



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
"Monitoreo de los parámetros del motor y bomba de vacío de la cosechadora de leche de la hacienda San José, mediante sistema IoT"
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor:
Homero Santiago Espinel Viteri
Tutor:
Mg. René Cortijo

Quito – Ecuador

2025

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, **_René Ernesto Cortijo Leyva_** con C.I: **_1719010108_** en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Monitoreo de los parámetros del motor y bomba de vacío de la cosechadora de leche de la hacienda San José, mediante sistema IoT.**

Elaborado por: **_ Homero Santiago Espinel Viteri_**, de C.I: **_ 0502390396_**, estudiante de la Maestría: **_Electrónica y Automatización_**, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 19 de marzo de 2025



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Homero Santiago Espinel Viteri con C.I: 0502390396, autor del proyecto de titulación denominado: "Monitoreo de los parámetros del motor y bomba de vacío de la cosechadora de leche de la hacienda San José, mediante sistema IoT". Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 17 de marzo del 2025

Firma

Índice de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	8
Contextualización del tema	8
Problema de investigación	9
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos	11
Datos reales	11
Reducción de costos de mantenimiento correctivo.	11
Reducción de tiempos de inactividad	12
Beneficios para la salud animal	12
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
1.1. Contextualización general del estado del arte	12
Análisis del Problema y Límites de la Investigación	12
Importancia de la Bomba de Vacío en la Producción Lechera	13
Elementos que componen el Proyecto	14
ESP32	14
Sensor de corriente SCT013	15
Sensor de temperatura DS18B20	15
Sensor de presión de vacío mpxv5050	16
Relé	16
Fuente de Poder Hi-Link.	17
Trabajos anteriores	18
Análisis Final	19
1.2. Proceso investigativo metodológico	20
CAPÍTULO II: PROPUESTA	21
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	21
Hardware	21
Software	22
Plataforma IoT	22
2.2 Descripción de la propuesta	22
Estructura general	22

Diagrama de flujo.	22
Diagrama de bloques.	23
Explicación del aporte	23
Estrategias y/o técnicas	24
2.3 Articulación de la propuesta	25
Hardware utilizado	25
Software y plataforma IoT	25
Resultados esperados	25
Ecuaciones utilizadas	26
Divisor de voltaje	26
Amplificador operacional LM 358, sensor SCT-013	27
Burden Resistor.	27
Elección de la Burden Resistor	28
Ganancia del amplificador operacional	29
Sensor de presión de vacío con el sensor MPXV5050DP y ESP32	29
Diseño de Diagrama Eléctrico.	30
Ruteado de las pistas	30
Simulación de componentes en 3D	32
Programación del Microcontrolador.	33
Arduino IDE	33
Implementación	33
Aplicación IoT	37
Arduino IoT Cloud	37
2.4 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	39
Análisis de Resultados	39
Discusión de Resultados	40
Adquisición de datos del IoT	40
Ecuación de regresión	45
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXO 1	53
DIAGRAMA ELECTRÓNICO DE LA TARJETA DE CONTROL	53
DIAGRAMA DE EQUIPO DE ORDEÑO	53
ANEXO 2	54
SKETCH ARDUINO IDE	54

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros medidos del IoT	40
Tabla 2. Tabla de resumen de diez muestras tomadas de los sensores	41
Tabla 3. Muestra de diez valores al azar de los sensores, cálculo de la potencia	43

Índice de figuras

Figura 1. Pines de conexión Esp32	14
Figura 2. Sensor no invasivo SCT013	15
Figura 3. Sensor de temperatura DS18B20	15
Figura 4. Sensor de presión de vacío mpxv5050	16
Figura 5. Módulo Relé para Arduino, Esp32 de 5 Voltios 10 Amperios	16
Figura 6. Fuente de Poder Hi-Link 5 voltios	17
Figura 7. Plataforma IoT Cloud de Arduino	17
Figura 8. Diagrama de flujo del sistema	22
Figura 9. Diagrama de bloques del sistema	23
Figura 10. Diagrama electrónico	30
Figura 11. Vista frontal de las pistas	31
Figura 12. Vista posterior de las pistas	31
Figura 13. Vista frontal de la simulación	32
Figura 14. Vista posterior de la simulación	32
Figura 15. Código de programación en Arduino Ide	33
Figura 16. Vista frontal de la PCB	33
Figura 17. Vista posterior de la PCB	34
Figura 18. Diseño de la caja contenedora en 3D	34
Figura 19. Diseño de la tapa vista en 3D	35
Figura 20. Vista del circuito	35
Figura 21. Instalación del sensor de temperatura en la bomba de vacío	35
Figura 22. Instalación del sensor de temperatura en el motor eléctrico	36
Figura 23. Instalación del sensor de presión de vacío en la tubería de presión	36
Figura 24. Instalación del sensor de corriente	37
Figura 25. Página principal del sistema de Arduino IoT Cloud	37
Figura 26. Ejecución del programa	38
Figura 27. Prueba de funcionamiento del dispositivo IoT	38
Figura 28. Macros de resumen de valores registrados del IoT	41
Figura 30. Tendencia registrada en la presión de vacío	42
Figura 31. Tendencia registrada en la temperatura de trabajo del motor eléctrico	42
Figura 32. Tendencia registrada en la temperatura de trabajo de la bomba de vacío	43
Figura 33. Análisis de datos de las muestras de los sensores	45

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

Actualmente, el Internet de las Cosas se ha convertido en una herramienta importante para la monitorización y control de equipos e instalaciones en la industria; la capacidad de rastrear parámetros operativos en tiempo real puede predecir fallas potenciales, facilitando el mantenimiento preventivo y evitando costosas reparaciones o pérdidas debido a averías inesperadas; el IoT aplicado a la monitorización de motores eléctricos y bombas de vacío, utilizadas en los equipos de ordeño, puede mejorar significativamente la eficiencia operativa de las haciendas, ya que evitaría paros innecesarios en los procesos de su actividad principal, la recolección de leche.

El presente proyecto busca implementar un dispositivo IoT para la monitorización de los parámetros de funcionamiento de la bomba de vacío y del motor eléctrico que la impulsa, estos usados en el proceso de cosecha de leche en la hacienda San José; esto permitirá registrar y analizar los datos de operación, lo que generará un historial de valores medidos, fundamental para prevenir fallas y optimizar el rendimiento.

El proyecto de implementación del dispositivo para monitorear el motor y la bomba de vacío del equipo de ordeño es en la Hacienda San José, ubicada en el barrio San Ramón de la parroquia Mulaló, parroquia rural perteneciente al cantón de Latacunga, provincia de Cotopaxi, el dispositivo supone un avance significativo en la implementación de sistemas de alerta temprana que monitorean los equipos antes de que puedan fallar.

La Hacienda San José es una empresa dedicada a la ganadería ubicada en el barrio San Ramón, de la parroquia rural Mulaló, de la provincia de Cotopaxi, su actividad principal es la producción y cosecha de leche, empleando un equipo de ordeño que se utiliza a diario, este es uno de sus recursos que no debe fallar, también cuenta con un sistema de enfriamiento de la leche y la infraestructura adecuada para el almacenamiento.

El talento humano está compuesto por operarios encargados del manejo de los animales, el equipo de ordeño, los tractores y demás maquinaria para la siembra de pasto, en total, la hacienda cuenta con aproximadamente 6 colaboradores, de los cuales 4 están directamente relacionados con el proceso de la cosecha de la leche.

Problema de investigación

La conectividad ya generalizada del Internet en las propiedades ganaderas da paso a la posibilidad de implementación de nuevos dispositivos automatizados, los cuales pueden ser monitorizados por los empleados y el propietario, además representa una oportunidad para introducir soluciones tecnológicas que, mejoren la operación de los equipos, como los utilizados en la cosecha de la leche, esto con la implementación de soluciones de monitoreo de parámetros que son sensibles para la operación de la extracción de leche en las haciendas ganaderas.

En este contexto, el problema de fallas en el motor eléctrico de la máquina cosechadora de leche resulta crítico, ya que estos equipos deben estar operativos en todo momento para evitar interrupciones en el proceso, actualmente, no se dispone de un sistema que registre parámetros fundamentales como:

La temperatura de trabajo de la bomba de vacío.

La presión generada en el trabajo de la bomba de vacío.

La corriente eléctrica y la temperatura del motor que acciona la bomba.

El dispositivo IoT propuesto abordará estos problemas mediante la monitorización de parámetros, proporcionando datos valiosos para el mantenimiento preventivo y predictivo, además, los datos históricos recopilados facilitarán la planificación de futuras instalaciones y la mejora del rendimiento del equipo.

La falla más habitual es el desgaste de rodamientos y paletas por recalentamiento de la bomba de vacío, que se puede evidenciar con el consumo excesivo de corriente del motor eléctrico; otro detonante de falla es la escalada de la presión generada en trabajo de la bomba de vacío, que no debe exceder de los 48 Kilopascales; esto puede darse debido a obstrucciones del sistema de regulación del vacío o falta de limpieza de la tubería de vacío.

Por todo esto, el dispositivo IoT propuesto permitirá medir estos parámetros, brindando información valiosa para anteponerse en la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento predictivo y preventivo de los equipos, además, los datos recopilados proporcionarán un antecedente histórico que podrá utilizarse para mejorar el desempeño y la planificación de mantenimiento de futuras instalaciones en otras haciendas.

Este trabajo de investigación pretende desarrollar un dispositivo IoT basado en la placa de desarrollo ESP32 que permita la monitorización de los siguientes parámetros:

1. Temperatura de la bomba de vacío en grados centígrados.
2. Presión generada en trabajo de la bomba de vacío, medida en Kilopascales.
3. Temperatura del motor eléctrico que acciona la bomba de vacío.
4. Corriente eléctrica consumida por el motor eléctrico, medida en amperes, presente en la placa de características del motor.

Los datos recolectados serán enviados a la nube para su almacenamiento y visualización a través de una plataforma IoT, así se podrá detectar condiciones anómalas como sobrecalentamiento o consumo excesivo de corriente, se puede además, configurar la placa de desarrollo para activar un relé que interrumpa el suministro eléctrico del motor para proteger el equipo, esto cuando la corriente de trabajo sobrepase el valor determinado en la placa del motor como amperaje de trabajo nominal, además la presión de vacío generada por la bomba de vacío, si llegase a sobrepasar los 48 Kilopascales, la placa de desarrollo apagará la bomba de vacío.

Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo de los parámetros del motor y bomba de vacío de la cosechadora de leche de la hacienda San José, mediante sistema IoT.

Objetivos específicos

Contextualizar los fundamentos teóricos sobre los sensores, la placa de desarrollo y plataforma IoT para sustentar técnicamente el diseño del dispositivo.

Diseñar el sistema IoT para la monitorización y control de variables, la temperatura, corriente eléctrica y presión de vacío.

Desarrollar un sistema de monitoreo mediante la placa de desarrollo ESP32, para la recepción de datos, envío a la nube y control del relé de protección.

Integrar el sistema IoT al motor y la bomba de vacío, así como la conexión con la plataforma Arduino Cloud, mediante la creación de un dashboard que permitirá la visualización de los parámetros monitoreados.

Validar el dispositivo IoT mediante pruebas funcionales en condiciones reales de operación, analizar su desempeño y ajustar el sistema según sea necesario.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos

Este proyecto aporta al sector ganadero, mediante la implementación de un dispositivo que incrementa la eficiencia y reduce costo de mantenimiento correctivo, esto con la monitorización en tiempo real de parámetros que permite anticipar fallas, lo que resulta en menores tiempos de inactividad puesto que se realizaría mantenimiento antes de que ocurra un paro grave, contribuye además al cuidado del medio ambiente al optimizar el uso de energía y prevenir la sobrecarga de los equipos, el presente sistema IoT representa un avance hacia la automatización de la ganadería, promoviendo la adopción de instrumentos tecnológicos que mejoran la gestión de los procesos productivos, su implementación ofrece beneficios económicos al evitar interrupciones en el proceso de la cosecha de la leche, una actividad crucial en la hacienda ganadera.

El proyecto promueve la adquisición de nuevos conocimientos para que los operarios utilicen soluciones tecnológicas, en este caso, conozcan los sistemas IoT, además, permitirá la generación de nueva información de aprendizaje que servirán como referencia para futuras implementaciones en otras haciendas o sectores industriales, este dispositivo también contribuirá a la explicación en torno a la importancia del monitoreo continuo.

Como beneficiarios directos se puede anotar el personal operativo, encargados del funcionamiento del sistema de ordeño que se beneficiará al contar con una herramienta que mejora la confiabilidad de los equipos, además el propietario tendrá acceso a reportes detallados y datos históricos, lo que facilitará la toma de decisiones basadas en información precisa; este dispositivo IoT también servirá como un prototipo para replicar en otras haciendas, contribuyendo al desarrollo tecnológico del sector ganadero incentivando la adopción de tecnologías que potencien la sostenibilidad y la innovación.

Datos reales

Fuente: Registros de la hacienda, información del propietario.

Reducción de costos de mantenimiento correctivo.

