



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO Y PRUEBA DE
SENSORES INDUSTRIALES FOTOELÉCTRICOS, DE TEMPERATURA, SEGURIDAD Y
ROTACIÓN**

Jorge David Top Raxón

Asesorado por el Mtro. Noé Josué Villegas de León

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO Y PRUEBA DE
SENSORES INDUSTRIALES FOTOELÉCTRICOS, DE TEMPERATURA, SEGURIDAD Y
ROTACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE DAVID TOP RAXÓN

ASESORADO POR EL MTRO. NOÉ JOSUÉ VILLEGAS DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Córdova Zeceña
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO Y PRUEBA DE
SENSORES INDUSTRIALES FOTOELÉCTRICOS, DE TEMPERATURA, SEGURIDAD Y
ROTACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 12 de enero de 2022.



Jorge David Top Raxón



EEPFI-PP-0144-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO Y PRUEBA DE SENSORES INDUSTRIALES FOTOELÉCTRICOS, DE TEMPERATURA, SEGURIDAD Y ROTACION**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Análisis de datos - Análisis de datos**, presentado por el estudiante **Jorge David Top Raxón** carné número **200914908**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Ciencias De La Computación.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

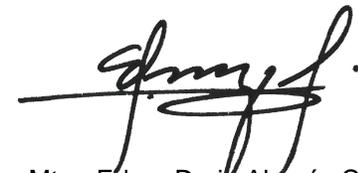
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Noé Josué Villegas De León
Asesor(a)



Mtro. Mario Renato Escobedo Martinez
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería




EEP-EIME-0144-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO Y PRUEBA DE SENSORES INDUSTRIALES FOTOELÉCTRICOS, DE TEMPERATURA, SEGURIDAD Y ROTACION**, presentado por el estudiante universitario **Jorge David Top Raxón**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

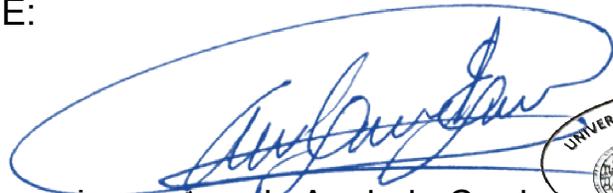
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.206.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO Y PRUEBA DE SENSORES INDUSTRIALES FOTOELÉCTRICOS, DE TEMPERATURA, SEGURIDAD Y ROTACIÓN**, presentado por: **Jorge David Top Raxón** , después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme la fuerza, la constancia y la fe para culminar mi carrera

Mis padres

Nicolasa Raxón y Santiago Top. Por ser mi apoyo durante estos años incondicionalmente, fuentes de consejo y fuerza.

Mis amigos

Por estar presentes durante la carrera y muchos años después apoyándonos mutuamente.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios donde seguí mi vocación y me llevó a ser un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme crecer académicamente, hacer amistades duraderas y lograr mis sueños.
Mis amigos	Diego Dávila, Carlos Oxóm, José Ruano, Silvio Urizar, Víctor Carranza, Mynor Mendoza, entre otros con quienes encontré apoyo y confianza durante estos años profesional y personalmente.
IEEE USAC	Por haberme permitido ser parte de un grupo estudiantil que dio grandes pasos en la Facultad y que me ha aportado enormemente en mi área profesional.
Fundación Kinal	Cuyo centro educativo sentó las bases de mi desarrollo profesional y ético bajo una de las mejores plataformas de enseñanza.
Mtro. Noé Villegas	Por su aporte, asesoría y amistad para el desarrollo de este documento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
3.1. Contexto general	15
3.2. Descripción del problema	15
3.3. Formulación del problema	16
3.3.1. Pregunta central	17
3.3.2. Preguntas auxiliares	17
3.4. Delimitación del problema	18
4. JUSTIFICACIÓN	19
5. OBJETIVOS	21
5.1. General.....	21
5.2. Específicos	21
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN	23

