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.10.1 Creación de pantallas.

La interfaz gráfica basa su funcionamiento en la creación de páginas en las que el usuario puede diseñar la visualización de acuerdo a las necesidades del proyecto. Para el sistema de monitoreo se crean dos páginas mismas que sirven de presentación referente al presente trabajo, dentro de estas se emplean objetos Picture, en el que se cargan imágenes en tamaño de 400x240 pixeles que es la resolución de la pantalla empleada, como se visualiza en la figura 38-3.

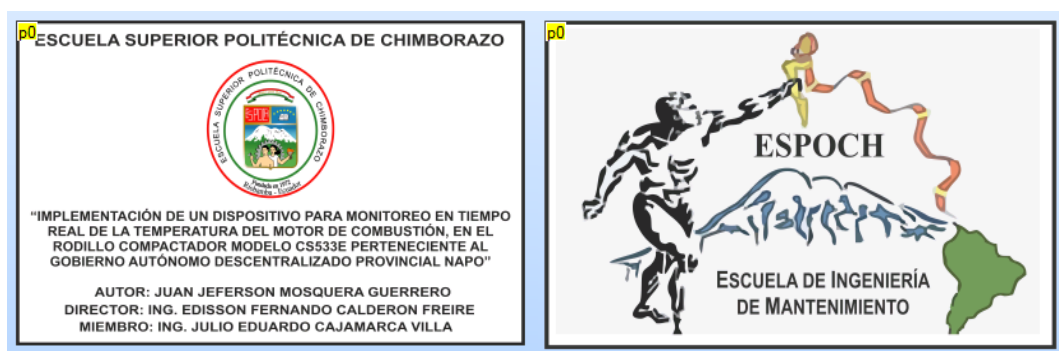


Figura 38-3: Pantalla de presentación de la Interfaz HMI

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Las páginas de presentación se muestran al momento de iniciar el dispositivo y se muestran por única vez durante un periodo de tiempo programado.

A continuación, en la figura 39-3 se evidencia el diseño de la página principal de la interfaz de la pantalla HMI, misma que se muestra durante todo el tiempo de operación del dispositivo en ella se evidencia como referencia imágenes de la maquinaria y motor compactador CS533E, destacando la presencia de objetos Text denominados t0 y t1 en los que se visualiza el valor de las variables temperatura y revoluciones enviados por el puerto comunicación serie y a los que se hace referencia en la programación de la tarjeta controladora 1.



Figura 39-3: Pantalla principal de la Interfaz HMI

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.10.2 Implementación de la interfaz en la pantalla HMI Nextion

Para la implementación se hace empleo del archivo generado por el programa Nextion Editor, una vez culminado el diseño de las pantallas. Se hace empleo de la herramienta Debug dentro de la interfaz de programación, comprobando así la no existencia de errores y la generación del archivo con extensión TFT que será implementado en la pantalla como se visualiza en la figura 40-3.

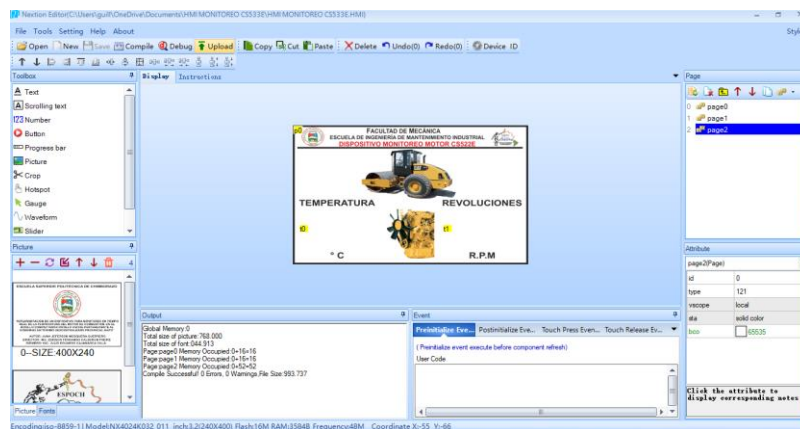


Figura 40-3: Compilación y generación del archivo TFT de la pantalla Nextion

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

La figura 41-3 muestra el archivo generado mismo que puede ser cargado en la pantalla haciendo empleo de una tarjeta de memoria en formato FAT32 con el archivo creado, mediante la energización de la pantalla el código es implementado quedando lista de esta manera para su operación.



Figura 41-3: Implementación de la interfaz en la pantalla Nextion
Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.11 Configuración de la plataforma IOT

Los datos transmitidos mediante el módulo SIM800L son visualizados y almacenados en la plataforma web IOT Thingspeak, cuenta funcionalidades que permiten monitorear variables de forma numérica y grafica mediante el empleo de campos en un canal de medición. Para el desarrollo del dispositivo se emplea una cuenta gratuita direccionada al sector estudiantil, su creación inicia mediante la generación de una nueva cuenta ingresando correo electrónico e información básica del usuario, como se puede observar en la figura 42-3.

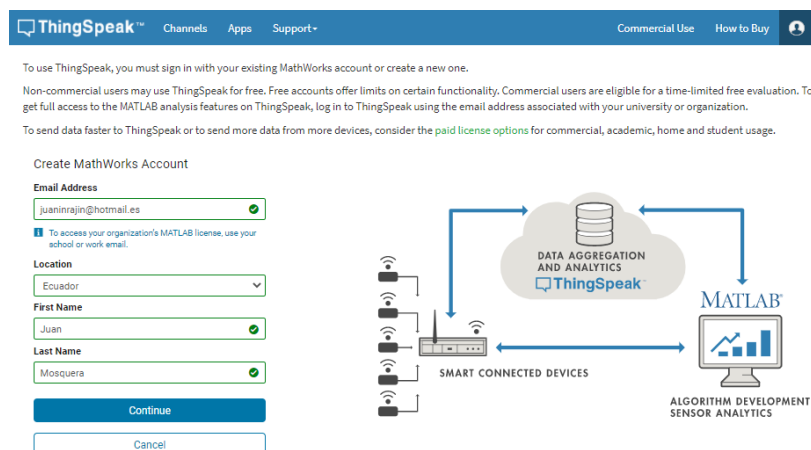


Figura 42-3: Creación de la cuenta en la plataforma IOT Thingspeak
Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.11.1 Creación del canal

Una vez generada la cuenta se procede a crear un nuevo canal para la visualización y almacenamiento de los datos transmitidos por el dispositivo a través del botón New Channel en el que la plataforma solicita el ingreso del nombre mismo que para el presente proyecto es: MONITOREO MOTOR COMBUSTIÓN RODILLO COMPACTADOR CS533E, como se visualiza en la figura 43-3.

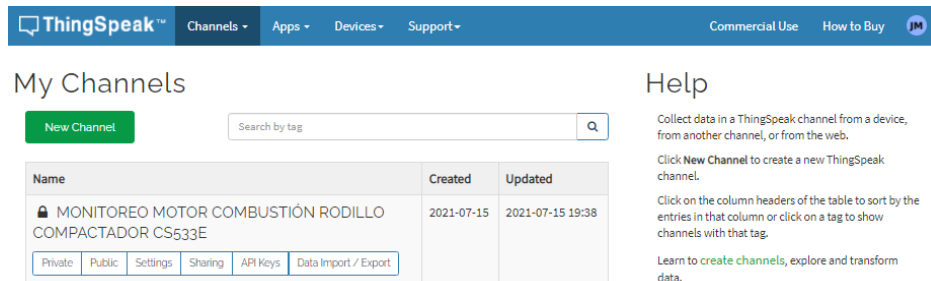


Figura 43-3: Creación del canal en la plataforma IOT Thingspeak

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.11.2 Configuración parámetros de los campos

Con el canal creado se configura los campos a emplear para el alojamiento de datos como se muestra en la figura 44-3, siendo temperatura y RPM los campos a utilizar por el dispositivo mismos que están designados por Field1 y Field2 respectivamente; la plataforma permite la configuración de hasta ocho campos en su versión gratuita dejando de esta manera la posibilidad de aumentar un mayor número de variables a monitorear. Además, se presenta el código identificador ID del canal: 1445600, mediante el mismo se puede tener acceso al canal creado.

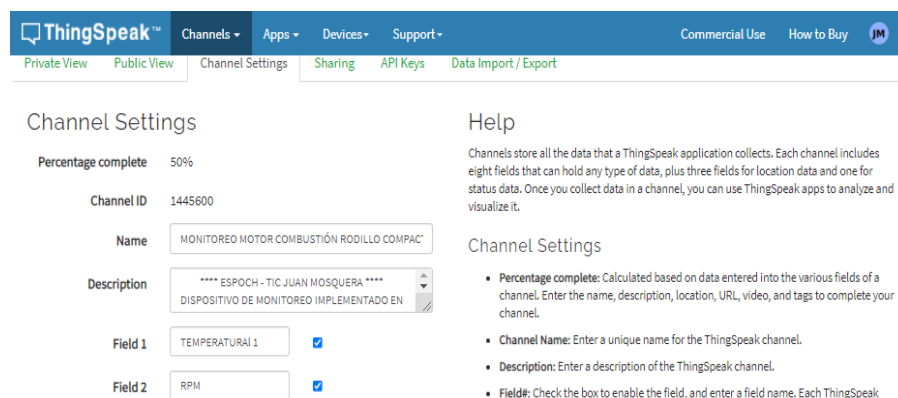
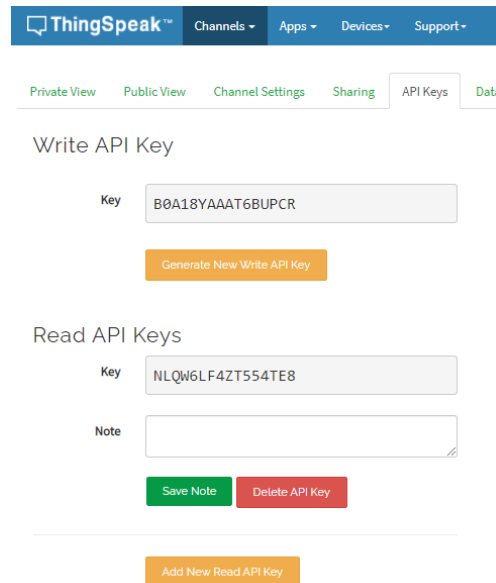


Figura 44-3: Configuración de los campos del canal

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.11.3 Códigos APIKEYS

De acuerdo a lo expuesto en la transmisión de datos hacia la plataforma, es necesario la obtención del código API Key mismo que permite la escritura o lectura en cualquier campo configurado dentro del canal. El código de escritura empleado se puede consultar en el apartado API Keys dentro de la plataforma, siendo para el dispositivo: B0A18YAAAT6BUPCR; como se evidencia en la figura 45-3.



The screenshot shows the 'API Keys' section of the ThingSpeak platform. At the top, there is a navigation bar with 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support'. Below this, there are tabs for 'Private View', 'Public View', 'Channel Settings', 'Sharing', 'API Keys', and 'Data'. The main content area is titled 'Write API Key' and contains a text input field with the value 'B0A18YAAAT6BUPCR' and an orange button labeled 'Generate New Write API Key'. Below this is the 'Read API Keys' section, which includes a text input field with the value 'NLQW6LF4ZT554TE8', a 'Note' text area, and two buttons: 'Save Note' (green) and 'Delete API Key' (red). At the bottom of the section is an orange button labeled 'Add New Read API Key'.

Figura 45-3: Códigos API Keys del canal

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.11.4 Visualización pública del canal

La interfaz del canal creado hace uso de visualizadores y widgets para mostrar los datos ingresados en los campos establecidos; la plataforma permite el empleo de gráficas para monitorear el comportamiento de los datos a lo largo del tiempo, además del empleo de indicadores numéricos para visualizar el valor del campo.