Actualmente, el mantenimiento correctivo en una emergencia de la bomba de vacío del sistema de ordeño cuesta en promedio \$1,000 dólares, esto debido a fallas imprevistas y en el peor de los casos con la destrucción de las paletas internas; con la implementación del dispositivo de monitoreo IoT, se estima la reducción de este valor, para la hacienda ya que se cambiaría únicamente los rodamientos y se pagaría el valor de la mano de obra del técnico, todo

esto por \$200 dólares en total al año, esto como resultado del monitoreo de la temperatura y corriente de trabajo del motor eléctrico, verificando el valor del consumo de corriente en placa.

Reducción de tiempos de inactividad

El sistema de ordeño sufre aproximadamente 6 horas de inactividad cada seis meses debido a fallas inesperadas, esto por paro de la bomba de vacío, o por falla del regulador de vacío, afectando la producción de leche, con el monitoreo en tiempo real, se estima una reducción de este valor de inactividad a cero, lo que representa una mejora en la producción y disponibilidad del equipo, esto corresponde al monitoreo de la presión de vacío en el sistema IoT

Beneficios para la salud animal

El exceso de presión de vacío en contacto con el animal puede sufrir de una inflamación de la glándula mamaria, que es la que produce la leche, para lo cual el costo es el más alto ya que un animal puede quedar fuera de la producción por varios días, además del tratamiento con medicamentos que puede sobrepasar los \$100 dólares por animal afectado.

Por otro lado, la baja presión en el equipo de ordeño hace que la maquinaria funcione lentamente y el proceso de recolección de leche tarde más tiempo generando pérdidas de recolección de leche, mayor tiempo de consumo de energía de los equipos, mayor costo de mano de obra de los empleados al tardar en cosechar en más tiempo la misma cantidad o hasta menos cantidad de leche.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

Análisis del Problema y Límites de la Investigación

El presente proyecto aborda la problemática de las fallas inesperadas en los sistemas de ordeño de haciendas ganaderas, específicamente en la bomba de vacío y el motor eléctrico que la impulsa, estas fallas, generalmente causadas por sobrecalentamiento, exceso de consumo eléctrico o variaciones en la presión de trabajo, afectan directamente la producción lechera y generan pérdidas económicas significativas; la investigación se limita a la implementación de un sistema IoT basado en el ESP32, con un alcance definido en el monitoreo de parámetros como son la temperatura de trabajo de la bomba de vacío, la temperatura de trabajo del motor eléctrico, la presión de trabajo del sistema de ordeño y corriente generada con el trabajo del

motor eléctrico, esto en el equipo de ordeño mecánico utilizado para la cosecha de leche en la Hacienda San José, ubicada en Mulaló, Cotopaxi, Ecuador.

La investigación se enmarca en la tendencia actual, la cual nos lleva hacia la digitalización de los procesos de la mayoría de industrias, en este caso, la industria ganadera, destacando el uso de tecnologías que actualmente emergen para el mantenimiento preventivo y predictivo; los resultados de este proyecto serán utilizados para la implementación en más haciendas ganaderas, lo cual contribuirá al desarrollo sostenible del sector.

Importancia de la Bomba de Vacío en la Producción Lechera

La falla repentina de la bomba de vacío tiene un impacto directo y significativo en la producción lechera de la hacienda debido a su uso diario y continuo, este equipo es esencial para el proceso de cosecha de leche y como método de transporte de la leche cosechada hacia el sistema de enfriamiento, además de ser parte fundamental en la limpieza de los dispositivos utilizados en el ordeño; la bomba opera aproximadamente seis horas al día, distribuidas en turnos de tres horas en la madrugada y tres horas en la tarde, la cosecha de la leche es el sustento principal de la hacienda, cualquier interrupción en su funcionamiento afecta no solo la productividad diaria, sino también la salud del ganado, ya que las vacas deben ser ordeñadas a intervalos regulares para evitar enfermedades como mastitis y garantizar una producción estable, una de las razones críticas por las cuales las fallas de la bomba generan inconvenientes graves es la falta de personal interno especializado en mantenimiento, los operarios del equipo, cuya experiencia está centrada en el manejo del ganado, no poseen conocimientos suficientes en mecánica o electricidad para realizar reparaciones inmediatas, además que la hacienda no cuenta con un técnico o ingeniero electromecánico contratado permanente, ya que el modelo de negocio no justifica este recurso de manera continua, en cambio, por lo general las labores de mantenimiento se delegan a personal externo especializado ajeno a la hacienda que realiza intervenciones programadas tres veces al año, aunque este enfoque garantiza el correcto funcionamiento del equipo bajo condiciones normales, no contempla emergencias imprevistas que puedan surgir entre las visitas de mantenimiento preventivo; cuando se produce una falla repentina, los ingenieros externos no siempre están disponibles para acudir de inmediato, lo que genera retrasos en la reparación, este tiempo de inactividad puede dar como resultado en graves consecuencias para la salud del ganado y la productividad general; las vacas no pueden esperar a ser ordeñadas, si no se realiza el ordeño a tiempo, pueden desarrollar problemas de salud y la producción del día siguiente suele disminuir considerablemente, como resultado, recuperar los niveles de producción previos es un proceso lento y complicado, que puede tomar

varios días o incluso semanas, dependiendo de la dificultad del problema y su impacto en la salud del ganado.

Este proyecto de implementación del sistema de monitoreo IoT, busca abordar estos desafíos, que permita identificar potenciales problemas antes de que se conviertan en fallas críticas, ofreciendo una solución proactiva que minimice el impacto en la producción y mejore la sostenibilidad operativa de la hacienda; la investigación se enmarca en las tendencias actuales hacia la digitalización de la industria ganadera, destacando el uso de nuevas tecnologías para el mantenimiento predictivo.

Elementos que componen el Proyecto

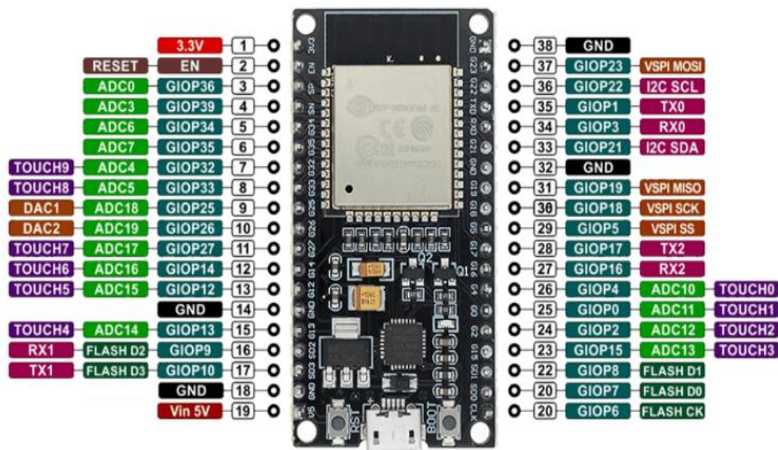
En el desarrollo del proyecto se seleccionó los siguientes módulos para la implementación del sistema de monitoreo y control, la ventaja de la placa de desarrollo es su conectividad en la adquisición de datos, cada componente desempeñará un papel importante.

ESP32

Es una placa de desarrollo, System on Chip (SoC) y un módulo de costo bajo y mínimo consumo de energía, que incluye Wifi, Bluetooth, es muy superior en capacidades a un Arduino UNO y a un ESP8266, es una serie de creado por Espressif Systems, en la figura 1 se muestra la placa y sus conexiones .

Figura 1

Pines de conexión Esp32



ADC, Entrada analógica.
DAC, Salida analógica.
TOUCH, Entrada táctil capacitiva.

Nota. Tomado de Microcontrolador Esp32 – Microdesys. (2022). Microdesys.es.

<https://microdesys.es/docs/microcontrolador-esp32/>

Sensor de corriente SCT013

Es un sensor no invasivo, se lo conoce también como sensor CT (Current transformer), su función es actuar como un transformador, aquí la corriente que circula por el cable que deseamos medir actúa como el devanado primario y el sensor actúa como devanado secundario, no necesita cortar o interrumpir el cable que se va a medir, actúa al igual que una pinza amperimétrica para medir la corriente eléctrica, como se puede observar en la figura 2.

Figura 2

Sensor no invasivo SCT013



Nota. Tomado de Naylamp Mechatronics - Perú. (2023). Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013. Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html

Sensor de temperatura DS18B20

Principal característica es la comunicación mediante el protocolo One-Wire, que solo requiere un pin de datos para la comunicación y conecta varios sensores a un solo bus, este es fabricado por Maxim Integrated, la forma comercial más fabricada es la de un sensor dentro de un tubo de acero inoxidable que es resistente al contacto con el agua, como se observa en la figura 3.

Figura 3

Sensor de temperatura DS18B20



Nota. Tomado de Sensor de temperatura DS18B20 con protector metálico. (2019).

Teslatronica Sumador S.A.S. - NIT: 901640333-1.

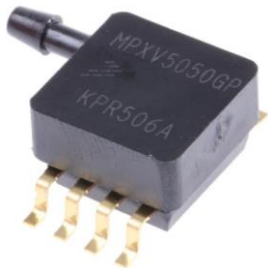
<https://sumador.com/collections/sensores/products/sensor-de-temperatura-ds18b20-con-protector>

Sensor de presión de vacío mpxv5050

En la figura 4 se muestra el sensor piezo-resistivo que actúa como un sensor de presión de silicio monolítico, es utilizado con microcontroladores, ya que proporciona una señal de salida analógica precisa proporcional a la presión aplicada.

Figura 4

Sensor de presión de vacío mpxv5050



Nota. Tomado de Circuito integrado mpxv5050gp sensor de presion mpxv5050. (2025).

Tecnoliveusa.com. <https://tecnoliveusa.com/verproducto.php?id=89181>

Relé

Es un interruptor electromagnético que, utilizando una pequeña corriente, acciona un circuito de mayor capacidad, funciona según el principio de inducción electromagnética, posee un contacto abierto o uno cerrado.

Figura 5

Módulo Relé para Arduino, Esp32 de 5 Voltios 10 Amperios



Nota. Tomado de Módulo Relé para Arduino 5 Voltios 10 Amperios. (2024, December 31). Dcim Ecuador. <https://dcimecuador.com/producto/modulo-rele-para-arduino-5-voltios-10-amperios/>

Fuente de Poder Hi-Link.

En la figura 6 se muestra las características técnicas de la fuente de poder Hi-Link, la misma que es una fuente de poder pequeña, funcional para pequeños proyectos de electrónica, puede funcionar desde los 90 voltios hasta los 264 voltios, corriente de salida máxima de hasta 1 amperio,

Figura 6

Fuente de Poder Hi-Link 5 voltios



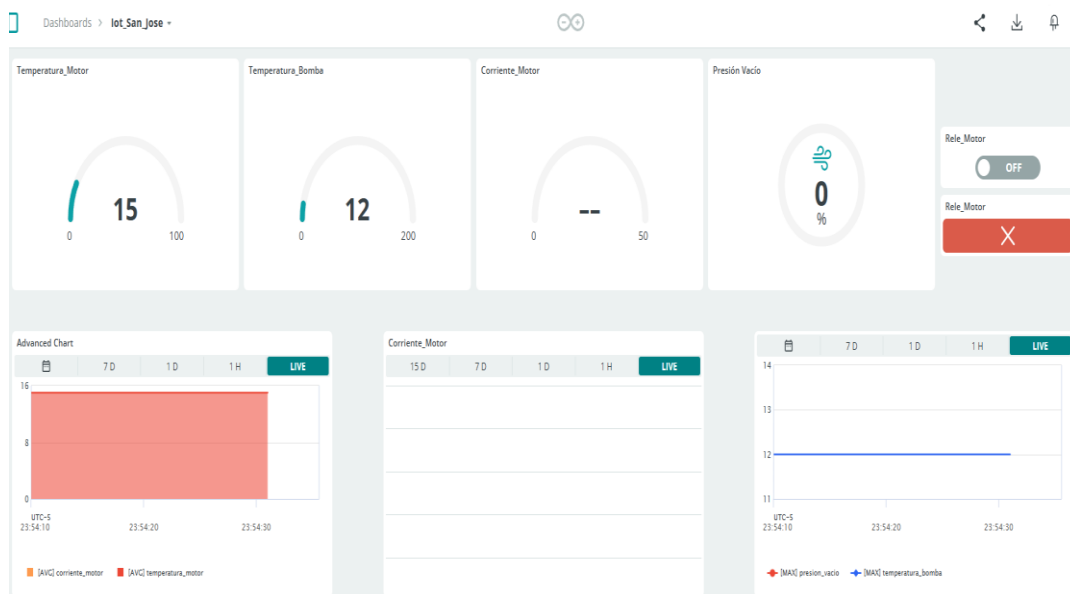
Nota. Tomado de Performance test of Power Mains to 5V 0.6A Hi-Link HLK-PM01 UK. (2025). Lygte-Info.dk. <https://lygte-info.dk/review/Power%20Mains%20to%205V%200.6A%20Hi-Link%20HLK-PM01%20UK.html>

IoT Cloud

Es la plataforma de internet de las cosas que se encarga de recolectar la información y presentarla en forma gráfica por medio de un Dashboard., en la figura 7 se muestra la página principal de IoT Cloud de Arduino.