7.	MARCO TEÓRICO	27
7.1.	Fundamentos de las señales eléctricas	27
7.2.	Señal analógica.....	27
7.2.1.	Señal digital.....	27
7.2.2.	Tratamiento de señales analógicas y digitales	28
7.2.2.1.	Conversión analógica digital.....	28
7.2.2.2.	Muestreo	28
7.2.2.3.	Cuantificación.....	30
7.2.2.4.	Codificación.....	30
7.2.2.5.	Características	30
7.3.	Sensores usados en la industria	33
7.3.1.	Sensores de puertas con señal dinámica.....	33
7.3.2.	Sensores fotoeléctricos	37
7.3.3.	Sensores de temperatura resistivos.	39
7.3.4.	Codificadores rotativos de posición.....	41
7.4.	Fundamentos electrónicos para el diseño del prototipo	42
7.4.1.	El microcontrolador	43
7.4.1.1.	Fundamentos	43
7.4.1.2.	Juego de instrucciones.....	44
7.4.1.3.	Interrupciones.....	44
7.5.	Métodos de comunicación.....	45
7.5.1.	Protocolo USB.....	45
7.5.2.	Protocolo WIFI.....	47
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	49
9.	MARCO METODOLÓGICO	53
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	57

11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
12.1.	Factibilidad técnica	63
12.2.	Factibilidad económica	64
	REFERENCIAS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Composición del dispositivo	25
2.	Dispositivo Eden	34
3.	Anillo de seguridad.....	35
4.	Conexiones eléctricas	36
5.	Sensores fotoeléctricos	37
6.	Diagrama interno.....	38
7.	Gráfica de relación temperatura-resistencia.....	40
8.	Codificador rotativo Sick.....	42

TABLAS

I.	Características eléctricas de Eden	36
II.	Características eléctricas del sensor fotoeléctrico Omron.....	38
III.	Características eléctricas del codificador Sick	42
IV.	Cronograma de actividades	61
V.	Presupuesto	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°	Grados
MHz	Mega hertzios
µs	Microsegundos
mA	Miliamperios
ms	Milisegundos
nm	Nanómetros
Q	Quetzales
V	Voltio
VCD	Voltaje de corriente directa

GLOSARIO

Codificador	Componente electrónico que convierte una variable como posición, velocidad, entre otros a otro tipo con determinadas reglas de diseño.
Controlador	Componente lógico que recibe y produce señales dependiendo de su programación o propósito.
Fotocelda	Es un componente que actúa con base a la cantidad de luz que recibe directamente.
IoT	Internet of Things, que son componentes conectados a internet.
Seis Sigma	Conjunto de técnicas y herramientas para la mejora de procesos.
Wifi	<i>Wireless fidelity</i> , tecnología utilizada para interconectar dispositivos a internet.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se contempla el diseño de un dispositivo electrónico de recolección de datos de diversas fuentes como sensores de luz, inductivos, codificadores de posición y temperatura.

La segunda parte comprende el almacenamiento y tratamiento de la información, así como el análisis de los datos recolectados ya que su fin primordial es reducir el tiempo para determinar si un componente está defectuoso en caso de tener una falla o monitorear los componentes durante su operación para anticipar un problema.

El primer capítulo describe la teoría de la recolección y tratamiento de las señales a obtener. Los tipos de sensores objetivos del estudio y los fundamentos electrónicos del diseño del prototipo. En el segundo capítulo se presenta la estructura de las etapas de prototipo en la su parte electrónica, selección de componentes, diseño de circuitos entre otros temas; así como la parte de software, la implementación en la nube y el diseño del software del análisis de datos.

El tercer capítulo comprende la construcción, pruebas y métodos de calibración del prototipo. Para el cuarto capítulo se establecen las pruebas necesarias para determinar la precisión y exactitud del prototipo para que en el quinto capítulo se puedan llegar a las conclusiones de la implementación y validar si se han logrado los objetivos propuestos.

1. INTRODUCCIÓN

El rendimiento de una línea de producción es un indicador muy importante para una fábrica de cualquier producto. Para líneas de envasado de alimentos el indicador de rendimiento usualmente incluye tiempos de producción efectiva, cantidad de envases producidos, producto perdido, eficiencia de operación, eficiencia mecánica o eléctrica entre otros muchos factores.

En la eficiencia mecánica de la línea podemos tomar en cuenta datos como la cantidad de tiempo entre cada fallo, el tipo de fallo, tiempo de vida de un componente, el tipo de componente afectado y la cantidad de tiempo que toma resolver el problema. Este último elemento en un equipo industrial de cualquier empresa es un parámetro muy importante que se busca llevar al mínimo y así mantener los equipos produciendo.