En la figura 46-3 se muestra la interfaz de presentación del canal creado, en el que detalla las características configuradas destacando además las estadísticas de ingreso de datos en el canal; esta herramienta ayudará en el análisis del comportamiento del sistema ya que permite verificar la cantidad de datos que el dispositivo envía a la plataforma.

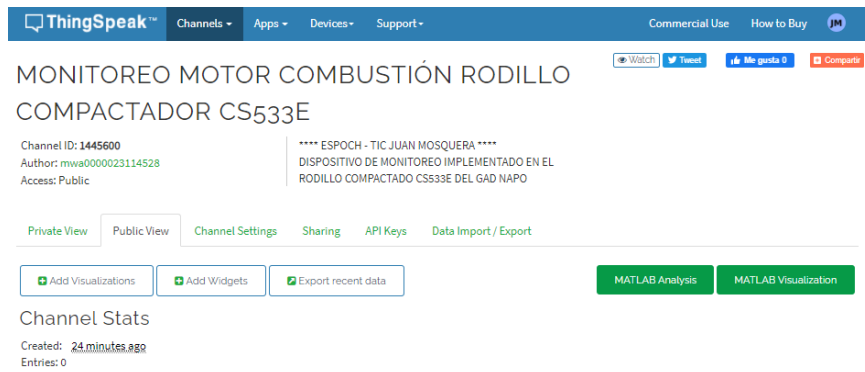


Figura 46-3: Presentación del canal creado

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Finalmente, en la figura 47-3, se muestra el resultado de la interfaz operativa con los visualizadores ya listos y configurados para mostrar la temperatura y revoluciones del motor del rodillo compactador CS533E, quedando de esta manera lista para la carga de datos por parte del dispositivo.

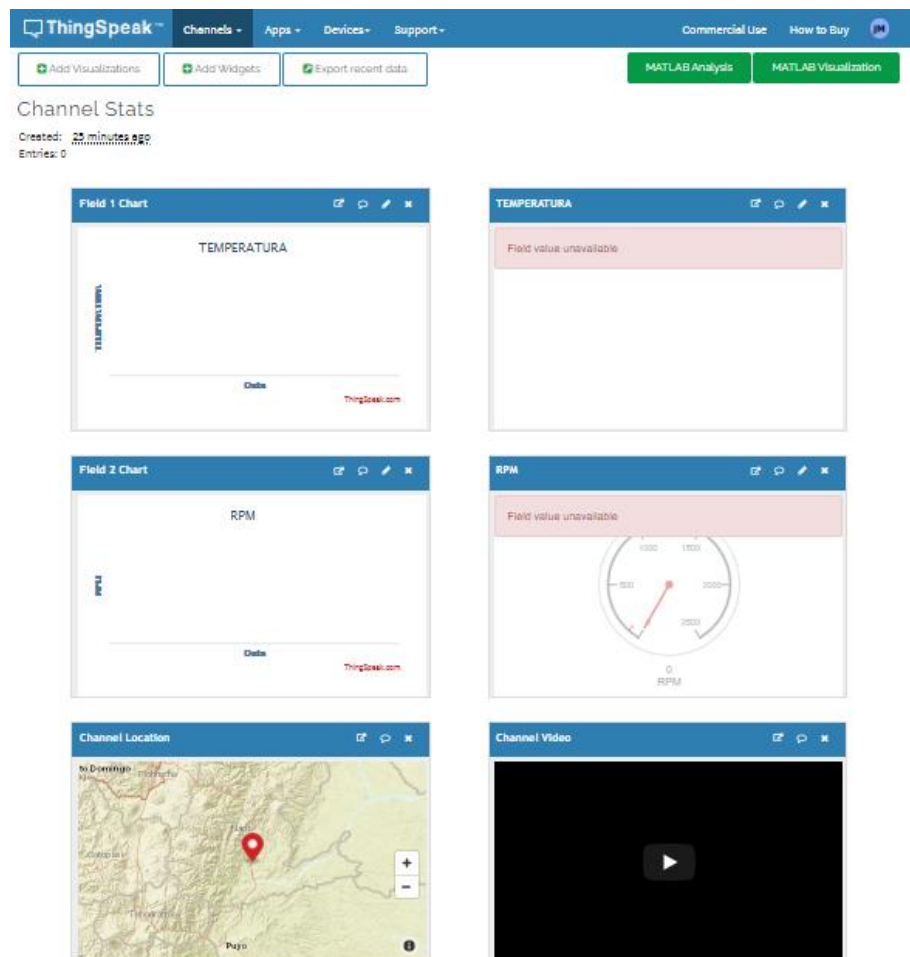


Figura 47-3: Interfaz del canal creado

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12 Construcción del dispositivo

La construcción del dispositivo de monitoreo considera la implementación de la placa electrónica y la caja contenedora que será instalada dentro de la maquinaria. Como primer punto se desarrolla la placa electrónica del dispositivo.

3.12.1 Diseño esquemático de la placa electrónica

En inicio se procede a desarrollar la placa electrónica haciendo empleo del software Eagle. En la figura 48-3 se presenta el diagrama esquemático de la placa en el que se puede apreciar la conexión de los componentes que conforman el dispositivo. Ya que uno de los objetivos es que el dispositivo sea de fácil conexión y mantenimiento, se realiza un diseño compacto además se hace uso de conectores que hagan sencillo el reemplazo de algún componente en caso de daño.

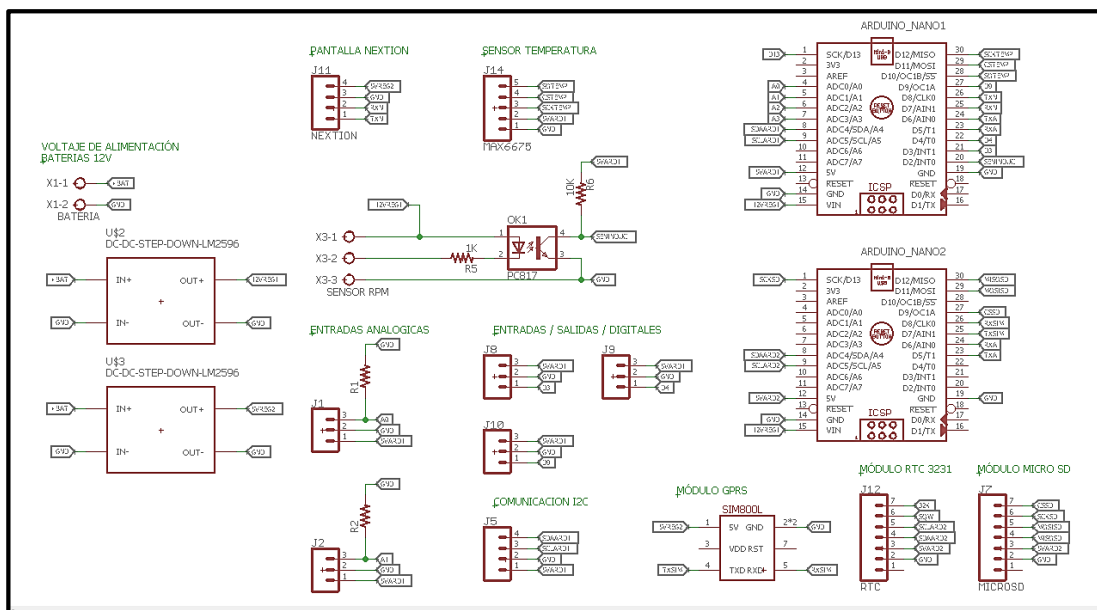


Figura 48-3: Diagrama esquemático de la placa electrónica

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.2 Diseño PCB de la placa electrónica

Finalmente, con el diagrama esquemático efectuado, se procede a diseñar dentro del mismo software Eagle la placa de circuito impreso del dispositivo conocido como PCB. La figura 49-3 muestra el resultado teniendo dimensiones de 150,86 x 84,76 mm, mismas que se adaptan para un diseño compacto. Se puede evidenciar además un orden lógico en la ubicación de los componentes teniendo secciones de conexión de sensores, controladores, medio de comunicación y fuente de energía, facilitando de esta manera la conexión de los equipos.

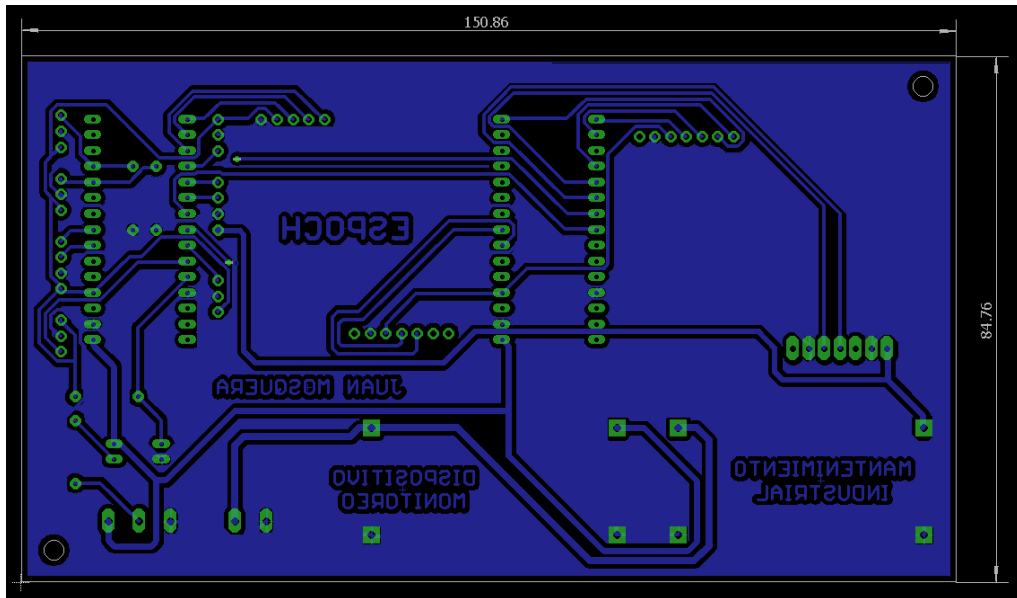


Figura 49-3: Diagrama esquemático de la placa electrónica

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.3 Implementación de la placa electrónica

Con los diseños generados como siguiente punto se procede a implementar la tarjeta electrónica misma que será empleada por el dispositivo y dispone de conectores adecuados para la conexión de los componentes del sistema. Se hace uso del método de transferencia térmica comúnmente conocido como planchado, para lo cual se siguen los siguientes procedimientos:

3.12.3.1 Impresión del diseño y limpieza de placa electrónica

Se imprime en inicio el diseño de la tarjeta electrónica en papel couche mediante una impresora láser a fin de realizar su transferencia a la placa, misma que es conocida como váquela y a la cual se corta con las dimensiones del diseño a fabricar y se realiza su limpieza mediante alcohol hasta que quede libre de impurezas como se evidencia en la figura 50-3.