Figura 7

Plataforma IoT Cloud de Arduino



Nota. Tomado de la Plataforma IoT de Arduino. <https://app.arduino.cc/dashboards/c36af0cf-803b-4031-8cc5-3196a2127554>

Trabajos anteriores

Para desarrollar el proyecto de implementación de un sistema IoT en la monitorización del equipo de ordeño, se ha tomado como referencia estudios previos que han abordado temáticas similares en el monitoreo de sistemas electromecánicos mediante tecnologías IoT, a continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes:

Autor Quinaloa Ramírez Anderson Roberto, 2024, con el tema: Sistema IOT de monitoreo de calidad de aire de una bodega de productos químicos; trata de la monitorización en tiempo real de la calidad del aire en una bodega de químicos la cual se almacena productos que pueden desprender gases nocivos para la salud, este dispositivo actuaría como una alerta temprana en el momento que la saturación de otros gases bajaría la calidad del aire presente, utiliza para esto un sensor de gases conectado a una placa de desarrollo NodeMCU ESP32, la que por medio de la plataforma Ubidots lleva todo el historial de mediciones de calidad del aire; para el presente trabajo de investigación, es un gran aporte a la aplicabilidad de sistemas IoT para monitorización de variables para un tratamiento preventivo.

<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/4054>

Autor Arroyo Paredes, Margarita Gioconda, 2023, con el tema: Sistema remoto de monitoreo de temperatura, humedad y luminosidad en bodegas de almacenamiento de productos médicos, bajo plataforma IoT, trata sobre la implementación de un sistema gobernado por la tarjeta IoT Particle Argon que permite medir parámetros críticos de temperatura, humedad y

luminosidad para poseer valores históricos y estos permitan envío de alertas por una aplicación al celular por medio de la plataforma de manejo en IoT como es Ubidots, además llevará valores de históricos de las variables medidas para un mejor control de estas y permita la mejor conservación de los medicamentos; para el presente trabajo de investigación ayuda como aporte la implementación de una plataforma de visualización de parámetros medidos, además del uso de sensores de temperatura en IoT.

<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3873>

Autor Ángel Rogelio Minta Toapanta, 2022, con el tema: Aplicación IoT para el monitoreo de consumo eléctrico residencial utilizando software libre, este trabajo de investigación trata del diseño e implementación de una aplicación IoT para el monitoreo del consumo de energía eléctrica residencial, esta implementación resultó exitosa en su desarrollo, utiliza la tecnología del Internet de las cosas, sistemas embebidos en este caso Raspberry Pi y un NodeMCU ESP8266, también el uso de un protocolo flexible y liviano como es el MQTT que es no licenciado y por ende gratis, este dispositivo permitió realizar el monitoreo del corriente, voltaje, frecuencia, potencia, factor de potencia, energía, consumo eléctrico de una residencia; para el presente trabajo de investigación sirvió como aporte en lo que concierne al Internet de las cosas, el uso de microcontroladores para la adquisición de parámetros de monitorización en un dashboard.

<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3327>

Análisis Final

La investigación presentada se orienta hacia la aplicación de tecnologías IoT en la ganadería, utilizando dispositivos modernos y metodologías probadas en contextos similares, los antecedentes revisados permitieron identificar tecnologías clave, como el ESP32, los sensores DS18B20 y MPXV5050, así como algoritmos de mantenimiento predictivo y plataformas en la nube como Arduino IoT Cloud.

El principal aporte de este proyecto radica en la combinación de tecnología accesible y prácticas avanzadas para optimizar procesos productivos en la industria ganadera, además aborda un problema como es, la falta de un sistema que alerte de forma temprana las fallas en el equipo de ordeño en lo que concierne al motor eléctrico, contribuyendo así a la sostenibilidad y al desarrollo tecnológico del sector.

1.2. Proceso investigativo metodológico

El desarrollo en este proyecto sigue un proceso metodológico mixto, ya que combina la investigación experimental y la aplicada; experimental ya que se va a validar la funcionalidad del sistema IoT en un entorno real como es la hacienda San José, esto llevado a cabo con las mediciones de variables como la temperatura, presión de vacío y corriente eléctrica; como aplicada en lo que respecta a la finalidad de solucionar un problema como es el monitoreo y prevención de fallas del equipo de ordeño con datos para un mantenimiento preventivo, con esto se busca la eficiencia, tratando de mejorar con la ejecución de un sistema de monitoreo IoT.

Para los métodos utilizados podemos anotar el método cuantitativo que se basa en la recopilación de datos numéricos a través de los sensores de temperatura, presión y corriente; en cuanto al método cualitativo se considera las observaciones realizadas en la plataforma IoT Cloud de Arduino que sirve para verificar los datos obtenidos.

Como técnica de obtención de datos se evidencia la observación directa que permite analizar el entorno de trabajo y evaluar la condición actual del equipo de ordeño, otra técnica que se puede anotar es el uso del mismo dispositivo IoT para obtener datos sobre el funcionamiento del motor y la bomba de vacío.

Este proyecto se centra en el uso del equipo de ordeño de la hacienda San José, con un equipo de trabajo de 6 personas, de las cuales 4 están directamente involucradas en el proceso de ordeño, este es la población y muestra para la obtención de datos de conformidad del sistema.

Como metodología de trabajo para este proyecto se consideran los siguientes pasos:

Identificación de los parámetros a medir del equipo de ordeño.

Integración del hardware, desarrollo y carga del software, incluyendo en este punto la programación del ESP32, la conexión y configuración con la plataforma IoT.

Evaluación del sistema en condiciones reales de operación en la hacienda, recopilación de datos, ajustes, cambios de conexionado.

Interpretación de datos, redacción del informe final y validación con propietario de la hacienda.

Resultados Esperados; se espera con la implementación de este sistema que los datos obtenidos sean registrados de forma continua y el almacenamiento en la nube de las variables temperatura, presión y corriente, sean visibles en la plataforma IoT.

Mejorar la eficiencia en el mantenimiento preventivo y predictivo de la bomba de vacío del equipo de ordeño.

Información histórica que facilite la verificación de datos de parámetros para futuras instalaciones y toma de decisiones en lo que se refiere al mantenimiento preventivo.

Este sistema IoT contribuirá a la reducción de costos operativos de mantenimiento en la hacienda San José, servirá además como un modelo replicable en otras industrias que necesiten la monitorización de parámetros de motores eléctricos.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

El siguiente trabajo de investigación, está orientado al uso de la tecnología IoT que permita conectar dispositivos físicos al internet para recopilar y compartir información en tiempo real, esta se convierte en una solución ideal para el monitoreo y control remoto de sistemas críticos, como las bombas de vacío y motores eléctricos utilizados en procesos de cosecha de leche.

El trabajo se centra específicamente en el desarrollo de un dispositivo que integre sensores de corriente, temperatura y presión con la placa de desarrollo ESP32 para luego enviar los datos recopilados a una plataforma por medio del protocolo Wi-Fi, este dispositivo permite obtener datos relevantes del equipo de ordeño, los analiza y envía a la nube Arduino IoT Cloud.

Hardware

Esp32 es una placa de desarrollo seleccionada en este caso para la ejecución del sistema de monitoreo, este dispositivo tiene varias prestaciones, su costo bajo y es de fácil adquisición en nuestro mercado, encargado de recibir los datos de los sensores, su conectividad Wi-Fi, servirá para gestionar la recolección de datos y su envío a la nube.

- Sensor de intensidad no invasivo, SCT013 permite medir la corriente consumida por el motor eléctrico.
- Sensor de temperatura, DS18B20 para medir la temperatura de trabajo de la bomba de vacío y del motor.

- Sensor de presión de vacío mpxv5050 para medir la presión que genera la bomba de vacío que no debe exceder de los 50 Kilopascales.
- Relé que, al activarse corta la corriente del motor, si se detecta un consumo excesivo

Software

Arduino Ide, es el medio de programación seleccionado ya que es un editor de código intuitivo de utilizar, compatible con el esp32, además de que permite un simplificado método de carga del programa.

Plataforma IoT

Seleccionado ya que posee una interfaz gráfica intuitiva y permite una rápida conexión con el ESP32 y es parte del ide de Arduino, es decir totalmente compatible, plataforma para la monitorización remota de los datos, con la creación de un dashboard para visualizar las variables en tiempo real.

2.2 Descripción de la propuesta

El sistema propuesto consiste en la colocación de un dispositivo IoT basada en la placa de desarrollo ESP32 para el monitoreo de los parámetros del motor y la bomba de vacío utilizados en el proceso de cosecha de la leche en la hacienda San José, este dispositivo permitirá la adquisición, el procesamiento y el almacenamiento de datos de temperatura, presión de vacío y corriente eléctrica, con la posibilidad de activar un relé en caso de detectar valores fuera de rango programado en los valores de la corriente y la presión de vacío.

Estructura general

Diagrama de flujo.

En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo del sistema de monitoreo IoT.

Figura 8

Diagrama de flujo del sistema

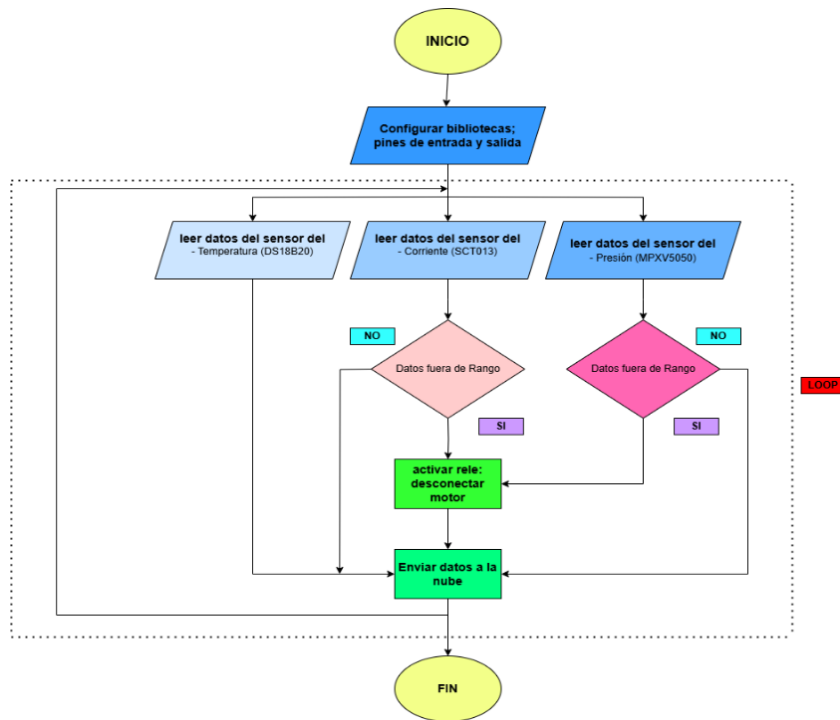
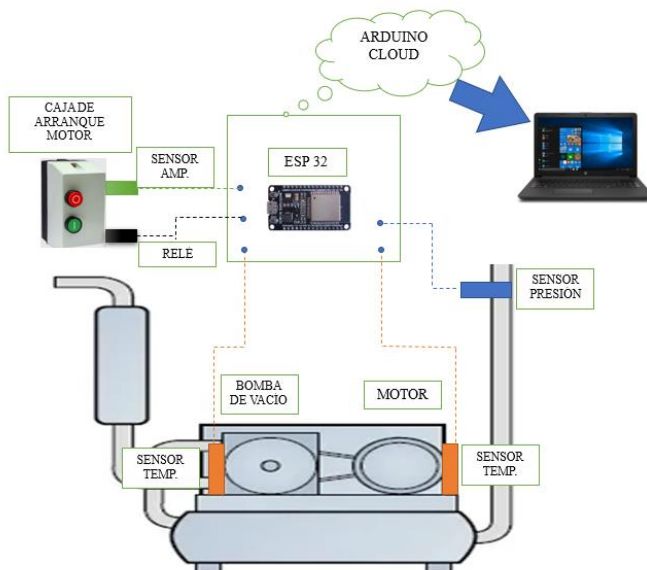


Diagrama de bloques.

A continuación, en la figura 9, se muestra el diagrama de bloques del sistema.

Figura 9

Diagrama de bloques del sistema



Explicación del aporte

El presente proyecto es un dispositivo IoT que se encargará de recolectar datos de la temperatura, de la bomba de vacío para llevar un historial de las temperaturas alcanzadas por

este elemento, no se tiene un antecedente de la temperatura que alcanza, con esto se puede determinar un valor de funcionamiento de este equipo, un segundo sensor de temperatura será encargado de registrar el valor de temperatura del motor que genera el movimiento de la bomba de vacío, esto servirá para determinar el valor de temperatura que alcanza el motor al funcionar.

El sensor de presión de vacío se encargará de verificar la presión de vacío que genera la bomba de vacío, se determina que los valores correctos de presión de la misma no deben exceder de los 48 Kilopascales, si se sobrepasa esta presión, la placa de desarrollo accionará el relé, este último estará conectado al pulsador de paro de la parte de control de encendido del motor de la bomba de vacío, al detectar la sobrepresión, el motor dejará de funcionar.

El sensor de corriente detectará la corriente consumida por el motor eléctrico y al sobrepasar la corriente nominal de placa de características del motor eléctrico; la placa de desarrollo accionará el relé y este último apagará el motor eléctrico.

La información recolectada se puede visualizar en un dashboard previamente configurado en la página de IoT de Arduino, este dashboard se puede visualizar en un computador o en un celular, claro está previamente registrado el correo y la contraseña.

Estrategias y/o técnicas

Para la implementación del dispositivo de este informe, se emplearon estrategias metodológicas basadas en el aprendizaje por proyectos y la experimentación práctica, se aplicó un enfoque interactivo, en el cual el desarrollo del sistema se llevó a cabo en fases y pruebas de campo, lo que permitió la identificación y corrección de errores en cada fase, además se aplicó el conocimiento teórico con la práctica mediante pruebas de campo en la Hacienda San José, lo que permitió validar los resultados obtenidos en el desempeño del sistema IoT.

En cuanto a las herramientas tecnológicas, se seleccionaron elementos electrónicos de hardware y software que se encuentran de manera sencilla en nuestro medio, así garantizando el suministro de componentes cuando presente falla, la placa de desarrollo ESP32, esto debido a su capacidad de procesamiento, conectividad Wi-Fi y compatibilidad con múltiples sensores y la adquisición de datos, es fundamental para este proyecto; se implementaron sensores de corriente SCT013, sensores de temperatura DS18B20 y sensores de presión MPXV5050, que permiten un monitoreo de las condiciones del motor y la bomba de vacío; el sketch fue desarrollado en Arduino IDE, compatible con el ESP32, y los datos fueron gestionados en la plataforma Arduino IoT Cloud, que ayuda a la visualización y análisis remoto de la información en tiempo real por medio de un dashboard elaborado.

2.3 Articulación de la propuesta

Hardware utilizado

- La placa de desarrollo Esp32 será la encargada de recibir los datos que los sensores detecten. Su conectividad Wi-Fi, servirá para gestionar la recolección de datos y su envío a la nube.
- Sensor de corriente SCT013 que permite medir la corriente consumida por el motor eléctrico.
- Dos Sensores de temperatura DS18B20 para medir la temperatura generada en trabajo de la bomba de vacío y del motor.
- Sensor de presión de vacío mpxv5050 para medir la presión que genera la bomba de vacío que no debe exceder de los 48 Kilopascales.
- Relé, que al activarse corta la corriente del motor, si se detecta un consumo excesivo de amperaje o excesiva presión de trabajo.

Software y plataforma IoT

- Arduino IDE para la programación del ESP32, escribiendo el código que controlará la recepción de datos de los sensores, el accionamiento del relé y el envío de datos a la nube.
- Arduino IoT Cloud, plataforma para la monitorización remota de los datos, con la creación de un dashboard para visualizar las variables en tiempo real.

Resultados esperados

Con la implementación de este dispositivo IoT, se espera obtener los siguientes resultados:

- Monitorización continua de la temperatura de trabajo de la bomba de vacío, presión de trabajo de la misma; temperatura del motor eléctrico, así como del consumo de corriente del motor.
- Registro histórico de los valores de temperatura y corriente, lo que permitirá identificar patrones de comportamiento del equipo y detectar posibles fallos de forma anticipada.
- Protección del motor mediante un relé colocado en el tablero de control, en serie al pulsador de paro, que apaga el motor en caso de detectar un alza excesiva en la corriente de trabajo.

- Establecer un precedente valioso para la monitorización y mantenimiento de bombas de vacío y motores en futuras instalaciones, llevando un historial aún no conocido de temperatura de la bomba de vacío.

Ecuaciones utilizadas

Divisor de voltaje

Los sensores de presión de vacío y el sensor de corriente trabajan a 5 voltios, el retorno de los valores registrados del sensor retornan con 5 voltios, pero el Esp32 admite en sus entradas analógicas máximo 3,3 voltios por ello se debe utilizar divisores de voltaje, se utiliza solo en esta aplicación para reducir el voltaje, no se debe utilizar la reducción de voltaje por resistencias como fuente de alimentación, ya que las resistencias se calientan, en este caso solo para bajar el voltaje del sensor si se utiliza.

El circuito de un divisor de voltaje consiste en dos resistencias en serie (R1 y R2), y la salida se toma entre ellas:

La ecuación para calcular el voltaje de salida es:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R2}{R1 + R2}$$

Dónde:

V_{in} = Voltaje de entrada al divisor (En este caso 5V desde el sensor de presión de vacío o el lm358).

V_{out} = Voltaje de salida deseado (Ejemplo: 3.3V para el ESP32).

R1 = Resistencia del divisor de voltaje que conecta hacia V_{in}.

R2 = Resistencia del divisor de voltaje y va hacia GND.

El divisor de voltaje se utilizará para el sensor de presión de vacío mpxv5050 y el LM358 que dará 3.3V que es seguro para el ESP32.

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$3,3 \text{ V} = 5\text{V} * \frac{R2}{R1 + R2}$$

Despejando

$$\frac{R2}{R1 + R2} = \frac{3,3}{5}$$

$$\frac{R2}{R1 + R2} = 0,66$$

Seleccionamos valores comerciales de resistencias

Para mantener baja la corriente en el divisor y evitar consumos innecesarios, elegimos valores en el rango de kilo-ohmios (kΩ).

Usamos:

- R1 = 10KΩ
- R2 = 20KΩ

Verificamos el cálculo:

$$V_{out} = 5V * \frac{20K\Omega}{10K\Omega + 20K\Omega}$$

$$V_{out} = 5V * 0,66 K\Omega$$

$$V_{out} = 3,3V$$

Amplificador operacional LM 358, sensor SCT-013

El ESP32 tiene un ADC convertidor análogo digital de 12 bits (0-4095), y la señal de entrada está limitada a 3.3V.

Únicamente el sensor SCT-013 de 100A, carece de resistencia Burden interna, por lo que la salida es una señal de ±50mA. Por lo que necesita una resistencia de 33Ω en serie con el sensor.

Burden Resistor.

El sensor SCT-013 es un transformador de corriente que no entrega directamente un voltaje sino una corriente proporcional a la que está midiendo, para poder medir esta corriente con un microcontrolador, se usa una resistencia de carga llamada Burden para convertirla en un voltaje.

$$V_{burden} = I_{secundario} * R_{burden}$$

Dónde:

- Vburden es el voltaje generado en la Burden Resistor.
- Isecundario es la corriente que entrega el SCT-013 en el secundario.
- Rburden es el valor de la resistencia de carga en ohmios.

El SCT-013-000 de 100A tiene una relación de transformación de 100A:50mA, es decir:

$$I_{\text{secundario}} = \frac{I_{\text{primario}}}{\text{Relación de transformación}}$$

La relación de corriente sería de 100A

$$I_{\text{secundario}} = \frac{100}{2000}$$

$$I_{\text{secundario}} = 50 \text{ mA}$$

$$0,050 \text{ A}$$

Donde:

100 es el valor de la corriente que puede medir

El valor de 2000 en el cálculo de la corriente secundaria proviene de la relación de transformación del sensor SCT-013-000 de 100A, que es 2000:1.

Si queremos que la salida del sensor esté dentro del rango de entrada del ADC del ESP32 (máximo 3.3V), elegimos una Burden Resistor adecuada.

Elección de la Burden Resistor

Queremos que el voltaje de salida no exceda los 3.3V, entonces:

$$R_{\text{burden}} = \frac{V_{\text{burden}}}{I_{\text{secundaria}}}$$

$$R_{\text{burden}} = \frac{3,3V}{0,005V}$$

$$R_{\text{burden}} = 66 \Omega$$

Por lo general, se usa una resistencia de 33Ω o 22Ω para evitar saturación y mejorar la linealidad, en este caso se elige la resistencia de 33Ω

Ganancia del amplificador operacional

$$G = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$

Aumenta la señal del SCT-013 para aprovechar el rango del ADC del ESP32.

Con $R_f = 101K\Omega$ y $R_{in} = 10K\Omega$

$$G = 1 + \frac{100K\Omega}{10K\Omega}$$

$$G = 11$$

Dónde:

- R_f es la resistencia de realimentación.
- R_{in} es la resistencia de entrada.
- Para una ganancia de 11 veces, usamos $R_f = 100K\Omega$ y $R_{in} = 10K\Omega$.

Esto indica que el amplificador operacional tendrá una relación de 11 veces más

Sensor de presión de vacío con el sensor MPXV5050DP y ESP32

Este sensor entrega una salida analógica lineal en función de la presión detectada.

$$\text{Pressure} = (V_{out} - 3,2) * \left(\frac{50,0}{0,25 - 3,2} \right)$$

Dónde:

- Pressure = Presión en KPa o bar.
- V_{out} = Voltaje medido en el ADC del ESP32.
- $3.2V$ = Voltaje de referencia del sensor a presión atmosférica.
- $0.25V$ = Voltaje mínimo del sensor a presión de vacío máxima.
- 50.0 = Rango de presión máxima en KPa.

El sensor tiene una salida de $3.2V$ en presión atmosférica (0 KPa).

Si la presión de vacío aumenta, el voltaje disminuye hasta 0.25V.

La relación entre voltaje y presión es lineal, por lo que se aplica una ecuación de escalado basada en una regla de tres.

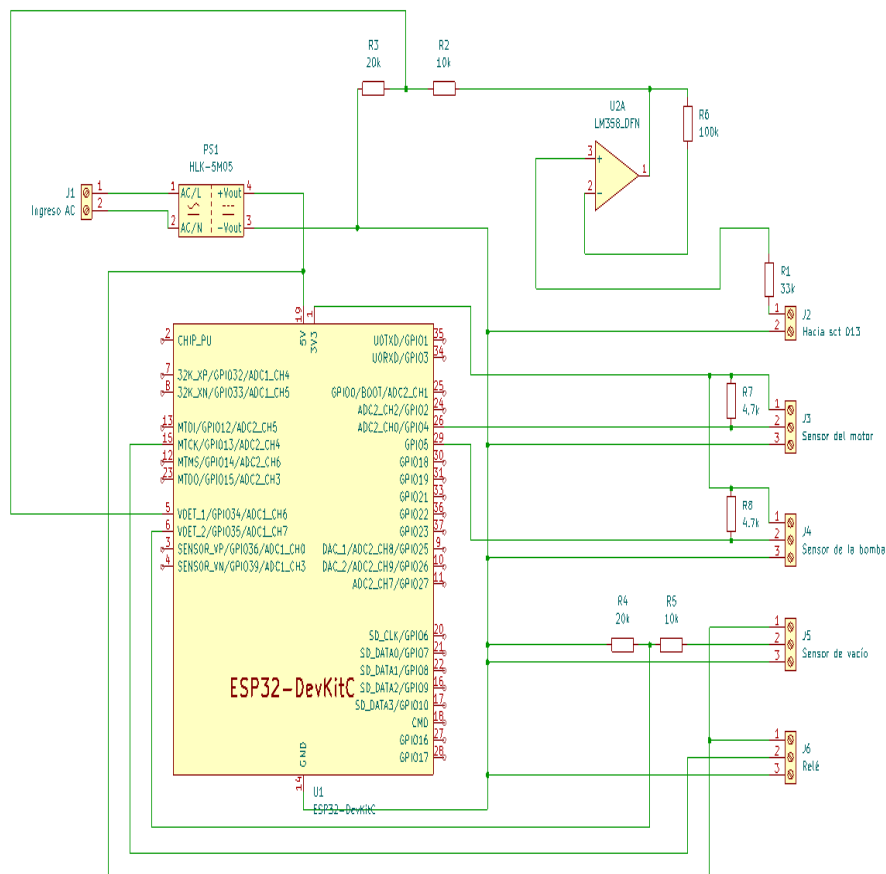
Si el voltaje medido es 0, significa que hay vacío. Si el voltaje es 3.2V, significa que la presión es la atmosférica.

Diseño de Diagrama Eléctrico.

En la figura 10, se muestra el diseño eléctrico del modelo del sistema, para lo cual se trabajó con el software KiCad.

Figura 10

Diagrama electrónico

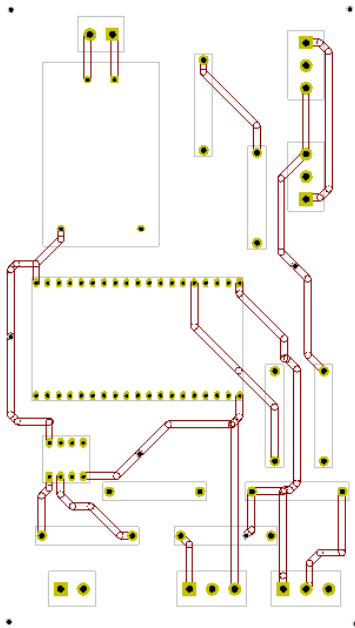


Ruteado de las pistas

En la figura 11 se muestra el ruteado de las pistas de la PCB para el proyecto IoT, la vista frontal.

Figura 11

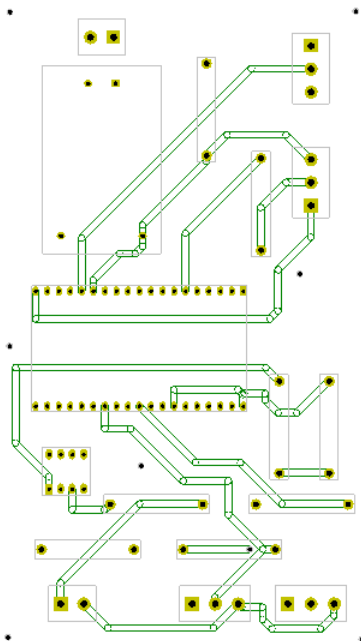
Vista frontal de las pistas



En la figura 12 se muestra el ruteado de las pistas, la vista posterior.