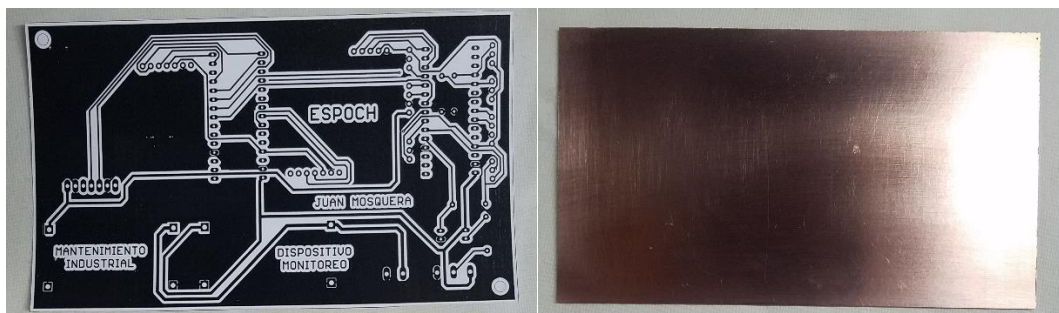


Figura 50-3: Diseño PCB impreso y placa para transferencia

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.3.2 *Proceso de transferencia del diseño del circuito electrónico*

Con la placa limpia se inicia la transferencia del diseño mediante la aplicación de calor proporcionado por una plancha eléctrica durante un lapso de tiempo de 15 minutos, figura 51-3, haciendo presión a lo largo de placa; culminando el proceso, se expone la placa con el diseño transferido a un recipiente con agua fría.



Figura 51-3: Transferencia del diseño a la placa.

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.3.3 *Adecuación del sistema impreso transferido*

Con el diseño transferido a la placa, se retira el papel protector dejando únicamente las pistas transferidas en la placa, en caso de presentar alguna imperfección en el diseño se procede a realizar correcciones mediante el empleo de un marcador permanente como se evidencia en la figura 52-3, de esta manera la placa queda lista para continuar con los siguientes procesos.

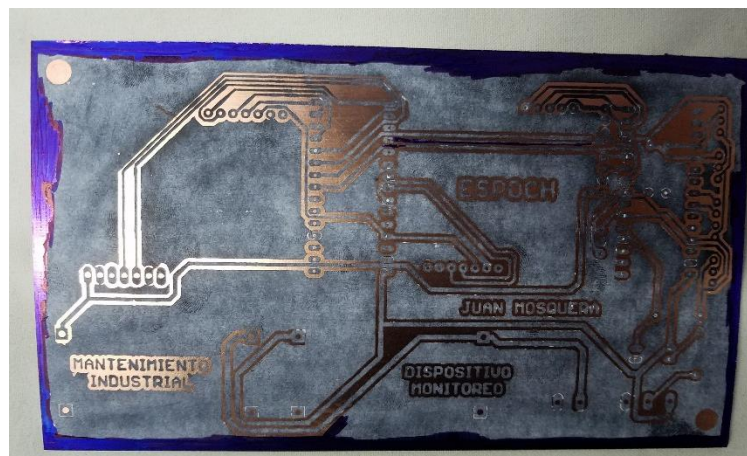


Figura 52-3: Diseño PCB transferido en la placa

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.3.4 Curado del diseño en placa

Se remueve el cobre sobrante de la placa dejando únicamente las pistas transferidas en el diseño, con ayuda de un recipiente se emplea ácido férrico en conjunto con agua caliente para hacer una solución a la cual se expone la placa, mediante la agitación continua se espera hasta que se hayan retirado las capas sobrantes quedando únicamente el diseño como se puede visualizar en la figura 53-3.

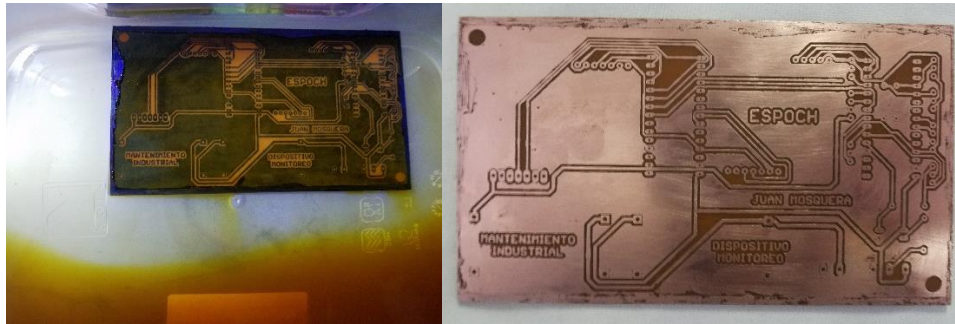


Figura 53-3: Diseño PCB transferido en la placa.

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.3.5 Adecuación de componentes en placa electrónica.

Enseguida se procede con la perforación de la placa usando un taladro en los lugares donde se destinan los componentes, así como la soldadura de cada elemento empleando caudín y estaño. Concluido este proceso se procede a poner la máscara de componentes impresa sobre la placa a fin de guiar en una correcta ubicación de cada componente, figura 54-3, culminando con la verificación de la correcta conexión de cada pista mediante una prueba de continuidad empleando un multímetro.



Figura 54-3: Adecuación de los componentes en la placa electrónica

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.3.6 *Montaje de componentes electrónicos*

Finalmente, se procede con la ubicación e identificación de todos los módulos componentes en la placa electrónica del dispositivo. Una vez más mediante el empleo del multímetro se verifica la correcta conexión con cada uno de los módulos componentes, así como la regulación de voltaje en los módulos reguladores a fin de garantizar el correcto suministro de voltaje para cada uno de los componentes. En la figura 55-3, se presenta la placa electrónica con sus componentes montados y listos para ser ubicados en la caja contenedora del dispositivo.

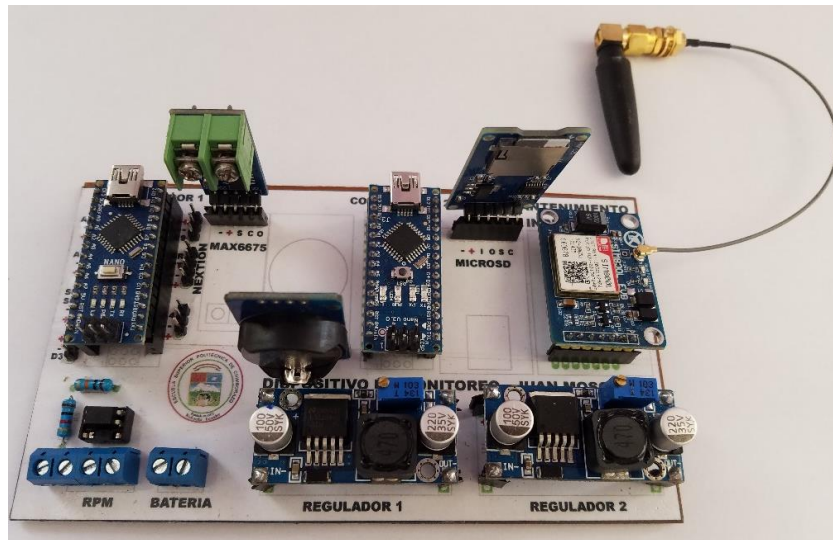


Figura 55-3: Placa electrónica implementada del dispositivo de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.4 *Construcción de la caja contenedora del dispositivo*

Por lo mencionado, debido a las condiciones ambientales a las cuales se somete el dispositivo de monitoreo, se construye una caja contenedora en acero inoxidable de 1 mm de espesor, con dimensiones de 150x100x100 mm considerando una superficie amplia para la correcta conexión de los componentes del sistema. Además, dispone de apertura por la parte superior para facilitar la instalación y operaciones de mantenimiento; presenta cortes en la cara frontal para instalar la pantalla HMI Nextion y orificios de ½ pulgada y 5,5 mm para poder ingresar el cableado de los sensores e instalar la antena del módulo SIM800L respectivamente.

La figura 56-3 muestra el resultado de la construcción.



Figura 56-3: Caja contenedora construida en acero inoxidable de 1 mm de espesor
Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.12.5 Implementación de la placa electrónica en la caja contenedora

Finalmente se procede con la ubicación de todos los componentes descritos del sistema dentro de la caja contenedora, instalando la pantalla HMI Nextion en la parte frontal del dispositivo y la antena del módulo GSM en la parte lateral derecha, ingresando los cables por la cara izquierda. Una vez instalado se procedió con la energización del dispositivo para comprobar el funcionamiento, quedando de esta manera el dispositivo listo para ser instalado en la maquina compactadora CS533E y ejecutar el periodo de pruebas durante el tiempo establecido. En la figura 57-3 se evidencia el resultado de la implementación del dispositivo y la prueba de funcionamiento previo a su instalación en el habitáculo del rodillo compactador.



Figura 57-3: Implementación del dispositivo en la caja contenedora
Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.13 Instalación del dispositivo de monitoreo en la maquina compactadora

La instalación del dispositivo de monitoreo contempla la ubicación de la caja contenedora junto con la tarjeta electrónica y los sensores escogidos para la medición de temperatura y revoluciones del motor. Para ello se realiza un reconocimiento de los puntos estratégicos que garanticen su funcionamiento.

3.13.1 Ubicación de los sensores

En primer lugar, se realiza la ubicación de los sensores debido a que su correcto funcionamiento podrá garantizar una correcta medición de los parámetros que se quieren registrar con el dispositivo de monitoreo. En su ubicación se busca lugares que no tengan elementos que puedan ocasionar daños en su integridad, así como no afectar a la operatividad del rodillo compactador.

3.13.1.1 Sensor de Temperatura

Para la medición de la temperatura del motor de combustión se cuenta con una termocupla tipo anillo con orificio para rosca M8, y con cable de conexión compensado de teflón para garantizar la operatividad en condiciones ambientales de temperatura y humedad elevadas. La ubicación del mismo se realiza en la parte lateral izquierda del motor, fijándolo mediante la sujeción de un perno M8 que hace contacto directo con el bloque de cilindros del motor permitiendo de esta manera medir de forma directa la temperatura; a pesar de que el cable descrito es resistente a condiciones extremas en la implementación se hace empleo de manguera corrugada de media pulgada para dar una protección extra al cable y proteger su integridad. El resultado de la implementación del sensor se presenta en la figura 58-3.



Figura 58-3: Ubicación del sensor de temperatura en el motor

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.13.1.2 *Sensor de Revoluciones.*

De igual forma para el caso de las revoluciones se tiene un sensor inductivo NPN con cable recubierto de 3 hilos para su conexión; misma que puede trabajar sobre los 80 °C logrando la integridad del cable mediante el uso de igual manera de manguera corrugada. Por sus características de funcionamiento el sensor detecta elementos metálicos a una distancia de hasta ocho milímetros y emite señales pulsantes de salida; por lo cual el sensor se adecuó mediante una base soldada en vista directa al eje de giro principal del motor de combustión, el cual cuenta con una rueda interna con cuatro círculos metálicos mismos que serán detectados por el sensor. La ubicación en el punto detallado garantiza la lectura real a la que revoluciona el motor ya que si se escogería otro punto se deberían hacer consideraciones en relación a la transmisión de giro. En la figura 59-3 se muestra el resultado de la implementación del sensor.