Figura 12

Vista posterior de las pistas

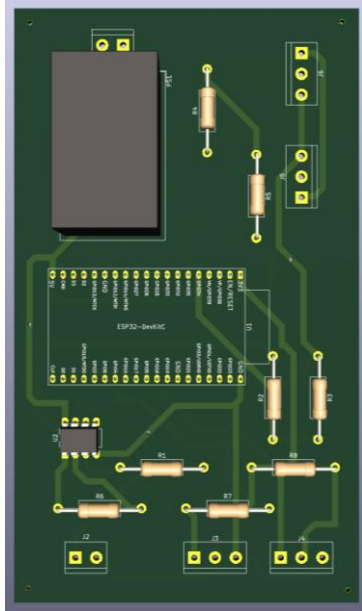


Simulación de componentes en 3D

En la figura 13 se muestra la simulación de los componentes en 3D con ayuda del software de simulación KiCad, se presenta la vista frontal.

Figura 13

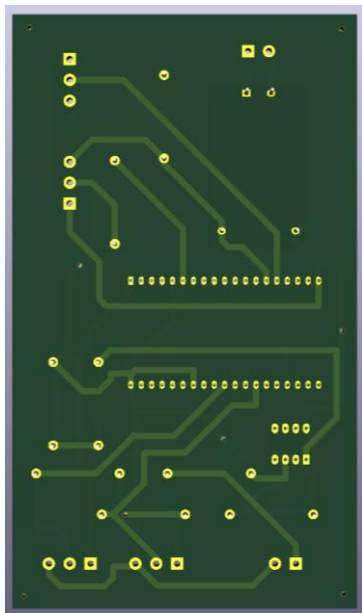
Vista frontal de la simulación



En la figura 14 se muestra la simulación de los componentes en 3D, la vista posterior.

Figura 14

Vista posterior de la simulación



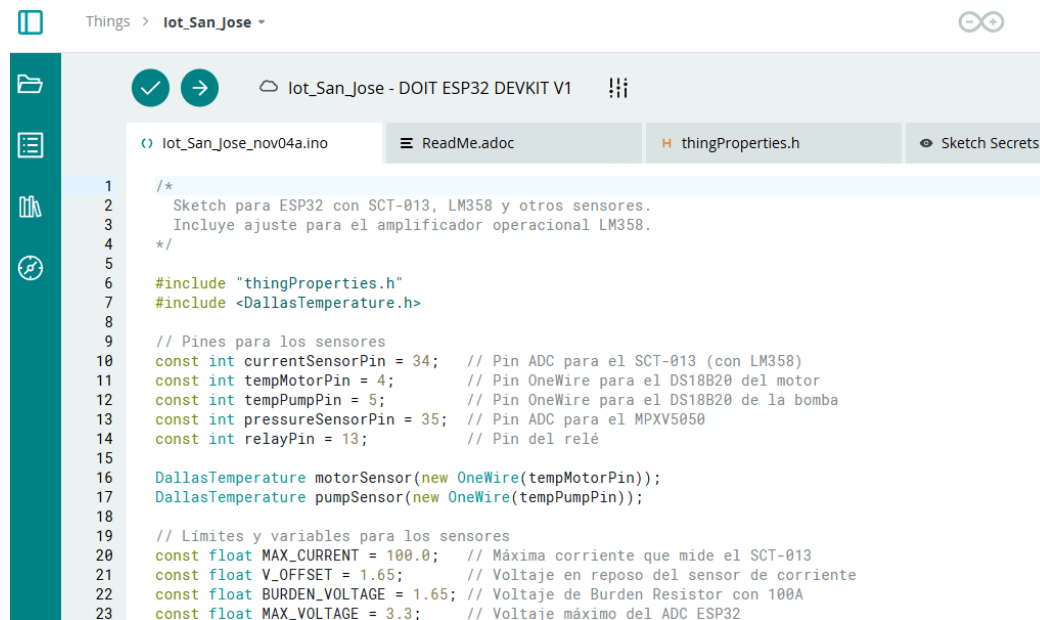
Programación del Microcontrolador.

Arduino IDE

En la figura 15 se muestra el de código abierto de la programación del sistema, esta aplicación de software ayuda en la programación y carga de código en la presente placa del dispositivo IoT.

Figura 15

Código de programación en Arduino Ide



```
1  /*
2   Sketch para ESP32 con SCT-013, LM358 y otros sensores.
3   Incluye ajuste para el amplificador operacional LM358.
4   */
5
6  #include "thingProperties.h"
7  #include <DallasTemperature.h>
8
9  // Pines para los sensores
10 const int currentSensorPin = 34; // Pin ADC para el SCT-013 (con LM358)
11 const int tempMotorPin = 4; // Pin OneWire para el DS18B20 del motor
12 const int tempPumpPin = 5; // Pin OneWire para el DS18B20 de la bomba
13 const int pressureSensorPin = 35; // Pin ADC para el MPXV5050
14 const int relayPin = 13; // Pin del relé
15
16 DallasTemperature motorSensor(new OneWire(tempMotorPin));
17 DallasTemperature pumpSensor(new OneWire(tempPumpPin));
18
19 // Límites y variables para los sensores
20 const float MAX_CURRENT = 100.0; // Máxima corriente que mide el SCT-013
21 const float V_OFFSET = 1.65; // Voltaje en reposo del sensor de corriente
22 const float BURDEN_VOLTAGE = 1.65; // Voltaje de Burden Resistor con 100A
23 const float MAX_VOLTAGE = 3.3; // Voltaje máximo del ADC ESP32
```

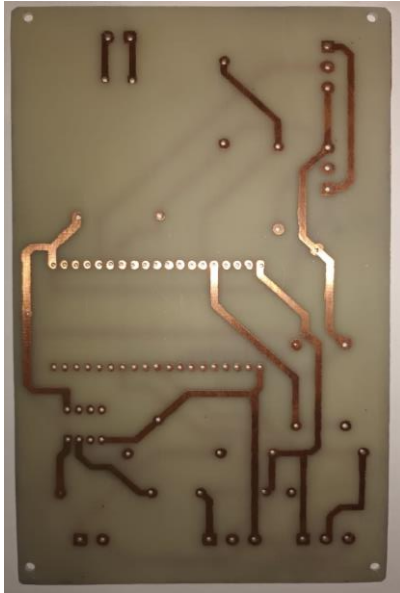
Nota. Tomado de <https://app.arduino.cc/things/43bba7c5-3b13-4814-8320-7615ed7b16ea/sketch>

Implementación

En la figura 16 se muestra la vista frontal de la PCB realizada, esta sirve de base para los elementos electrónicos y su conexión.

Figura 16

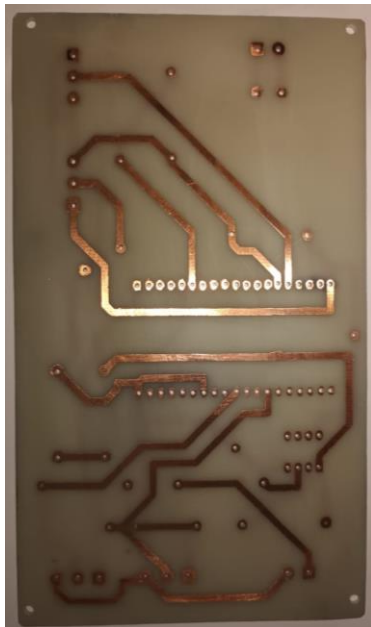
Vista frontal de la PCB



En la figura 17 se muestra la Vista posterior de la PCB

Figura 17

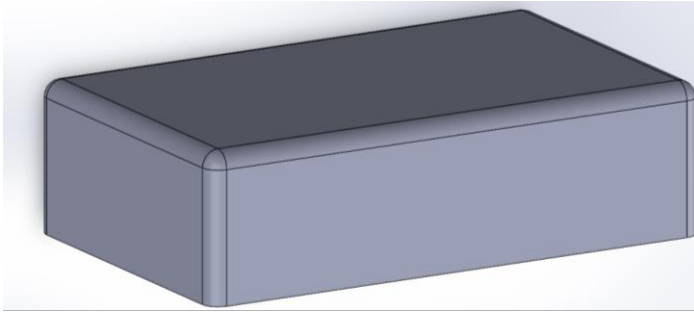
Vista posterior de la PCB



En la figura 18 se muestra el diseño de la caja contenedora en 3D, esta contiene la PCB y sirve de resguardo para la electrónica del sistema.

Figura 18

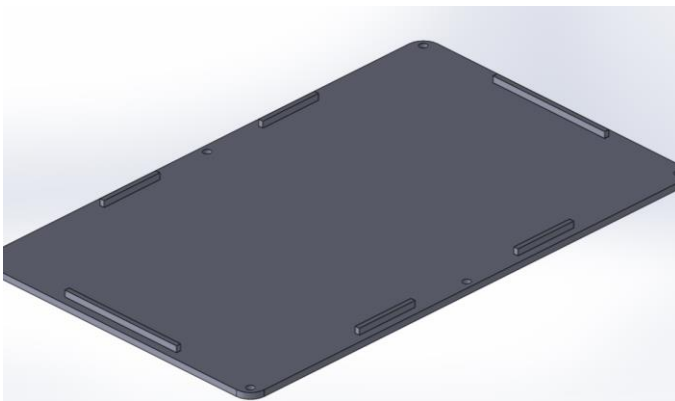
Diseño de la caja contenedora en 3D



En la figura 19 se muestra el diseño de la tapa de la contenedora en 3D.

Figura 19

Diseño de la tapa vista en 3D



En la figura 20 se muestra el circuito integrado con los elementos en la PCB, luego se procedió a la colocación del dispositivo IoT en la pared junto a la caja de arranque.

Figura 20

Vista del circuito



En la figura 21 se muestra cómo se hizo la instalación del sensor de temperatura en la bomba de vacío.

Figura 21

Instalación del sensor de temperatura en la bomba de vacío



En la figura 22 se muestra cómo se instaló el sensor de temperatura en el motor eléctrico.

Figura 22

Instalación del sensor de temperatura en el motor eléctrico



En la figura 23 se muestra cómo se realizó la colocación del sensor de vacío en la tubería de presión, esto con un punto de prueba y una manguera de PVC de 3/16 de pulgada.

Figura 23

Instalación del sensor de presión de vacío en la tubería de presión



En la figura 24 se muestra cómo se realizó la colocación del sensor de corriente en una de las líneas que alimentan al motor eléctrico monofásico.

Figura 24

Instalación del sensor de corriente



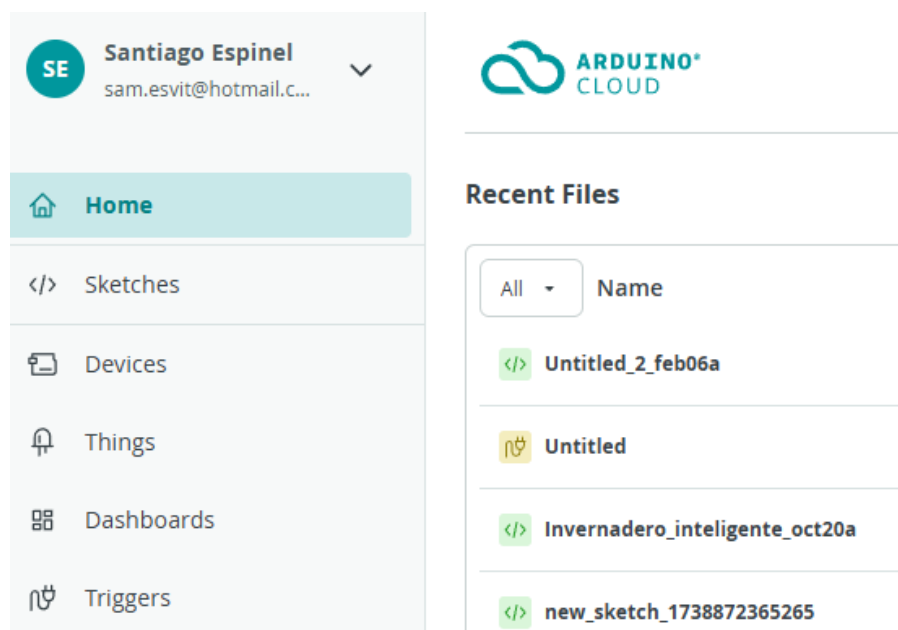
Aplicación IoT

Arduino IoT Cloud

En la figura 25 se muestra la página principal de la plataforma de representación en línea, desarrollada por Arduino que ayuda en la creación, implementación y el monitoreo de proyectos de Internet de las Cosas IoT, se debe tener una cuenta registrada para la verificación de los datos recopilados.

Figura 25

Página principal del sistema de Arduino IoT Cloud



Nota. Tomado de Arduino Cloud | Build, Control, Monitor Your IoT Projects. (2025). Arduino.cc.
<https://cloud.arduino.cc/>

Además, permite la carga de *sketch* en el dispositivo IoT mediante Wi-Fi, sin necesidad de conexión por cable, el dispositivo debe estar previamente vinculado, en la figura 26 se muestra la ejecución del programa.

Figura 26

Ejecución del programa

```

74 delay(2000); // Esperar 2 segundos antes de la siguiente medición
75 }
76
77 // Función para leer el sensor de corriente SCT-013 con LM358
78 float readCurrent() {
79   const int samples = 100; // Tomar 100 muestras
80   float totalSquared = 0;
81   for (int i = 0; i < samples; i++) {
82     int analogValue = analogRead(currentSensorPin);
83     float voltage = (analogValue / 4095.0) * 3.3; // Convertir ADC a voltaje
84     // Aplicar la conversión correcta para corriente alterna (SCT-013)
85     float current = (voltage - 1.65) * (100.0 / (50.0 * 33.0));
86     totalSquared += current * current; // Llevar al cuadrado para RMS
87     delay(2); // Pequeña pausa entre lecturas
88   }
89   float rmsCurrent = sqrt(totalSquared / samples); // Calcular RMS
90   return rmsCurrent; // Retornar la corriente efectiva
91 }
92
93 // Función para leer la presión del sensor BMP180 con filtro de media móvil
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

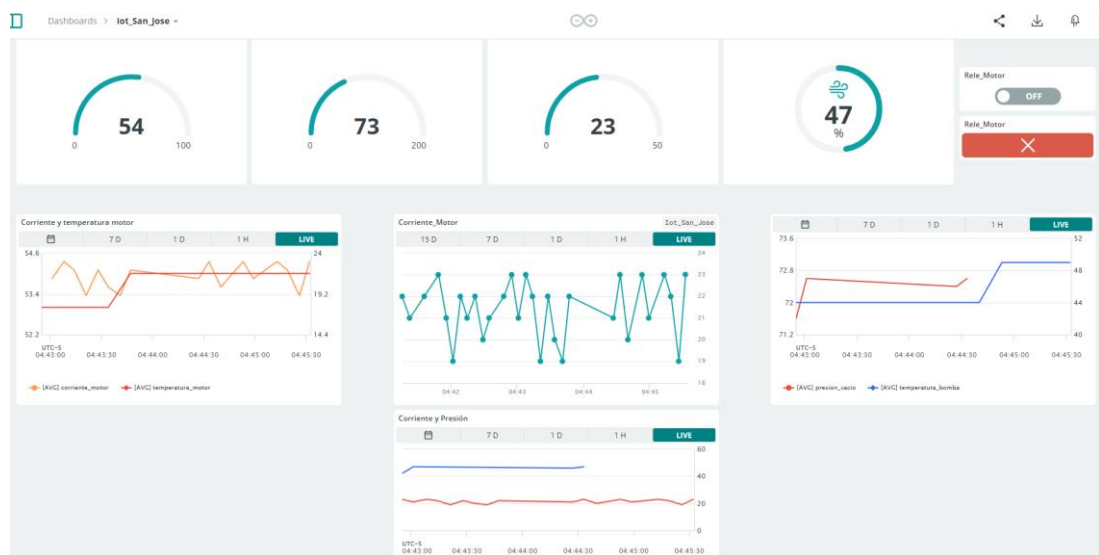
```

Nota. Tomado de la plataforma Arduino IoT Cloud.

En la figura 27 se muestra la prueba de funcionamiento del dispositivo IoT, con la recepción de parámetros medidos, que se realizó para comprobar que el sistema funcione.

Figura 27

Prueba de funcionamiento del dispositivo IoT



2.4 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Análisis de Resultados

El sistema IoT implementado en la Hacienda San José permitió la recolección y análisis de datos sobre los principales parámetros de funcionamiento del motor y la bomba de vacío, en base a esto los sensores instalados registraron información en tiempo real y la transmitieron a la plataforma Arduino IoT Cloud, donde se analiza el comportamiento de los valores medidos, a continuación, detalles encontrados en el sistema.

Para la temperatura de la bomba de vacío; se registra un comportamiento estable en la mayor parte del tiempo, con valores que oscilaron entre 60°C y 80°C. Sin embargo, se identificaron picos de temperatura superiores a 80°C, lo que puede indicar fricción excesiva o problemas en la lubricación, por lo tanto, se verá la posibilidad de aumentar la dosificación de aceite en el dispensador del mismo.

La presión de trabajo de la bomba de vacío, se mantuvo en un rango de 45 a 48 Kilopascales en condiciones normales de operación, no obstante, estos valores inestables hacen que los animales presenten molestias en el ordeño, esto podría ser consecuencia de obstrucciones en las líneas de vacío o problemas del regulador de vacío, se recomendará realizar mantenimiento del mismo con cambio de kit de servicio.

La temperatura del motor eléctrico, temperatura promedio de 55°C, con variaciones de hasta 70°C, el calentamiento excesivo podría reducir la vida útil del motor, con la recomendación de aumentar la dosificación de aceite en la bomba de vacío se verificará con el pasar de los días si la temperatura del motor baja.

La corriente consumida por el motor, el consumo promedio es de 19 amperes, con picos de hasta 20 amperes, en momentos de arranque, por lo tanto, el motor eléctrico consume la corriente adecuada, el aumento del consumo de amperaje indicaría una posible sobrecarga o falla mecánica.

Con relación a la activación del relé de protección; en las pruebas realizadas, el relé no se activó ya que la corriente y la presión del vacío no sobrepasaron los valores para su normal funcionamiento.

Los resultados obtenidos son del *dashboard* de la plataforma Arduino IoT Cloud, lo que permite verificarlos en tiempo real, además, se extrajeron los registros en formato CSV para

análisis estadístico en Microsoft Excel, a continuación, se muestran los principales indicadores obtenidos:

Tabla 1

Parámetros medidos del IoT

Parámetro	Valor Promedio	Valor Máximo
Temperatura Bomba	55 grados C.	70 grados C.
Presión Vacío	45 Kilopascales	48 Kilopascales
Temperatura Motor	45 grados C.	52 grados
Corriente	18 amperes	20 amperes

Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad de la implementación de un sistema IoT para la monitorización del equipo de ordeño, sobresale la capacidad de identificar variaciones en los parámetros operativos que permite prevenir fallas antes de que ocurran, reduciendo costos de mantenimiento y tiempos de inactividad.

La comparación con estudios previos indica que el uso de sensores para monitoreo de temperatura y corriente es una metodología efectiva para detectar fallas prematuras en motores eléctricos y bombas de vacío; se observa que la integración con la plataforma IoT facilita el acceso remoto a los datos, lo que mejora la gestión del mantenimiento en entornos rurales.

Sin embargo, se identificaron algunas limitaciones.

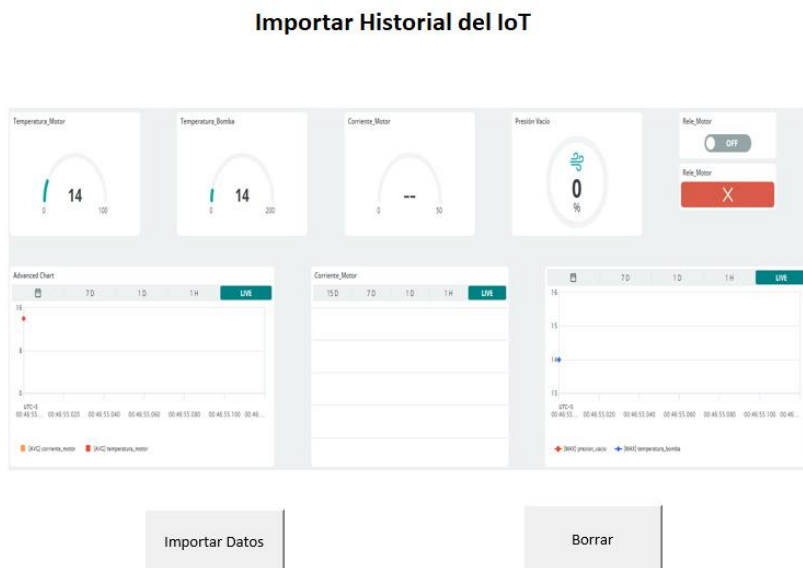
La total dependencia de la conectividad Wi-Fi puede afectar la transmisión de datos en caso de interrupciones del servicio, además, la calibración de los sensores requiere ajustes periódicos para garantizar mediciones precisas.

Adquisición de datos del IoT

La plataforma expresa gran cantidad de datos los cuales se debe interpretar para obtener un mejor resultado, para esto se crea una macro en Excel que permite, luego de la adquisición de los mismos desde la base de datos de IoT Cloud se tome una muestra de diez datos los cuales se generará una tabla de resumen de las muestras de cada uno de los sensores colocados, este se representa en la figura 28.

Figura 28

Macros de resumen de valores registrados del IoT



Al importar datos en la macro de Excel, se puede navegar por el historial de registro, verificar el resumen de las muestras tomadas esto se representa en la tabla 2; se toma 10 muestras aleatorias de las mediciones de los sensores, las cuales se puede interpretar para verificar el funcionamiento del equipo de ordeño.

Tabla 2

Tabla de resumen de diez muestras tomadas de los sensores

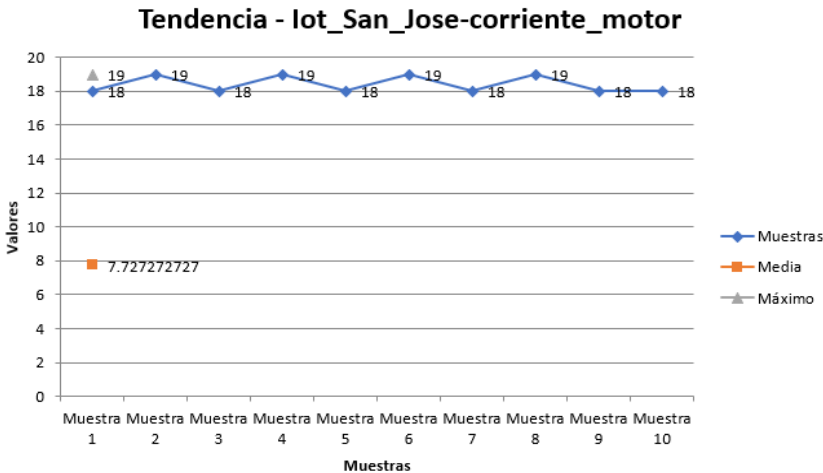
Muestra	Corriente Motor	Presión Vacío	Temperatura Bomba	Temperatura Motor
1	18	18	45	45
2	19	39	45	40
3	18	49	45	47
4	19	48	45	47
5	18	49	45	47
6	19	47	45	47
7	18	49	45	47
8	19	49	44	47
9	18	48	44	47
10	19	47	44	47

Producto de la adquisición de datos, estos se pueden graficar, esto para determinar la su tendencia, en la figura 29 se puede observar la corriente del motor eléctrico, los valores se

mantienen estables entre 18 y 19 amperes, sin cambios significativos que demuestren problemas de funcionamiento.

Figura 29

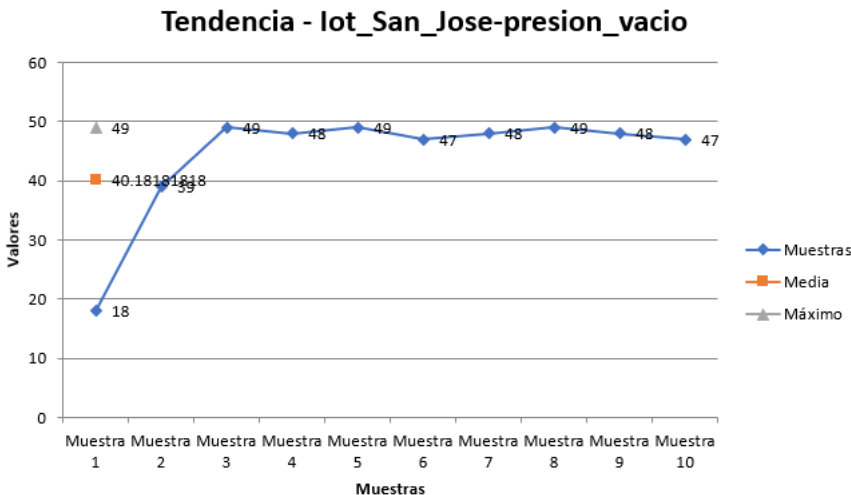
Tendencia registrada en la corriente de trabajo del motor eléctrico



Las muestras tomadas del sensor de presión de vacío indican que la tendencia es a mantenerse entre 48 y 49 Kilopascales; demuestra el buen funcionamiento de la regulación de la presión, esto visible en la figura 30.

Figura 29

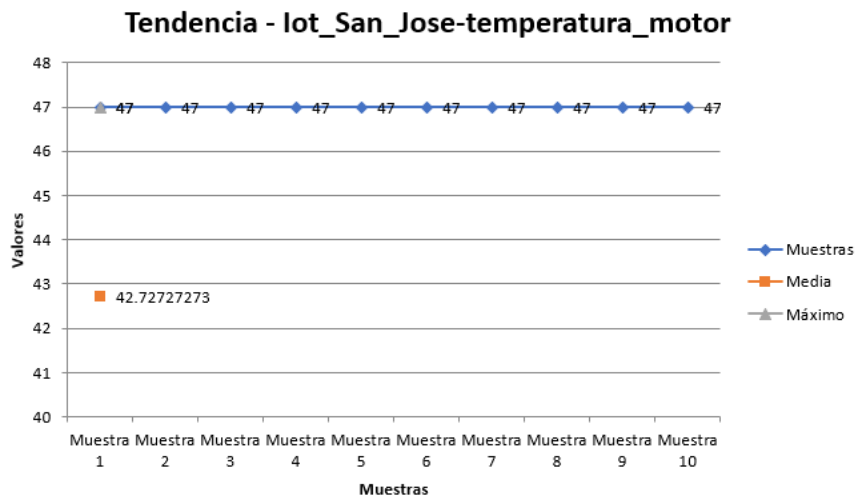
Tendencia registrada en la presión de vacío



La tendencia de la temperatura del motor eléctrico se mantiene estable, llega a subir pero dentro de lo aceptable, esto indicado en la figura 31.