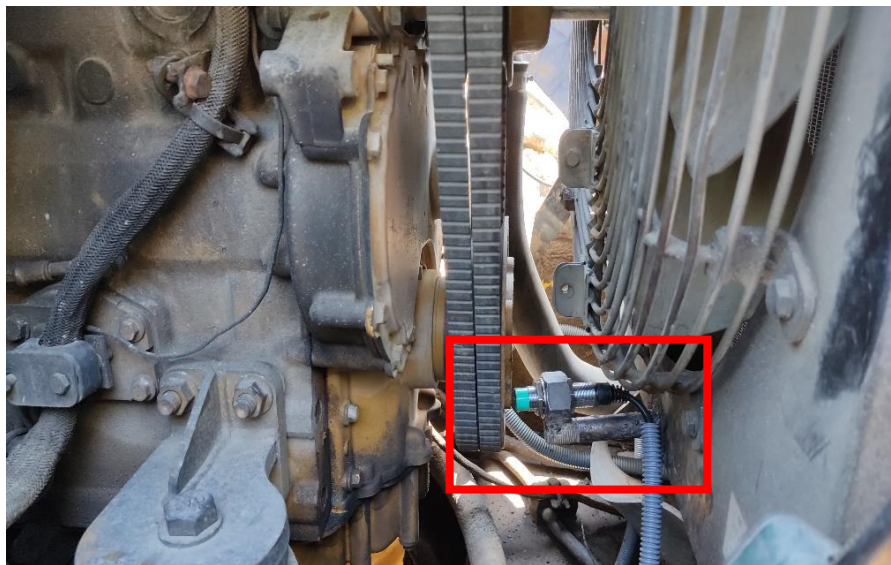


Figura 59-3: Ubicación del sensor de revoluciones en el motor

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.13.2 *Ubicación de la caja contenedora del dispositivo de monitoreo.*

Con los sensores ubicados se procedió a la instalación de la caja contenedora del dispositivo de monitoreo en el habitáculo del rodillo compactador. En primer lugar, se inició con el paso de protección del cableado de los sensores cubiertos por la manguera corrugada hacia el lugar de operación de la maquinaria como se puede observar en la figura 60-3.



Figura 60-3: Adecuación y delimitación del recorrido del cableado de sensores

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Con los cables dentro de la cabina, se procedió a la instalación de la caja contenedora en la esquina superior izquierda, lugar recomendado por el operador del rodillo compactador ya que le permite la operación de la maquinaria sin afectar su campo de vista permitiéndole un registro continuo de las mediciones.

Además, el lugar prestaba las condiciones apropiadas ya que es una zona que cuenta con protección ante lluvia; mediante el uso de un taladro y brocas de metal se procedió a hacer orificios que permitan sujetar mediante pernos la caja contenedora misma que en su diseño cuenta con orificios laterales para su instalación. En la figura 61-3 se puede evidenciar el resultado de la instalación.



Figura 61-3: Ubicación de la caja contenedora en el habitáculo de la maquinaria

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.14 Pruebas de funcionamiento.

Una vez instalado y energizado se procedió a realizar la toma de las primeras pruebas de funcionamiento del dispositivo de monitoreo mediante la verificación de la adquisición de datos a través del registro en la tarjeta MicroSD y plataforma durante una jornada de trabajo. Para lo cual inicialmente se comprueba la generación del archivo en la tarjeta MicroSD, mediante la extracción de la misma y su inserción en una computadora quedando evidenciado su creación en la figura 62-3; el registro que almacena la información de temperatura y revoluciones del motor tiene por nombre DATALOG.txt.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
la semana pasada (1)			
dataFile.txt	04/08/2021 22:14	Documento de te...	0 KB
hace mucho tiempo (1)			
DATALOG.TXT	01/01/2000 1:00	Documento de te...	17 KB

Figura 62-3: Generación del archivo en la tarjeta MicroSD

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

A continuación, se presenta un extracto de la información registrada en el archivo, figura 63-3, pudiendo evidenciar la adquisición correcta de las variables cada minuto como se estableció en el diseño del dispositivo. Cada nuevo registro es ingresado con la identificación del dispositivo, fecha y hora de adquisición, así como el valor de temperatura y revoluciones en ese periodo de tiempo.

```
*DATALOG.TXT: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:28:0 TEMPERATURA: 55.71 RPM: 1932
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:29:0 TEMPERATURA: 58.35 RPM: 1932
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:30:0 TEMPERATURA: 58.44 RPM: 1946
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:32:0 TEMPERATURA: 61.75 RPM: 1904
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:33:0 TEMPERATURA: 65.12 RPM: 1806
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:34:0 TEMPERATURA: 65.75 RPM: 1974
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:35:0 TEMPERATURA: 66.00 RPM: 1946
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:36:0 TEMPERATURA: 69.15 RPM: 1960
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:38:0 TEMPERATURA: 71.33 RPM: 1792
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:39:0 TEMPERATURA: 75.85 RPM: 1960
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:40:0 TEMPERATURA: 77.52 RPM: 1806
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:41:0 TEMPERATURA: 78.00 RPM: 1862
MONITOREO MOTOR RODILLO COMPACTADOR CS533E - FECHA: 2021/8/5 13:42:0 TEMPERATURA: 80.25 RPM: 2044
```

Figura 63-3: Generación del archivo en la tarjeta MicroSD

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

En la tabla 18-3 se muestran los datos obtenidos por el sistema durante una jornada laboral el día 5 de agosto de 2021 en horario de 7:30 a 15:30 hora de ingreso y salida establecidos por el GAD Provincial, tomando como datos a mostrar los registrados cada media hora de funcionamiento y así resumir el trabajo del dispositivo. Mencionando que en el apartado de resultados se consideraran la totalidad de datos registrados para efectuar su análisis completo.

Tabla 18-3: Datos registrados por el dispositivo el día 2021/08/5

Fecha	Hora	Temperatura	Revoluciones
2021/8/5	7:30:0	47,10	500
2021/8/5	8:00:0	49,33	1086
2021/8/5	8:30:0	48,44	940
2021/8/5	9:00:0	52,00	1520
2021/8/5	9:30:0	53,76	1733
2021/8/5	10:00:0	55,78	1820
2021/8/5	10:30:0	58,00	1960
2021/8/5	11:00:0	61,00	2044
2021/8/5	11:30:0	65,00	1940
2021/8/5	12:00:0	71,00	2150
2021/8/5	12:30:0	78,80	0
2021/8/5	13:00:0	50,10	440
2021/8/5	13:30:0	58,44	1946
2021/8/5	14:00:0	63,55	2010
2021/8/5	14:30:0	71,79	2200
2021/8/5	15:00:0	82,00	2100
2021/8/5	15:30:0	80,00	330

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Cabe destacar que al momento de realizar la instalación del dispositivo la maquinaria se encontraba en un punto selvático a tres horas de la ciudad del Tena en el que no existe la cobertura de operadoras móviles, no fue posible registrar la visualización de los datos en la plataforma IOT. Ya que la maquinaria en su jornada se mantiene en la zona hasta terminar la obra, se espera la operación de la misma en una zona con cobertura para poder determinar su desempeño en el apartado de resultados. Evidenciando de esta manera la importancia de contar con un registro de datos de respaldo independiente del uso de internet.

Sin embargo, en la figura 64-3 se muestra las primeras pruebas de registro de datos en la plataforma efectuado en una zona con cobertura.

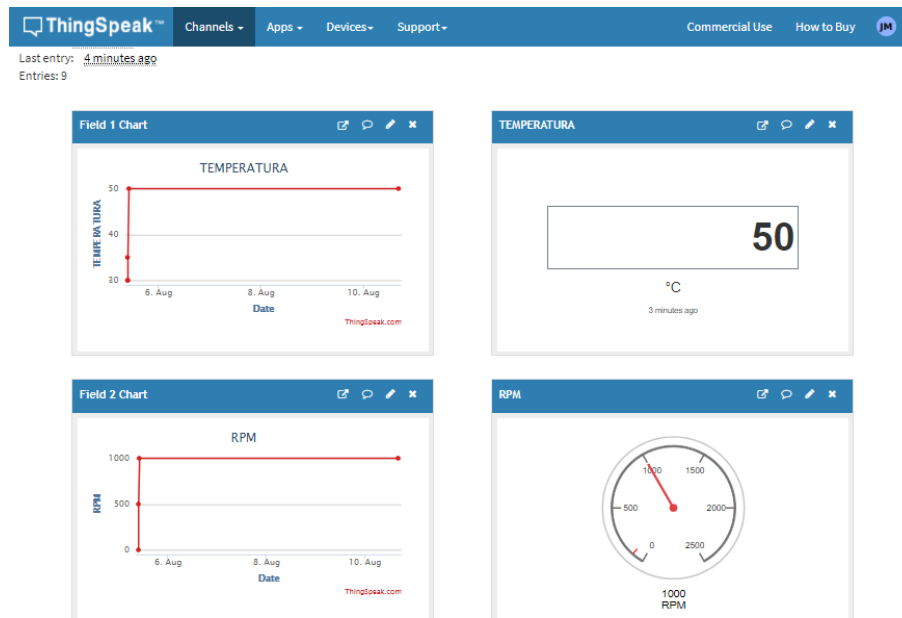


Figura 64-3: Pruebas de registro de datos en la plataforma IOT

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

3.15 Cálculo de la eficiencia de almacenamiento de datos del dispositivo

Con las primeras pruebas de funcionamiento del dispositivo de monitoreo, se presenta el procedimiento para determinar la eficiencia en el almacenaje de los datos del dispositivo, mismo que se basa en el cálculo del error porcentual entre la muestra estimada en las consideraciones de operación y los datos obtenidos culminado los días de prueba de funcionamiento.

Para ejecutar este análisis se inicia con el cálculo de la diferencia entre muestras de los datos estimados y los registros reales mediante el empleo de la ecuación 5.

Ecuación para determinar la diferencia entre muestras de datos.

$$DM = MTE - MRA \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

DM = diferencia entre muestras

MTE = muestra total estimada

MRA = muestra real almacenada

Calculada la diferencia se procede a calcular el error porcentual que se obtiene en el almacenamiento de datos, a partir de la ecuación 6.

Ecuación para determinar el error porcentual

$$EP = \frac{DM}{MTE} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

EP = error porcentual

DM = diferencia entre muestras

MTE = muestra total estimada

A continuación, en el apartado de resultados se muestran los datos obtenidos que sirven para determinar el correcto desempeño del dispositivo de monitoreo.

CAPÍTULO IV

4 MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al ejecutar el diagnóstico técnico al motor de combustión CAT 3054-C del rodillo compactador marca CATERPILLAR, modelo CS533E así como los resultados al aplicar un monitoreo continuo de los parámetros de la temperatura y revoluciones del equipo en cuestión, mediante la implementación del dispositivo de monitoreo; se caracterizó la respuesta del sistema en función de los requisitos del trabajo que permitan visualizar y analizar los parámetros de funcionamiento para ello se comparó la temperatura registrada en función de las revoluciones a las que opera el motor en una jornada laboral semanal, destacando la detección temprana de fallas basados en el mantenimiento por condición. Adicionalmente se ejecutó un análisis de costos que permita tener la referencia de la implementación del dispositivo en trabajos futuros.

4.1 Resultados obtenidos al ejecutar el diagnóstico técnico a los cilindros del motor de combustión CAT 3054C

De la información presentada en el capítulo III, al ejecutar el diagnóstico técnico al motor de combustión CAT 3054-C se dejó un precedente de que el empaque de la culata del motor se encuentra dañado, mal apretado, mal asentado o mal seleccionado ocasionando así fugas de compresión las cuales afectan al rendimiento total del rodillo compactador; para ello, la Sub Dirección de Transporte y Maquinaria del GAD Provincial de Napo decidió tomar las acciones correctivas necesarias para devolver por completo la función requerida al equipo realizando la sustitución del empaque de la culata por otro de similares características y especificaciones técnicas. En la figura 1-4 se puede evidenciar la sustitución del empaque de la culata del motor de combustión ya que el mismo sufrió desprendimiento en su recubrimiento.



Figura 1-4: Sustitución del empaque de la culata del motor de combustión

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Una vez realizado el cambio del empaque de la culata del motor de combustión, se efectuaron nuevas mediciones de compresión a los cilindros del motor con la finalidad de comprobar la incidencia en los nuevos valores obtenidos en este proceso. La tabla 1-4 indica los nuevos valores obtenidos por el instrumento de medición.