Figura 30

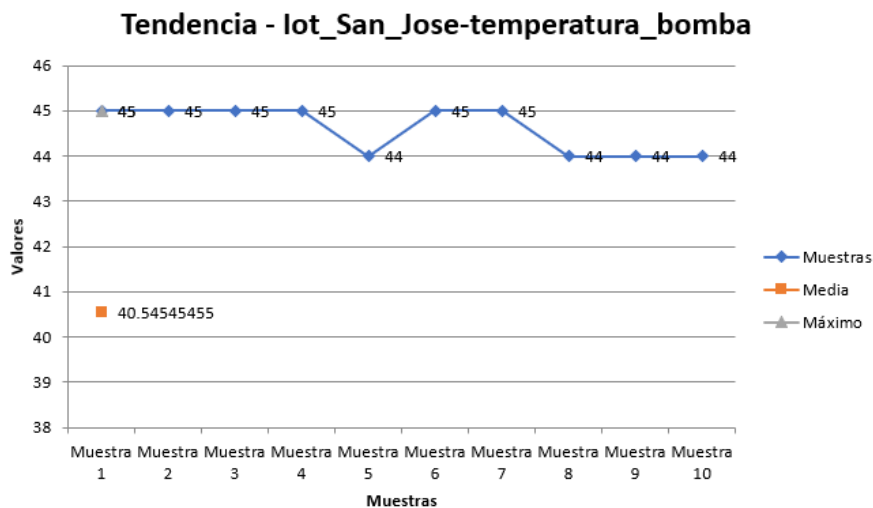
Tendencia registrada en la temperatura de trabajo del motor eléctrico



Los datos obtenidos por el sensor de temperatura de la bomba de vacío demuestran una tendencia a mantenerse estables, figura 32.

Figura 31

Tendencia registrada en la temperatura de trabajo de la bomba de vacío



Con el registro de los valores de cada uno de los sensores, se toma una muestra de diez valores al azar, luego de esto se los ordena nuevamente para Analizar Datos en una hoja de Excel, estos valores permiten calcular la potencia generada por el motor eléctrico, en este caso 3 Hp, esto apreciable en la tabla 3.

Tabla 3

Muestra de diez valores al azar de los sensores, cálculo de la potencia

Muestra	Corriente Motor	Presión Vacío	Temp. Bomba	Temp. Motor	Potencia	Cos ϕ	Hp
1	18	18	45	45	4.14	3.52	2.63
2	19	39	45	40	4.37	3.71	2.77
3	18	49	45	47	4.14	3.52	2.63
4	19	48	45	47	4.37	3.71	2.77
5	18	49	45	47	4.14	3.52	2.63
6	19	47	45	47	4.37	3.71	2.77
7	18	49	45	47	4.14	3.52	2.63
8	19	49	44	47	4.37	3.71	2.77
9	18	48	44	47	4.14	3.52	2.63
10	19	47	44	47	4.37	3.71	2.77

El análisis de datos determina posibles variaciones a futuro, en el gráfico 33 podemos apreciar el cálculo de regresión, importante para tratar datos representativos como:

Coeficiente de corriente (0.19): esta es la variable más influyente en la potencia, ya que de este depende su cálculo, esto con el valor del voltaje de suministro de 230 voltios; debido a que $P=(V*I) \cos \phi$; para el tratamiento de este proyecto se toma en cuenta que si la corriente empieza a aumentar sin razón aparente, puede indicar desgaste en los devanados del motor, desgaste de rodamientos, fallas en la carga conectada, sobrepresión del sistema; en cambio si la corriente baja inesperadamente, puede haber fallas un problema mecánico tal como como una reducción en la carga de la bomba, también bajada de la presión de vacío.

Presión de vacío (1.18E-18): este valor indica que el cambio de esta variable es extremadamente bajo, lo que indica que su impacto es menor, esto es bueno ya que se trata de tener un sistema estable sin variación aparente de la presión de trabajo, en este caso una mayor presión de vacío podría sobrecargar del motor, acortando su vida útil, la baja presión no afectaría el motor pero si a la bomba de vacío, ya que por medio de la presión de trabajo funciona el sistema de lubricación de la misma, cambios en la presión de vacío pueden indicar obstrucciones en las tuberías o fugas en el sistema; además, el comportamiento anormal en la relación presión-potencia podría ser signo de problemas en la bomba de vacío.

Temperatura de la bomba (-3.27E-18): este valor no afecta significativamente la potencia, la temperatura de la bomba puede aumentar o disminuir sin afectar directamente el consumo eléctrico del motor, ya que la bomba mantiene un rendimiento constante dentro de ciertos rangos de temperatura; sin embargo, si la temperatura sube demasiado, puede haber problemas en la lubricación o refrigeración de la bomba, al no existir un antecedente de medición de este parámetro un cambio significativo podría indicar una falla mecánica inminente, se debe mantener la recolección de datos y analizarlos a futuro.

Temperatura del motor (1.39E-17): esta variable tiene cierta influencia, tiene un efecto moderado sobre la potencia, pero menor en comparación con la corriente; a medida que el motor se calienta, puede experimentar una ligera reducción en eficiencia, lo que puede llevar a un pequeño incremento en el consumo de potencia; si el motor aumenta la temperatura sugiere problemas de ventilación, desgaste en los rodamientos o sobrecarga del sistema por exceso de presión de vacío; además el aumento de la temperatura del motor suele relacionarse directamente con el envejecimiento del motor y su eficiencia operativa.

Figura 32

Análisis de datos de las muestras de los sensores

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	2.8375E-17
Observations	10

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	0.09555063	0.02388766	2.96691E+31	1.2752E-78
Residual	5	4.0257E-33	8.0514E-34		
Total	9	0.09555063			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-8.1433E-15	1.2268E-15	-6.63808565	0.001169208	-1.1297E-14	-4.9898E-15	-1.1297E-14	-4.9898E-15
corriente motor	0.1955	2.0385E-17	9.5904E+15	2.33946E-79	0.1955	0.1955	0.1955	0.1955
presion vacio	1.1899E-18	1.1667E-18	1.01993812	0.354544593	-1.8091E-18	4.189E-18	-1.8091E-18	4.189E-18
temperatura bomba	-3.2734E-18	2.1438E-17	-0.15269114	0.884612386	-5.8382E-17	5.1835E-17	-5.8382E-17	5.1835E-17
temperatura motor	-1.3988E-17	5.3263E-18	-2.62618273	0.046747866	-2.768E-17	-2.9615E-19	-2.768E-17	-2.9615E-19

Ecuación de regresión

Aplicando la ecuación de regresión se puede encontrar la relación entre una variable dependiente y las variables independientes que son los factores que afectan al valor de la variable dependiente, en este caso, la potencia eléctrica del motor es la variable dependiente, y las variables independientes son la corriente, la presión de vacío, la temperatura del motor y la temperatura de la bomba de vacío.

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

Dónde:

Y= variable dependiente, en este caso la potencia.

a= es el intercepto, cuando todas las variables independientes son cero.

b1, b2... bn= son los coeficientes de regresión, esto indica cuánto cambia Y por cada cambio en X.

x1, x2... xn= son las variables independientes, en este caso, corriente, presión, temperatura del motor, temperatura de la bomba de vacío.

Cuando los valores de las variables independientes son:

Corriente = 18 A

Presión de vacío = 48

Temperatura bomba = 45°C

Temperatura del motor = 47°C

$$Potencia = (-8.14333E - 15) + (0.1955 \times 18) + (1.18994E - 18 \times 48) + (-3.27343E - 18 \times 45) + (-1.3988E - 17 \times 47)$$

$$Potencia \cong 3.519 \text{ kW Kilowatts}$$

Este valor de potencia es aproximado para un motor de 3 HP, esto en base a la placa del motor eléctrico.

La ecuación de regresión permite predecir valores futuros ya que si medimos la corriente, la presión y las temperaturas, se puede estimar la potencia eléctrica del motor sin necesidad de medirla directamente, ayuda a detectar fallos antes de que ocurran al identificar valores atípicos en la predicción; para determinar qué factores afectan más la potencia, en este caso, la corriente del motor tiene el mayor impacto en la potencia, lo que confirma que el consumo eléctrico depende directamente de la corriente.

La presión y las temperaturas tienen una influencia mínima, lo que indica que no afectan significativamente el consumo de energía.

Si el modelo de regresión detecta que la potencia calculada no coincide con la potencia real, esto puede ser una señal de una falla inminente.

Se pueden generar alarmas si la ecuación predice una potencia fuera del rango esperado para ciertas condiciones de operación.

Ejemplo de variación de la corriente con una subida de 25 amperes:

Corriente = 25 A

Presión de vacío = 48 Kilopascales

Temperatura bomba = 45°C

Temperatura del motor = 47°C

$$Potencia = (-8.14333E - 15) + (0.1955 \times 25) + (1.18994E - 18 \times 48) + (-3.27343E - 18 \times 45) + (-1.3988E - 17 \times 47)$$

$$Potencia \cong 4.8875 \text{ kilowatts}$$

Con 25 amperes, la potencia calculada es de 4.89 kW, lo cual sigue siendo más alto que la potencia nominal del motor de 3 HP. Esto indica que el motor está operando sobrecargado, lo que puede generar un sobrecalentamiento y daños a corto plazo.

En base a la regresión se puede estimar la potencia del motor en función de la corriente consumida, si los datos de entrada tienen ruido o errores, la predicción suele ser inexacta; además que los coeficientes muy pequeños como la presión de vacío y temperatura tienen coeficientes cercanos a cero, lo que indica que su influencia es mínima.

CONCLUSIONES

Se logra desarrollar un sistema IoT basado en el microcontrolador ESP32, que permite la monitorización en tiempo real de la temperatura de la bomba de vacío, la presión de trabajo de la bomba, la temperatura del motor eléctrico y la corriente eléctrica consumida por el motor, esto demuestra que la integración de sensores de temperatura DS18B20, el sensor de corriente SCT-013 y el sensor de presión MPXV 5050 proporciona información útil para la gestión del sistema de ordeño en lo que concierne al mantenimiento preventivo del mismo.

La implementación de este dispositivo permite la recopilación de datos en la plataforma Arduino IoT Cloud, facilitando la supervisión remota de los parámetros importantes del equipo, esto contribuye a la prevención de fallas y a la optimización del mantenimiento preventivo en la hacienda, asegurando la continuidad de las operaciones de ordeño sin interrupciones por daños graves.

Al incorporar un relé, utilizado para la desconexión del motor en caso de consumo eléctrico excesivo, demuestra ser una medida eficaz para proteger el equipo ante posibles fallas, este elemento mecánico de seguridad minimiza el riesgo de daños en el motor eléctrico y reduce costos asociados con reparaciones y tiempos de interrupción inesperados.

La conectividad y el acceso a Internet juegan un papel fundamental en la funcionalidad de este sistema IoT, si bien el sistema es eficiente en la monitorización de las variables principales para la bomba de vacío y el motor eléctrico, su dependencia de la red Wi-Fi puede ser un punto crítico en entornos rurales con conectividad inestable.

Los datos recolectados son fundamentales para la toma de decisiones en cuanto a los parámetros de funcionamiento adecuados y la programación de mantenimientos preventivos, este sistema representa un avance importante en la optimización de la gestión del sistema de ordeño y la protección de los equipos.

RECOMENDACIONES

Se deberían realizar pruebas a largo plazo con el relé de protección, esto con el fin de evaluar su desempeño en diferentes condiciones operativas, ya que el consumo de corriente puede variar.

Ya que la conectividad a Internet o al Wi-Fi puede ser un factor limitante en áreas rurales, se debería investigar soluciones complementarias como el uso de antenas de repetición de la señal, o la implementación de otro protocolo de comunicación más robusto para la transmisión de datos, así obteniendo autonomía del sistema IoT.

La calibración de los sensores utilizados en el sistema se debe verificar para asegurar la precisión de los datos recopilados.

Evaluar la posibilidad de incorporar sensores adicionales que permitan medir otros parámetros relevantes para el mantenimiento preventivo del sistema de ordeño, amperaje de la bomba de transporte de leche, temperatura del agua utilizada en el lavado, etc.

Desarrollar un sistema de alertas que notifique en tiempo real cualquier anomalía detectada en los parámetros monitorizados, como sobrecalentamientos, presión fuera de rango o consumo eléctrico elevado, estas alertas permitirán a los operadores intervenir rápidamente antes de que se presenten fallas graves, optimizando la respuesta ante emergencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Academy. (2023). Khanacademy.org. <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-resistor-circuits/a/ee-voltage-divider>
- Arduino Cloud | Build, Control, Monitor Your IoT Projects. (2025). Arduino.cc.
https://cloud.arduino.cc/?gad_source=1&utm_source=chatgpt.com
- <https://www.facebook.com/unowired>. (2023, October 29). El poder de Arduino IoT Cloud: conectando tu mundo. Robotics for Beginners. https://www.full-skills.com/es/iot/arduino-iot-cloud/?utm_source=chatgpt.com
- Arduino Cloud | Build, Control, Monitor Your IoT Projects. (2025). Arduino.cc.
<https://cloud.arduino.cc/>
- Circuito integrado mpxv5050gp sensor de presion mpxv5050. (2025). Tecnoliveusa.com.
<https://tecnoliveusa.com/verproducto.php?id=89181>
- Comenzando en KiCad | 8.0 | Español | Documentation | KiCad. (2024). Kicad.org;
Comenzando en KiCad | 8.0 | Español | Documentation | KiCad.
https://docs.kicad.org/8.0/es/getting_started_in_kicad/getting_started_in_kicad.html?utm_source=chatgpt.com
- Jorge, P. M. (2020). Sistema de monitorización inalámbrica de temperatura mediante sensor de infrarrojos y microcontrolador ESP32. Riunet.upv.es.
<http://hdl.handle.net/10251/153154>
- Llamas, L. (2017, January 24). Sensor de corriente eléctrica no invasivo con Arduino y SCT-013. Luis Llamas. <https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-corriente-sct-013/>
- Microcontrolador Esp32 – Microdesys. (2022). Microdesys.es.
<https://microdesys.es/docs/microcontrolador-esp32/>
- <https://www.facebook.com/jose.guerracarmenate>. (2021, February 16). ESP32 Wifi + Bluetooth en un solo lugar. Programarfacil Arduino Y Home Assistant.
<https://programarfacil.com/esp8266/esp32/>
- Espressif. (2024). ESP32 Series Datasheet Including.
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

MPX5050 Integrated silicon pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. (2023).

<https://www.mouser.ec/datasheet/2/302/MPX5050-3138730.pdf>

Naylamp Mechatronics - Perú. (2023). Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013.

Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html

Naylamp Mechatronics - Perú. (2023). Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20.

Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html

Peter. (2024, February 26). KiCad 8: The new and updated features, a full review. Tech

Explorations. https://techexplorations.com/blog/kicad/kicad-8-new-and-updated-features-review/?utm_source=chatgpt.com

Performance test of Power Mains to 5V 0.6A Hi-Link HLK-PM01 UK. (2025). Lygte-Info.dk.

<https://lygte-info.dk/review/Power%20Mains%20to%205V%200.6A%20Hi-Link%20HLK-PM01%20UK.html>

Sensor de temperatura DS18B20 con protector metálico. (2019). Teslatronica Sumador S.A.S. -

NIT: 901640333-1. <https://sumador.com/collections/sensores/products/sensor-de-temperatura-ds18b20-con-protector>

The KiCad editors. (2024, February 23). Version 8.0.0 Released. Kicad.org; KiCad EDA.

https://www.kicad.org/blog/2024/02/Version-8.0.0-Released/?utm_source=chatgpt.com

Vista de Sistema IoT basado en ESP32 para el control y monitoreo de cultivos en invernadero con enfoque de agricultura 4.0. (2025). Upt.edu.pe.

<https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/view/624/620>

Quinaloa Ramírez Anderson Roberto (2024) Sistema IOT de monitoreo de calidad de aire de

una bodega de productos químicos. Quito: Universidad Israel, 2024 64p. Mg. Albarracín

Guarochico Wilmer Fabián, UISRAEL-EC-MASTER-ELEC-PRO-378.242-2024-010.

Arroyo Paredes Margarita Gioconda (2023) Sistema remoto de monitoreo de temperatura, humedad y luminosidad en bodegas de almacenamiento de productos médicos, bajo plataforma IoT. Quito: Universidad Israel, 2023 74p. Mg. Albarracín Guarochico Wilmer Fabián, UISRAEL-EC-MASTER-ELEC-378.242-2023-009.

A TOAPANTA ANGEL ROGELIO (2022) APLICACIÓN IoT PARA EL MONITOREO DE CONSUMO ELÉCTRICO RESIDENCIAL UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE. Quito: Universidad Israel, 2022 60p. MG. CORTIJO LEYVA RENÉ ERNESTO, UISRAEL-EC-MASTER-ELEC-AUTOM-378.242-2022-011.

DIAGRAMA ELECTRÓNICO DE LA TARJETA DE CONTROL

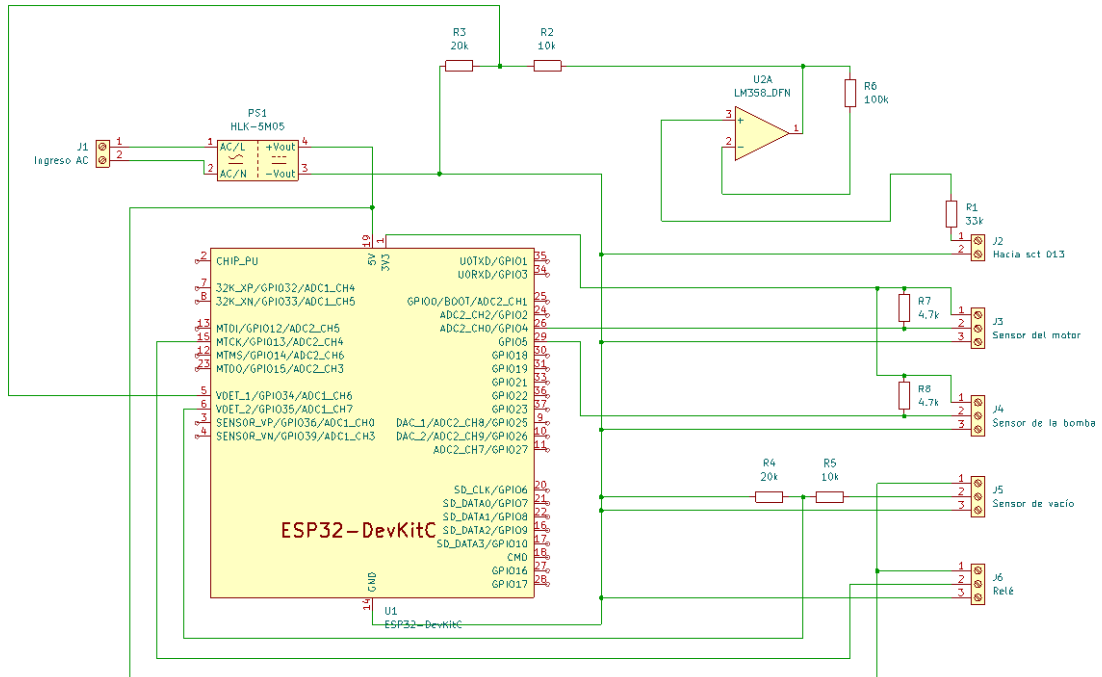
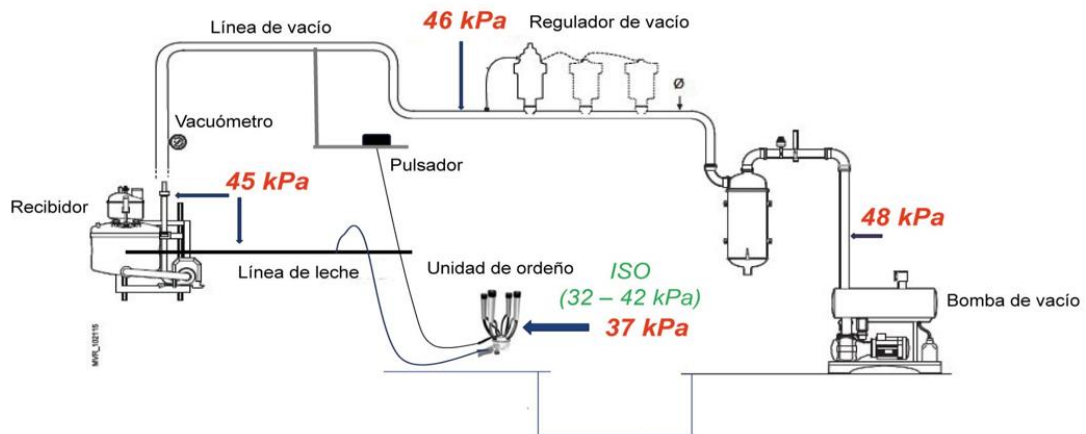


DIAGRAMA DE EQUIPO DE ORDEÑO



ANEXO 2

SKETCH ARDUINO IDE

```
/*  
  
Sketch para ESP32 con SCT-013, LM358 y otros sensores.  
  
Incluye ajuste para el amplificador operacional LM358.  
  
*/  
  
#include "thingProperties.h"  
#include <DallasTemperature.h>  
  
// Pines para los sensores  
const int currentSensorPin = 34; // Pin ADC para el SCT-013 (con LM358)  
const int tempMotorPin = 4;      // Pin OneWire para el DS18B20 del motor  
const int tempPumpPin = 5;       // Pin OneWire para el DS18B20 de la bomba  
const int pressureSensorPin = 35; // Pin ADC para el MPXV5050  
const int relayPin = 13;         // Pin del relé  
  
DallasTemperature motorSensor(new OneWire(tempMotorPin));  
DallasTemperature pumpSensor(new OneWire(tempPumpPin));  
  
// Límites y variables para los sensores  
const float MAX_CURRENT = 25.0; // Corriente máxima antes de activar el relé  
const float V_REF = 1.65;       // Voltaje de referencia del LM358  
const float SENSITIVITY = 0.066; // Sensibilidad del SCT-013  
  
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  delay(1500);  
  
  // Configuración del ADC a 12 bits  
  analogReadResolution(12);
```

```

// Inicializar propiedades del IoT Cloud
initProperties();
ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
setDebugMessageLevel(2);
ArduinoCloud.printDebugInfo();

// Inicializar variables en 0
corriente_motor = 0;
temperatura_motor = 0;
temperatura_bomba = 0;
presion_vacio = 0;
rele_motor = false;

// Configurar los pines de entrada y salida
pinMode(currentSensorPin, INPUT);
pinMode(pressureSensorPin, INPUT);
pinMode(relayPin, OUTPUT);
digitalWrite(relayPin, LOW); // Relé inicialmente apagado

// Inicializar los sensores de temperatura
motorSensor.begin();
pumpSensor.begin();
}

void loop() {
    ArduinoCloud.update();

    // Leer los valores de los sensores con correcciones aplicadas
    corriente_motor = readCurrent();
    temperatura_motor = readMotorTemperature();

```

```

temperatura_bomba = readPumpTemperature();
presion_vacio = readPressure(); // Se eliminó el signo negativo

// Activar el relé si el consumo de corriente supera el límite
if (corriente_motor > MAX_CURRENT) {
    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar el relé
    rele_motor = true;
    Serial.println("¡Advertencia! Corriente excesiva. Relé activado.");
} else {
    digitalWrite(relayPin, LOW); // Desactivar el relé
    rele_motor = false;
}

delay(2000); // Esperar 2 segundos antes de la siguiente medición
}

// Función para leer el sensor de corriente SCT-013 con LM358
float readCurrent() {
    const int samples = 100; // Promedio de 100 mediciones
    float totalCurrent = 0;
    float sensitivity = 0.233; // Voltios por amperio basado en medición real

    for (int i = 0; i < samples; i++) {
        int analogValue = analogRead(currentSensorPin);
        float voltage = (analogValue / 4095.0) * 3.3; // Convertir ADC a voltaje

        // Aplicar nueva fórmula con sensibilidad ajustada
        float current = voltage / sensitivity;

        totalCurrent += current;
    }
    delay(2);
}

```

```

    }

    return totalCurrent / samples; // Retornar el promedio
}

// Función para leer la presión del sensor MPXV5050 con filtro de media móvil
float readPressure() {
    const int samples = 10; // Número de muestras para suavizar lectura
    float totalPressure = 0;

    for (int i = 0; i < samples; i++) {
        int analogValue = analogRead(pressureSensorPin);
        float vout = (analogValue / 4095.0) * 3.3; // Conversión ADC a voltaje

        // Conversión de voltaje a presión (ajustada a tus mediciones de 0V a 3,3V)  $((vout - 3.2) * (50.0 / (0.2 - 3.2)))$  ecuación original
        float pressure = ((vout - 3.2) * (50.0 / (0.25 - 3.2)));

        if (pressure < 5) pressure = 0; // corrección, menor que cero pone en cero

        totalPressure += pressure;
        delay(10); // Pequeña pausa entre lecturas
    }

    return totalPressure / samples; // Promedio de presión en KPa
}

// Función para leer la temperatura del sensor DS18B20 del motor
float readMotorTemperature() {

```

```

    motorSensor.requestTemperatures();
    return motorSensor.getTempCByIndex(0);
}

// Función para leer la temperatura del sensor DS18B20 de la bomba
float readPumpTemperature() {
    pumpSensor.requestTemperatures();
    return pumpSensor.getTempCByIndex(0);
}

// Manejo del relé desde el IoT Cloud
void onReleMotorChange() {
    digitalWrite(relayPin, rele_motor ? HIGH : LOW);
}

```