Tabla 1-4: Medidas de compresión en los cilindros al realizar la sustitución de empaques

	MEDICIÓN	CILINDROS (PSI)			
		1	2	3	4
PRUEBA EN HÚMEDO	1	390	388	384	391
	2	389	390	386	390
	3	389	389	388	391
	4	391	388	387	392
	PROMEDIO	390	389	387	391

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

De la información que se indica en la tabla 1-4, se puede evidenciar que todos los cilindros del motor de combustión presentan una uniformidad en el promedio de sus lecturas al realizarse la correcta sustitución del empaque de la culata.

Por consiguiente, se atribuye que el motor de combustión CAT 3054-C se encuentra dentro de los límites de operación que refiere el fabricante CATERPILLAR, encontrándose así apto para la implementación del dispositivo de monitoreo y garantizar una correcta toma de mediciones de los parámetros de temperatura del motor de combustión y revoluciones del mismo.

4.2 Resultados obtenidos del sistema de instrumentación

4.2.1 Resultados del diseño

Acorde a lo expuesto en el diseño del sistema de monitoreo desarrollado en el capítulo III, se obtuvo como resultado un diseño moderno del sistema de instrumentación que presenta atributos escalables para la adecuación de nuevos sensores, compatibilidad con una amplia gama de componentes y tamaño compacto. Logrando tener un dispositivo no invasivo de fácil instalación que no afecte en el desempeño de la maquina compactadora.

La tabla 2-4 presenta las características resultantes del sistema de instrumentación. Mismo que hace empleo de materiales resistentes a las condiciones de operación. En el que los sensores empleados al ser de tipo industrial garantizan la fiabilidad en la medición de las variables a monitorear.

Tabla 2-4: Características resultantes del sistema de instrumentación

Característica	Detalle	Resultado
Tamaño	150x85x100 mm	Tamaño compacto
Material	Plástico con lámina de cobre	Material resistente a la humedad
Conectores	Espadín y borneras	Conectores de fácil conexión de componentes
Componentes	Electrónicos	Compatibles con tarjeta controladora
Sensores	Termocupla e inductivo	Sensores industriales resistentes a trabajo robusto
Pantalla	Táctil tamaño 3,5''	Correcta visualización de variables
Almacenamiento	Tarjeta SD	Buena capacidad y registro de datos
Comunicación	SIM800L	Correcta conexión a red celular GPRS
Alimentación	Reguladores LM2596	Adecuación optima del voltaje operativo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.2.2 Resultados de la construcción

La figura 2-4 muestra visualmente el resultado obtenido de la construcción del sistema de instrumentación empleado en el dispositivo de monitoreo, se puede evidenciar los conectores que dispone mismos que permiten adecuar nuevos componentes electrónicos.



Figura 2-4: Sistema de instrumentación del dispositivo de monitoreo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.2.3 Resultados de costos

Al finalizar la construcción de todo nuevo sistema se debe revisar y evaluar los recursos en los que se ha destinado el dinero, y determinar su rentabilidad frente a posibles competencias o desarrollo de trabajos similares. Para el caso del sistema de instrumentación la tabla 3-4 muestra los costos abarcados.

Tabla 3-4: Costos del dispositivo implementado

Cantidad	Descripción	Unidad	Precio unitario USD	Precio total USD
2	Placas Arduino Nano Atmega 328P	-	10,00	20,00
1	Módulo Sim800L	-	35,00	35,00
1	Pantalla Nextion 3,2 pulgadas	-	55,00	55,00
2	Regulador de voltaje LM2596	-	3,50	7,00
1	Módulo RTC	-	4,00	4,00
1	Módulo SD	-	4,50	4,50
1	Módulo Max	-	10,00	10,00
1	Porta fusible y fusibles automotrices	-	5,00	5,00
1	Termocupla tipo K	-	60,00	60,00
1	Sensor inductivo NPN	-	50,00	50,00
15	Metros extensión cable sensor inductivo	-	45,00	45,00
40	Metros cable 4x18 AWG	-	0,45	18,00
1	Componentes electrónicos varios	-	25,00	25,00
1	Plancha acero inoxidable 410 500x500x1	mm ²	20,00	20,00
2	Suelda	-	1,00	2,00
4	Tornillo micro perforante	-	0,05	0,20
2	Pernos	-	0,10	0,20
1	Costos de fabricación y montaje	-	31,25	31,25
1	Costos transporte y varios	-	130,00	130,00
1	Costos indirectos	-	104,40	104,40
TOTAL				626,55

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Del análisis mostrado se obtuvo que el costo total invertido en el dispositivo de monitoreo implementado en el rodillo compactador es de 626,55 USD. Costo que sirve de referente para su réplica y futura implementación en trabajos o maquinarias similares.

4.3 Resultados obtenidos del monitoreo de variables durante una jornada laboral

Los resultados obtenidos del monitoreo de las variables temperatura y revoluciones del motor en un periodo de 7 días bajo condiciones normales, se obtuvieron a partir del cálculo del error en el almacenamiento de datos por parte del dispositivo contrastando estos datos con los estimados en las consideraciones de diseño evidenciadas en el capítulo III.

Previo a la ejecución del periodo de pruebas se realizó la socialización del trabajo al personal de mantenimiento y operador del rodillo compactador; así como la caracterización de las condiciones climáticas de la zona geográfica donde se efectuó el registro de datos.

4.3.1 Socialización del dispositivo al personal de mantenimiento

Dentro del alcance del presente trabajo se contempló la ejecución de la socialización del dispositivo de monitoreo al personal de mantenimiento del GAD Provincial Napo. Una vez que se instaló el dispositivo en la maquinaria se realizó el proceso descrito dando como resultado la aceptación totalitaria por parte del personal, mismos que estuvieron de acuerdo que contar con el dispositivo les permitirá tener una fuente de información fiable de la operación del motor combustión de la maquinaria a fin de programar acciones ya sean preventivas o correctivas.

Para la socialización del dispositivo de monitoreo, se contó con la presencia de todo el personal responsable de la maquinaria como son: Sub Director de Mantenimiento, Transporte y Maquinaria, Supervisor de Mantenimiento y Operador de maquinaria; pudiendo alcanzar resultados satisfactorios al momento de dar a conocer la operación y beneficios del desarrollo del trabajo, hecho que se puede evidenciar en la figura 3-4. Además, como resultado de este proceso en el Anexo C se presenta la documentación emitida por parte del encargado del personal que avala la ejecución e implementación del presente trabajo.



Figura 3-4: Socialización del dispositivo al personal de mantenimiento

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.3.2 Condiciones climáticas de la zona geográfica donde se ejecutaron las pruebas

El rodillo compactador donde se implementó el dispositivo opera en toda la provincia de Napo cumpliendo con jornadas laborales semanales de trabajo continuo en zonas alejadas al límite de la provincia. Para la correcta ejecución de las pruebas del monitoreo de las variables se efectuó el análisis de las condiciones climáticas de la zona a fin de garantizar la operatividad del dispositivo determinando que estas se encuentren dentro del rango de funcionamiento previsto en el diseño. La jornada laboral en el que se ejecutó el análisis de datos se desarrolló en la comunidad Santo Domingo de Alto Atahualpa, teniendo como resultado un clima tropical con una temperatura promedio de 26 °C, una máxima de 31 °C y una humedad relativa media de 85 %.



Figura 4-4: Prueba de funcionamiento en la comunidad Santo Domingo

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.3.3 Parámetros de error en el almacenamiento de datos

Para el análisis de datos registrados por el dispositivo de monitoreo se tomó como referencia el número de muestras estimadas a almacenar durante la operación del rodillo compactador en una jornada laboral de siete días, configurando el almacenamiento de datos en la tarjeta de memoria MicroSD cada minuto y en la plataforma Thingspeak 3 minutos teniendo de esta manera un total de 3360 y 1680 muestras totales respectivamente, para valorar la eficiencia de almacenamiento de datos temperatura y revoluciones del dispositivo de monitoreo.

Con el total de muestras estimadas se realizó una comparativa con los datos reales almacenados en el archivo de registro de la tarjeta MicroSD y el número de registros de datos en la plataforma, mediante la aplicación del procedimiento descrito en el capítulo III.

4.3.3.1 Almacenamiento en la tarjeta MicroSD

Al momento de comprobar la cantidad de datos almacenados en el archivo Datalog.txt, archivo que registra las lecturas de temperatura y revoluciones del motor cada minuto en la MicroSD, se evidenció un total de 3360 registro de datos, mediante el empleo de la ecuación 5 se determinó que no existe diferencia entre los datos estimados a almacenar y los datos reales almacenados, como se evidencia en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Error porcentual almacenamiento datos en MicroSD

Muestra Estimada	Muestra Real	Diferencia entre Muestras	Error Porcentual
3360	3360	0	0 %

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

La no existencia de una diferencia entre muestras, comprobó la efectividad de almacenamiento en un 100% de datos apoyado en el 0 % de error obtenido mediante el empleo de la ecuación 6. Además, con la ejecución de este análisis se pudo verificar el correcto desempeño de este sistema de almacenamiento del dispositivo de monitoreo, en el que en conjunto con la precisión del reloj en tiempo real asegura el almacenamiento de la información al tiempo previsto, destacando que al ser un sistema que no depende de factores externos como empleo de internet permite registrar toda la información necesaria sin tener pérdidas de datos.

4.3.3.2 Plataforma Thingspeak.

En el caso de la plataforma Thingspeak, si bien se calculó un estimado total de datos para analizar, al momento de comprobar la cantidad de registros dentro de la plataforma se evidencio un total de 1664 entradas de datos; mediante el empleo de la ecuación 5 se encontró la diferencia entre muestras obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 5-4: Error porcentual almacenamiento plataforma

Muestra Estimada	Muestra Real	Diferencia entre Muestras	Error Porcentual
1680	1664	16	1 %

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

Se obtuvo un error del 1 % debido a las características de la red GSM misma que acorde a la calidad de señal en los puntos geográficos donde opera la maquinaria puede incurrir en un tiempo de retraso en la transmisión de la información o por falta de cobertura celular la no publicación del dato en la plataforma, resultando en la disminución de datos proyectados.

Debido a que el error calculado es de 1 % esta pérdida se considera despreciable en zonas que cuenten con cobertura celular. Destacando que en el caso de zonas donde no existe infraestructura telefónica celular el sistema de almacenamiento en la tarjeta MicroSD respalda la información a pesar que el dato no sea publicado en la plataforma.

4.4 Resultados obtenidos del análisis estadístico de las variables monitoreadas

Con la implementación del dispositivo durante un periodo de prueba se obtuvo una serie de datos almacenados en los sistemas de registro de información. Mismos que a partir del análisis en un programa estadístico arrojaron como resultado el comportamiento de las condiciones operativas del motor, llegando a determinar la relación entre las variables monitoreadas.

4.4.1 *Análisis de las condiciones operativas del motor*

Para efectuar el análisis de las condiciones operativas del motor del rodillo compactador se tomaron la totalidad de registros de datos almacenados en la tarjeta MicroSD, debido a que se contaba con una mayor cantidad permitiendo de esta manera tener un enfoque más amplio del fenómeno en estudio.

4.4.1.1 *Temperatura del motor durante el periodo de pruebas*

El parámetro de medición de temperatura del motor de combustión estuvo en un rango de 45 a 50 °C al inicio de las labores de la maquinaria. Además, se pudo comprobar que el motor estuvo expuesto a un rango de temperatura máxima entre 115 y 120 °C durante periodos de tiempo del día trabajando sobre la temperatura nominal normal del fabricante, como se puede evidenciar en el gráfico 1-4. Se destaca además que en el total de muestras analizadas el motor tuvo una media de temperatura de 86,63 °C.

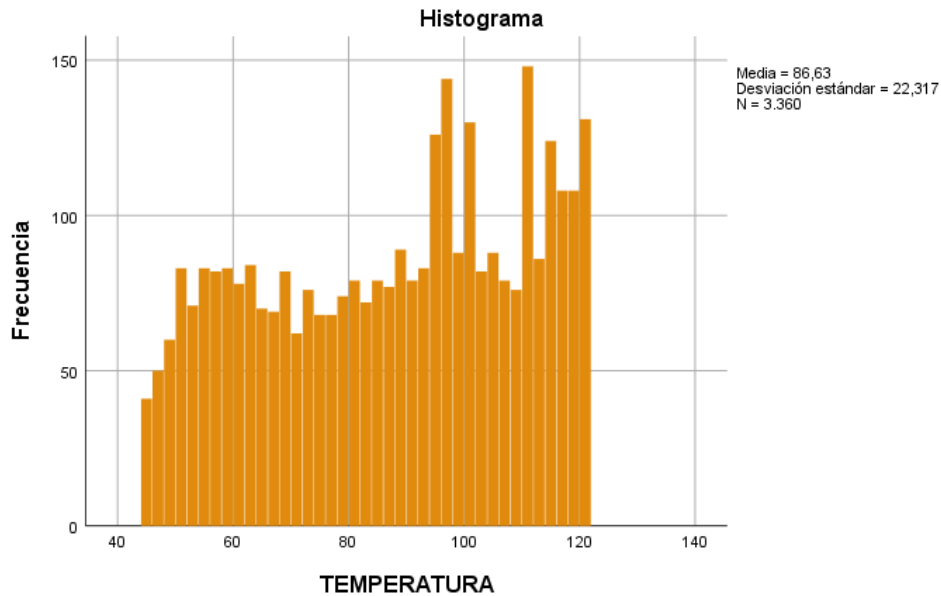


Gráfico 1-4: Frecuencia de valores de Temperatura del motor de combustión

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.4.1.2 *Revoluciones por minuto del motor durante el periodo de pruebas*

Respecto a las revoluciones es un factor que influye en la temperatura de operación del motor, en el gráfico 2-4 se presenta que la mayor parte de tiempo las revoluciones a las que operó el motor estuvieron debajo las 2000 revoluciones teniendo una media de 1191 revoluciones por minuto, llegando a operar por determinados periodos de tiempo sobre este valor llegando a alcanzar la máxima revolución en el motor de la maquinaria siendo 2400 revoluciones por minuto. Resultado que concuerda con la información recopilada por el operador en la cual se manifestó que el motor al operar cercano a las 2400 revoluciones, la temperatura de agua sobrepasa el límite admisible y el indicador adicional con el que cuenta la maquinaria advierte esta anomalía provocando la disminución de revoluciones o el apagado momentáneo del motor.

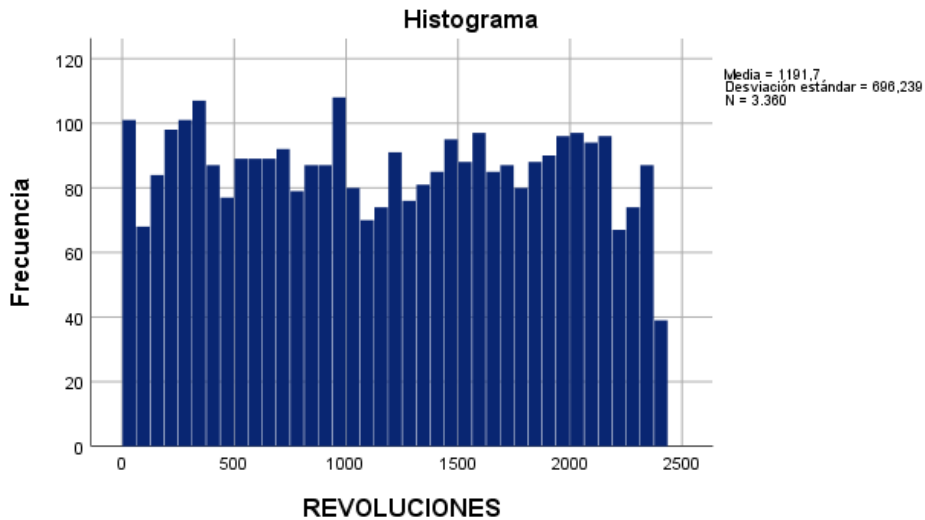


Gráfico 2-4: Frecuencia de valores de Revoluciones del motor de combustión

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.4.1.3 *Temperatura del motor en función del tiempo durante un día de trabajo*

Acorde a los resultados obtenidos en el gráfico 3-4 se presenta el comportamiento que evidencio la temperatura del motor a lo largo de un día de operación. La gráfica muestra que debido al efecto térmico y a que el motor se encuentra siempre encendido operando, una vez que inicia la operación del motor la temperatura incrementa hasta llegar a un límite máximo, llegado a ese límite el motor toma un tiempo para disminuir su valor, pero manteniéndose dentro del rango de operación de temperatura de un motor de combustión en operación siendo entre 90 y 120 °C. Quedando debajo de este valor únicamente al inicio en el que el motor pasa un tiempo prudente apagado.

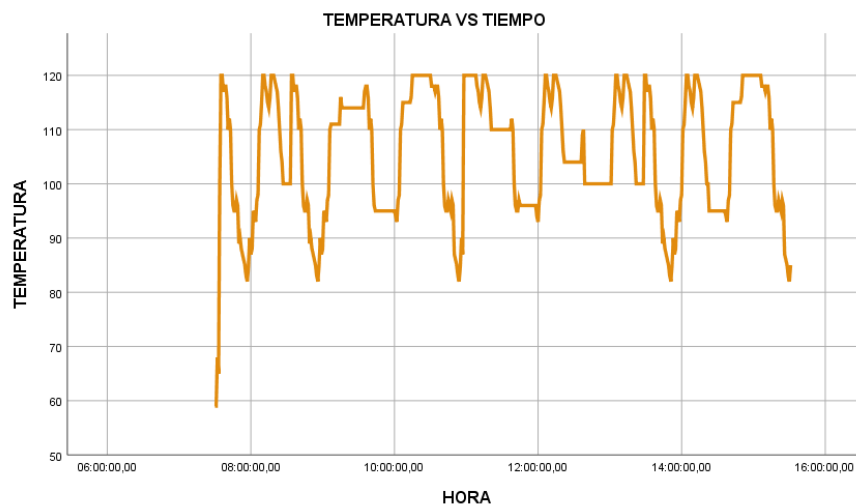


Gráfico 3-4: Comportamiento de la temperatura del motor en un día de operación

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.4.1.4 *Revoluciones del motor en función del tiempo durante un día de trabajo*

El parámetro de revoluciones por minuto del motor a lo largo de un día laboral presenta la forma mostrada en el gráfico 4-4, a diferencia de la temperatura este parámetro es variable dependiendo de forma directa de la aceleración o desaceleración del motor. Si bien influye en el incremento de temperatura de operación del motor se tiene como resultado la no influencia estricta sobre la temperatura, quedando evidenciado que la operación de aceleración contribuye al incremento progresivo de temperatura y la desaceleración no logra una reducción instantánea de la misma, debido al efecto térmico el motor tarda un tiempo en disminuir su temperatura.

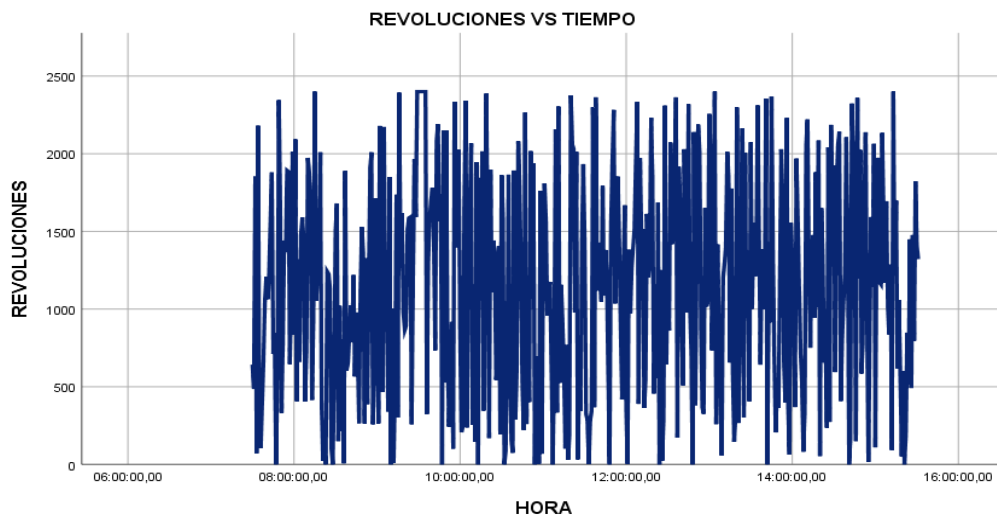


Gráfico 4-4: Comportamiento de las revoluciones del motor en un día de operación

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

4.4.1.5 *Temperatura en función de las revoluciones del motor*

Finalmente, en el análisis de datos se efectuó una relación entre la variación de la temperatura y las revoluciones del motor de combustión durante su operación. El gráfico 5-4 muestra la relación estudiada, se verificó que al momento del arranque del motor este sufre un incremento en su temperatura pasando de una temperatura inicial entre 45 a 50 °C hasta llegar a valores entre 90 y 120 °C mediante el continuo incremento de las revoluciones durante su operación, pudiendo verificar que el motor se encuentra en óptimas condiciones operativas, evidenciando además que en el máximo número de revoluciones la temperatura del motor puede estar sobre el límite máximo permisible de operación pudiendo incurrir en la generación de fallos.

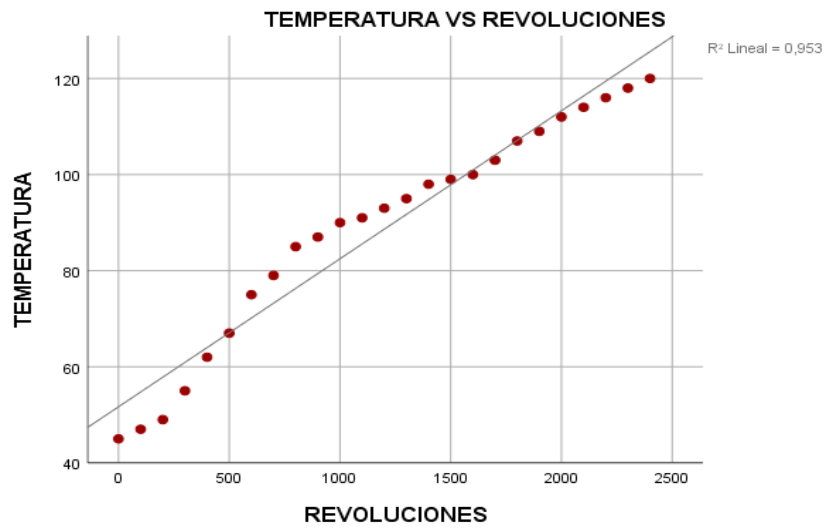


Gráfico 5-4: Temperatura en función de las revoluciones del motor

Realizado por: Mosquera, Juan, 2021.

CONCLUSIONES

- La ejecución previa del diagnóstico técnico efectuado al motor de combustión CAT 3054-C del rodillo compactador CS533E, permitió realizar un análisis de la condición inicial en la que se encuentra la compresión de los cilindros del motor con la finalidad de evitar ser desmontado íntegramente, detectando así anomalías que afecten el rendimiento general del equipo y pongan en peligro la correcta funcionalidad del rodillo compactador.
- El diseño del sistema de monitoreo basado en componentes e instrumentación electrónica no invasiva ayudó en la construcción de un dispositivo compacto que pudo ser instalado sin inconveniente dentro del habitáculo del rodillo compactador teniendo en cuenta que la caja protectora salvaguarda la integridad del dispositivo en condiciones climáticas adversas, así como su ubicación en una zona adecuada no interfiere en el desarrollo de las actividades del operario y permite el fácil acceso a la visualización de las variables monitoreadas.
- El uso de fusibles como elementos de protección para la tarjeta electrónica, cuida al dispositivo de daños ocasionados en el sistema eléctrico del rodillo compactador, permitiendo de esta manera garantizar el registro y visualización en la plataforma IOT, así como la pantalla HMI de las variables temperatura y revoluciones del motor del rodillo compactador en condiciones normales de operación.
- La implementación del dispositivo de monitoreo evidenció que contar con un sistema de almacenamiento de datos con respaldo independiente al servicio de internet, resuelve la pérdida de registros en la plataforma web de monitoreo en las zonas donde no se cuenta con cobertura celular GPRS. Permitiendo tener la cantidad total de datos estimados y así efectuar un análisis completo referente a la tendencia de operación del motor de combustión del rodillo compactador CS533E basado en la temperatura y revoluciones por parte del personal de mantenimiento del GAD Napo.
- El uso de una plataforma de visualización con tecnología IOT contribuyó al monitoreo en tiempo real de los parámetros temperatura y revoluciones del motor durante el periodo de pruebas, por parte de la persona responsable de la supervisión del rodillo compactador mediante el acceso a los datos registrados por el dispositivo a través de cualquier dispositivo con acceso a internet.
- La red de comunicación celular 3G empleada en la transmisión de datos hacia la plataforma cumplió con el objetivo de la actualización continua de los datos registrados permitiendo establecer una correcta comunicación en zonas alejadas de operación de la maquinaria dentro del área de cobertura. Permitiendo a la Sub Dirección de Mantenimiento y Transporte del GAD Provincial de Napo, tener acceso a datos actualizados sobre la operación de la maquinaria y así establecer acciones preventivas o correctivas de mantenimiento.

- El análisis estadístico aplicado a los datos recolectados por el dispositivo de monitoreo durante el periodo de prueba logró establecer una relación entre la temperatura y revoluciones con las que opera la maquinaria durante una jornada laboral, evidenciando que el trabajo prolongado del rodillo compactador con su motor a máxima revolución provoca el incremento subsecuente de su temperatura hasta los niveles máximos permisibles según los datos del fabricante.
- La operación continua del motor al límite de su máximo nivel de temperatura pudo haber sido causal de los daños evidenciados en los cilindros del motor de los rodillos compactadores que se encuentran inoperativos y almacenados en los talleres del GAD Provincial de Napo. Permitiendo de esta manera establecer la funcionalidad del dispositivo de monitoreo, así como la ayuda que brinda al personal de mantenimiento para precautelar la operación de la maquinaria.

- **RECOMENDACIONES**

- Aprovechar la capacidad total del diseño del dispositivo mediante la ampliación de variables a monitorear en el rodillo compactador ya que cuenta con las prestaciones para la adecuación de nuevos sensores que permitan tener un registro amplio de parámetros que incidan en el funcionamiento del motor, dando de esta manera al personal de mantenimiento una herramienta que facilite la detección y prevención de fallas
- Realizar un análisis de los datos recolectados de temperatura y revoluciones del motor en el rodillo compactador mediante el dispositivo de monitoreo, apoyados de un sistema especializado que permita conocer a profundidad el comportamiento de la maquinaria y así predecir posibles daños que inhabiliten la operación del rodillo compactador.
- Ejecutar una revisión periódica de la condición operativa de las baterías con las que cuenta la maquinaria ya que además de precautelar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico del rodillo compactador y sus componentes, son las encargadas de suministrar el nivel energético idóneo que garantice la operación del sistema de monitoreo implementado. Además, se recomienda la instalación de un estabilizador de energía que añada un elemento de protección a la tarjeta electrónica.
- Finalmente, se recomienda efectuar un estudio referente a la posible implementación del dispositivo desarrollado en el presente trabajo, en los demás rodillos compactadores pertenecientes al GAD Napo ubicados en los talleres de mantenimiento una vez que estos se encuentren nuevamente operativos para evitar de esta manera futuros daños.

BIBLIOGRAFÍA

CATERPILLAR, I. *Motor caterpillar 3054C-dit rating intermitente 74 kW @ 2300 RPM.* 1–6 [en línea]. 2017. Disponible en: https://www.finanzauto.es/images/documentos/productos/soluciones_energeticas_propulsion/industrial/3054C_IND_IND-005.pdf

CHUGÑAY CARGUA, Manfredy Ismael. Diseño e implementación de un sistema portátil para mediciones de deformación en ensayos de resistencia de materiales para la carrera de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo [en línea]. 2018. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 1-92. [Consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8082/1/20T00972.pdf>

ESCUADERO, S., GONZÁLEZ, J., RIVAS, J., & SUÁREZ, A. *Motores de combustión Diesel* [en línea]. 2016. [Consulta: 03 junio 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/44325818/Motores_Secundino_Escudero_Macmillan

FEDELE, Lorenzo. "La internet de las cosas IoT, *Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance*" [en línea]. 2015, pp. 63-112. [Consulta: 04 junio 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5_5

GRAJALES, J. A., QUINTERO, H. F., ROMERO, C. A., HENAO, E., LÓPEZ, J., & TORRES, D. "Monitoreo de Condición en Motores de Combustión Interna Monocilíndricos con Base en Adquisición y Procesamiento de Señales Experimentales", *KnE Engineering*, [en línea]. 2018, 3(1), 736 [Consulta: 03 junio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1477>

GUACHO, M., & REA, E. Control Del Funcionamiento De Sensores Actuadores Y Verificación De La Ecu Mediante La Implementación De Un Motor Virtual Para La Escuela De Ingeniería Automotriz. [en línea]. 2014. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 1-67. [Consulta: 04 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4690>

HURTADO, A. Guía de Aprendizaje diagnóstico de motor Diesel y Gasolina. *Dpto. Mecánica Automotriz*, [en línea]. 2019, 40. [Consulta: 04 junio 2021]. Disponible en: https://issuu.com/nikoaku/docs/guia_aprendizaje_diagnostico_del_mo

ISO 14224, & The British Standards Institution. Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento Iso 14224:2016. *Bsi*, 1999, 71. 2016

JUAREZ, A. Implementación del protocolo bluetooth para la conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos programables. *Scientia et TECHNICA*, X, 7. [en línea]. 2004. [Consulta: 05 junio 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84912053026.pdf>

LISART, V. Contratacion y supervision de trabajos de impresion, encuadernacion, acabados y gestion de materias primas, *EDITORIAL ELEARNING S.L.* [en línea]. 2018. [Consulta: 05 junio 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=Q7pWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

MENDOZA, M., & BARRIOS, J. Propuestas metodológicas para el desarrollo de aplicaciones Web [en línea]. 2017. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 1-86. [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7337/1/20T00892.pdf>

MIRANDA, J. Implementación de una wsn basado en 6LoWPAN para mejorar el sistema de seguridad vehicular preventivo [en línea]. 2016. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 3-46. [Consulta: 05 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6372/3/98T00107.pdf>

MOLANO CETINA, L. G. Diseño e implementación de un sistema SCADA para supervisión, monitoreo y control de los procesos de corte y formación de planchas de fibro-cemento de la empresa TUBASEC C.A., *In Biomédica* [en línea]. 2011. Vol. 31, Issue sup3.2. [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>

PALMA SANTACRUZ, Wilson Sigifredo. Implementación de un sistema de visión artificial en líneas de producción de atún, para la detección de fallas de codificado en la empresa puertomar s.a provincia de Manabí [en línea]. 2020. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 1-23. [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14101/1/20T01339.pdf>

PARDO, D., & BAILON, L. Elementos de Electrónica [en línea]. 2017. (Trabajo de titulación). (Postgrado) Universidad de Valladolid, Valladolid, España, pp. 1-34. [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=15136122115&searchurl=an%3Dpardo%2Bbailon%26sortby%3D20&cm_sp=snippet-_-srp1-_-image1

QUISHPE ESTRADA, Fátima de los Ángeles. Diseño de un prototipo de sistemas SCADA para el monitoreo de captación, almacenamiento y distribución de agua potable para la EP-EMAPAR. [en línea]. 2017. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 1-36. [Consulta: 07 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7337/1/20T00892.pdf>

RENOVETEC. "Especial mantenimiento basado en condicion", *IRIM*, 10, 28 [en línea]. 2018. Disponible en: http://www.renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_MTO_BASADOENCONDICION.pdf?fbclid=IwAR2R7zDNpcdOfWzTPia1375LpCzkZpkUwr6XcL_hQcusmycV-vvU8IVzsbg

REYES CUALCHI, Jhony Patricio. Diagnóstico de motores diésel electrónicos, a base de presiones en el riel común (CRDI), [en línea]. 2018 (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, pp. 1-87. [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8354/1/04_MAUT_065_TRABAJO_DE_GRADO.pdf

RIOS PUJOS, Walter Wladimir & TENESACA PACHECO, Carlos Iván. Implementación de un panel fotovoltaico mediante un estudio de captación de energía para un prototipo de vehículo impulsado por energía solar [en línea]. 2019. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 5-23. [Consulta: 08 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13471>

SAMANIEGO, E. Diseño e implementación de un prototipo de asistente de hogar, caso practico aspiradora autonoma. [en línea]. 2019 (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 2-40. [Consulta: 08 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11018>

SÁNCHEZ SÁNCHEZ, Byron Eduardo. Diseño e implementación de sensores para medir temperatura, humedad, caudal de la fuente de agua “Yanarumi” perteneciente al cantón Guano [en línea]. 2019. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 2-89. [Consulta: 25 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/677%0Ahttp://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>

SAN JUAN, D. *Monitoreo y control de aires acondicionados*. [En línea]. 2018. Disponible en: <https://0grados.com.mx/monitoreo-y-control-de-aires-acondicionados/>

SANTOS, F. "Tecnologías inalámbricas para la comunicación", 1. *Revista Digital Para Profesionales de La Enseñanza*, 4, 1–6. [en línea]. 2019 [Consulta: 08 junio 2021]. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd5322.pdf>

SOLS, A. *Fiabilidad, mantenibilidad, efectividad. Un enfoque sistémico*. (Universidad Pontificia (ed.); 12th ed.). [en línea]. 2012 [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=rpfiMPXDhU4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

TOMASI, W., GLORIA, I., HERNÁNDEZ, M., VIRGILIO, I., & POZO, G. *Sistemas de comunicaciones opticas*. [en línea]. 2003 [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: <http://fernandoiniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>

UNE-EN. *Norma UNE-EN 13306*. [en línea]. 2003. Disponible en: <https://dokumen.site/download/norma-une-en-13306-terminos-a5b39efc33e25a>

VIQUE, L. *Diseño e implementación de un sistema scada para controlar el deshidratador de bandejas a gas de la facultad de ciencias* [en línea]. 2016. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 1-39. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5031>

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO TARJETA CONTROLADOR 1

```
// TRABAJO DE TITULACIÓN JUAN MOSQUERA - TARJETA CONTROLADOR 1

// INCLUSION DE LIBRERIAS
#include <SoftwareSerial.h> // COMUNICACIÓN SERIAL
#include <Nextion.h> // COMUNICACIÓN PANTALLA NEXTION
#include <SPI.h> // PUERTO SPI
#include <Wire.h> // COMUNICACIÓN I2C
#include <max6675.h> // SENSOR TERMOPAR

// CONFIGURACION DE OBJETOS
SoftwareSerial comArduinos (5, 6); // COMUNICACIÓN SERIAL ENTRE
CONTROLADORES
SoftwareSerial comNextion (7, 8); // COMUNICACIÓN SERIAL PANTALLA NEXTION
MAX6675 termopar(6, 5, 4); // SENSOR TERMOPAR

// ARREGLO DE DATOS
float datos[10]; // ARREGLO DATOS ACORDE A LOS SENSORES
float dato1; // TEMPERATURA
float dato2; // RPM

// DEFINICION DE VARIABLES
int sensorhall_pin = 2; // PIN CONEXIÓN SENSOR INDUCTIVO RPM
unsigned int rpm = 0; // RPM CALCULADAS
volatile byte pulsos = 0; // PULSOS MEDIDOS EN 1 SEGUNDO
unsigned int pulsosxVuelta = 2; // Numero de puldos en 1 vuelta
static volatile unsigned long antirebote = 0; // TIEMPO ANTIREBOTE
unsigned int temperatura = 0; // TEMPERATURA CENSADA

// CONFIGURACION DE TIEMPOS
unsigned long tiempoLect; //TIEMPO DE LECTURA SENSORES
unsigned long tiempoPanta; //TIEMPO DE VISUALIZACIÓN PANTALLA
unsigned long tiempoEnvio; //TIEMPO DE ENVIO DATOS CONTROLADOR 2
```



```

void setup() {
  Serial.begin(19200); // INICIA EL PUERTO SERIE HARDWARE - BAUD CONEXION
SERIAL CON EL PC
  comArduinos.begin(19200); // INICIA EL PUERTO SERIE SOFTWARE - BAUD DE
CONEXION SERIAL ENTRE CONTROLADORES
  comNextion.begin(9600); // INICIA EL PUERTO SERIE SOFTWARE - BAUD DE
CONEXION SERIAL ENTRE CONTROLADORES

  SPI.begin(); // INICIO COMUNICACIÓN SPI CON EL MODULO NRF24L01
conNextion.init(); // INICIO COMUNICACIÓN HMI NEXTION

  pinMode(sensorhall_pin, INPUT); // PIN2 ENTRADA SENSOR INDUCTIVO
attachInterrupt(0, contador, RISING); // CONFIGURA INTERRUPCION T0
  pulsos = 0;
  rpm = 0;
  tiempoRPM = 0;

  tiempoLect = millis(); // TIEMPO DE INICIO LECTURA SENSORES
  tiempoPanta = millis(); // TIEMPO DE INICIO VISUALIZACION PANTALLA
  tiempoEnvio = millis(); // TIEMPO DE INICIO ENVIO DATOS CONTROLADOR 2
}

void loop() {
  // LECTURA SENSORES
  if ((millis() - tiempoLect) > 1000) { // LECTURA CADA 1 SEGUNDO
    LecturaSensores();
    tiempoLect = millis();
    pulsos = 0;
    interrupts(); // REINICIA LAS INTERUPCIONES
  }

  // VISUALIZACION DE DATOS EN LA PANTALLA NEXTION
  if ((millis() - tiempoPanta) > 500) {
    VisualizacionPantalla();
    tiempoPanta = millis();
  }
}

```

```

// TRANSMISION DE DATOS AL GATEWAY
if ((millis() - tiempoEnvio) > 500) {

    tiempoEnvio = millis();
}
}

void counter() {
    if(digitalRead (sensorhall_pin) && (micros()-antirebote > 500) && digitalRead
(sensorhall_pin) ) {
        autorebote = micros(); // Almacena el tiempo para comprobar que no contamos el rebote que
hay en la señal.
        pulsos++;} // Suma el pulso bueno que entra.
    else ;
}

void LecturaSensores() {
    //LECTURA SENSORES TERMOPAR E INDUCTIVO
    temperatura = termopar.readCelsius(); //TEMPERATURA GRADOS CENTIGRADOS
    noInterrupts();
    rpm = (60 * 1000 / pulsosxVuelta) / (millis() - tiempoLect)* pulsos; // RPM MOTOR
}

void VisualizacionPantalla() {
    //VISUALIZACION DATOS EN PANTALLA NEXTION
    conNextion.setText("page2.t0", String(temperatura) + " gC");
    conNextion.setText("page2.t1", String(rpm) + " RPM");
}

void EnvioControlador2() {
    //ENVIO DE DATOS AL CONTROLADOR 2
    comArduinos.print(String(temperatura) + ",");
    comArduinos.println(String(rpm));
}

```

ANEXO B: CÓDIGO TARJETA CONTROLADOR 2

```
// TRABAJO DE TITULACIÓN JUAN MOSQUERA - TARJETA CONTROLADOR 2
```

```
// INCLUSION DE LIBRERIAS
```

```
#include <SoftwareSerial.h> // COMUNICACIÓN SERIAL
```

```
#include <SPI.h> // PUERTO SPI
```

```
#include <Wire.h> // COMUNICACIÓN I2C
```

```
#include <SD.h> // MÓDULO SD
```

```
#include "RTCLib.h" // MÓDULO RTC
```

```
// CONFIGURACION DE OBJETOS
```

```
SoftwareSerial comArduinos (5, 6); // COMUNICACIÓN SERIAL ENTRE  
CONTROLADORES
```

```
SoftwareSerial comSIM800L (7, 8); // COMUNICACIÓN SERIAL CON SIM800L
```

```
RTC_DS3231 rtc; // RTC3231
```

```
// DEFINICION DE VARIABLES
```

```
String temperatura; // VARIABLE SENSOR TERMOPAR
```

```
String rpm; // VARIABLE SENSOR INDUCTIVO RPM
```

```
bool estado = false; // VARIABLE ESTADO DE PROCESO
```

```
File logFile; // ARCHIVO DE TEXTO
```

```
String API_KEY = "FWDCW4Z4Q9KAJVXX"; // APIKEY CANAL PLATAFORMA IOT
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(19200); // INICIA EL PUERTO SERIE HARDWARE - BAUD CONEXION  
  SERIAL CON EL PC
```

```
  comArduinos.begin(19200); // INICIA EL PUERTO SERIE SOFTWARE - BAUD DE  
  CONEXION SERIAL ENTRE CONTROLADORES
```

```
  comSIM800L.begin(19200); // INICIA EL PUERTO SERIE SOFTWARE - BAUD DE  
  CONEXION SERIAL CON SIM800L
```

```
  Inicio_SIM800L(); // SECUENCIA COMANDOS INICIO MODULO SIM800L
```

```
  if (!rtc.begin()) {
```

```
    Serial.println(F("NO SE ENCUENTRA RTC"));
```

```
    while (1);
```

```
  }
```

```

if (rtc.lostPower()) {
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}

pinMode(sensorhall_pin, INPUT); // PIN2 ENTRADA SENSOR INDUCTIVO
attachInterrupt(0, contador, RISING); // CONFIGURA INTERRUPCION T0
pulsos = 0;
rpm = 0;
tiempoRPM = 0;

}

void loop() {
    // RECEPCION DATOS
    RecepcionControlador1();
    AlmacenamientoSD();
    TransmisionIOT();
}

void Inicio_SIM800L() {
    //COMANDOS AT INICIALIZACIÓN SIM800L
    gprsSerial.listen(); // ACTIVA PUERTO SERIE SIM800L
    // COMANDOS GPRS
    gprsSerial.println("AT+CREG?");
    gprsSerial.println("AT+CGATT?");
    gprsSerial.println("AT+CIPSHUT");
    delay(1000);
    gprsSerial.println("AT+CIPSTATUS"); // COMANDO AT ESTATUS
    delay(2000);
    gprsSerial.println("AT+CIPMUX=0");
    gprsSerial.println("AT+CSTT=\"internet.claro.com\""); // COMANDO AT APN RED CLARO
    delay(1000);
    gprsSerial.println("AT+CIICR");// COMANDO AT ABRE COMUNICACIÓN
    INALAMBRICA
    delay(3000);
    gprsSerial.println("AT+CIFSR"); // COMANDO AT ADQUIERE IP LOCAL

```

```

delay(1000);
loop();
Serial.println("DISPOSITIVO MONITOREO RODILLO COMPACTADOR LISTO");
}

void RecepcionControlador1() {
  comArduinos.listen();
  if (comArduinos.available() > 0) {
    temperatura = comArduinos.readStringUntil(',');
    rpm = comArduinos.readStringUntil('\n');
  }
}

void AlmacenamientoSD() {
  logFile = SD.open("Monitoreo.txt", FILE_WRITE);
  if (logFile) {
    DateTime now = rtc.now();
    logValue(now, temperatura, rpm);
    logFile.close();
  }
  else {
    Serial.println(F("Error al abrir el archivo"));
  }
}

void TransmisionIOT() {
  gprsSerial.listen();
  gprsSerial.println("AT+CIPSPRT=0");
  delay(10);
  ShowSerialData1();
  gprsSerial.println("AT+CIPSTART=\"TCP\",api.thingspeak.com\",80\"); // CONEXIÓN
  delay(10);
  ShowSerialData1();
  gprsSerial.println("AT+CIPSEND"); // ENCABEZADO PARA EL ENVIO DE DATOS
  delay(10);
  ShowSerialData1();
  // TRAMA ENVIADA A LA PÁGINA WEB

```

```

String str = "GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=" + API_KEY
           + "&field1=" + temperatura + "&field2=" + rpm;
Serial.println(str);
gprsSerial.println(str); // INICIO ENVIO DE DATOS A LA PÁGINA
delay(10);
gprsSerial.println((char)26); // ENVIANDO DATOS
delay(10); // ESPERA LA RESPUESTA DE ENVIO CORRECTO
gprsSerial.println();
gprsSerial.println("AT+CIPSHUT"); //CIERRA COMUNICACIÓN
delay(10);
}

void ShowSerialData() {
  while(gprsSerial.available() != 0)
    Serial.write(gprsSerial.read());
}

```

ANEXO C: OFICIO DE ENTREGA DEL TRABAJO



SUBDIRECCIÓN DE MANTENIMIENTO TRANSPORTE Y MAQUINARIA

Tena 20 de Diciembre de 2021

Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan
**COORDINADOR CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL - ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

CERTIFICADO DE BENEFICIO

De mi consideración:

Reciba un cordial y atento saludo, el motivo del presente es con la finalidad de poner en su conocimiento que luego de que el Sr. Mosquera Guerrero Juan Jeferson, con CI: 150072045-1, estudiante de la Escuela de Mantenimiento Industrial, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha recabado toda la información pertinente para poder ejecutar su trabajo de Titulación denominado "IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, EN EL RODILLO COMPACTADOR CATERPILLAR MODELO CS533E, DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE NAPO", es así que se ha ejecutado la implementación del dispositivo de monitoreo de temperatura, verificando la información registrada en la plataforma IOT, con esto finalizando las pruebas de funcionamiento con un porcentaje del 100% de éxito.

El estudio de este trabajo de titulación denominado "IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN, EN EL RODILLO COMPACTADOR MODELO CS533E PERTENECIENTE AL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE NAPO", permitirá a la Sub Dirección de Mantenimiento Transporte y Maquinaria de la institución, realizar un monitoreo continuo de los parámetros de temperatura y RPM del motor de combustión interna del rodillo CAT CS533E; así como la toma las acciones de mantenimiento pertinentes con la finalidad de predecir y detectar posibles fallos que inhabiliten por completo al motor del rodillo compactador a través de la evaluación del comportamiento de las variables.



STALIN GERMAN
QUEVEDO RIVERA

STALIN GERMAN QUEVEDO RIVERA
SUBDIRECTOR DE MANTENIMIENTO TRANSPORTE Y MAQUINARIA-GADPN

Av. Juan Montalvo y Olmedo. Teléfono: (06) 370080 ext.: 1051
e-mail: mantenimiento@napo.gob.ec