El mantenimiento correctivo a una máquina implica un tiempo perdido de producción que no está previsto e incrementa el costo de envasar un producto. Resolver un problema eléctrico puede ser algo relativamente sencillo como un componente que simplemente no encienda o ser algo muy complicado que solo pase esporádicamente o bajo ciertas condiciones. La capacidad de un técnico para resolver un problema eléctrico es vital para minimizar el tiempo en que la producción se ha detenido. De la misma manera, es necesario herramientas que permitan probar los componentes de forma controlada.

Durante este trabajo se presenta el diseño de una herramienta que permita a la persona involucrada en la resolución de un problema eléctrico probar componentes que estén en duda como sensores fotoeléctricos, inductivos, de

seguridad, codificadores rotativos y sensores de temperatura. Esta herramienta además permitirá el monitoreo en tiempo real de los componentes, así como la recolección y almacenaje de datos para compararlos o analizarlos ya sea con los datos del fabricante o de sesiones previamente almacenadas. Esta herramienta permite al técnico diagnosticar componentes fallidos rápidamente reduciendo o previniendo paros innecesarios en las líneas de producción.

2. ANTECEDENTES

Rodríguez y Figueredo (2016) en *Selección e implementación de un prototipo de estación meteorológica aplicando IoT y herramientas Google* presentan un proyecto para la implementación de un dispositivo embebido de bajo coste de nombre Spark Core que puede conectarse a internet mediante wifi o un chip de telefonía móvil.

Dentro del prototipo se centraron en recoger datos de temperatura, humedad, índice ultravioleta, brillo solar, entre otros. Estos datos son recolectados y almacenados en Un banco de datos del tipo hoja de cálculo. Se describen uno a uno los sensores utilizados, así como sus características eléctricas y su funcionamiento. También se muestra cómo se realizó la conexión a la base de datos del sistema y su integración en Cloud Particle y Google en algo sencillo como una hoja de cálculo del mismo Google aprovechando su funcionalidad en el manejo de los datos y gráficas.

Se realizaron pruebas y comparación contra sitios oficiales para encontrar discrepancias tanto en las variables analizadas observando una buena fiabilidad de los datos. El dispositivo demostró su utilidad para campesinos y pequeños agricultores que desean saber las condiciones actuales de sus lugares de producción.

Este documento es útil debido a que muestra una opción de integración entre un dispositivo electrónico y una base de datos en la nube en conjunto con el manejo por medio de las herramientas de Google.

Campoli (2016) en *Sistema de monitoreo de la calidad del aire integrado a IoT* para la Universidad de la Defensa Nacional, basado en la necesidad del monitoreo de la calidad de aire en el contexto de las condiciones atmosféricas presentes, diseña y arma un sistema embebido que cuantifica la cantidad de contaminación del aire donde se realice la medición y se recolectan los datos necesarios para su posterior análisis. Además, la información se monta en una página web para que un usuario pueda acceder a la información en tiempo real y observar las condiciones.

Para el diseño se utilizaron diversos componentes como Raspberry Pi, Arduino y variedad de sensores (temperatura, electroquímicos, humedad, polvo, entre otros.). También se utilizan gestores de datos como Elastic, Grafana y Python para el manejo de datos y su posterior análisis.

Entre los resultados obtenidos se resalta el éxito de las pruebas de campo con respecto a la medición de temperatura, polvo y algunos gases. También se resalta como un paso más allá que la información se puede colocar en una red neuronal que pueda predecir sucesos de cambios atmosféricos basados en los datos proporcionados.

Este trabajo muestra que es posible construir un dispositivo similar acoplado a los objetivos de lectura de datos de nuestro trabajo, así como provee ejemplos de manipulación de datos y como se pueden mostrar en una página web.

Quezada (2016) en *Análisis de rendimiento de una línea de producción de bebidas carbonatadas* para la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, analiza por métodos estadísticos la eficiencia de dos líneas de producción similares en una empresa de bebidas carbonatadas para poder

realizar sugerencias de mejora de productividad. Dentro del documento se encuentran estudios de las causas de paros de producción y se consideran sus efectos en el rendimiento. También se incluye el análisis de rendimiento para el cálculo de la productividad de una línea de producción de envases, la capacidad de producción por línea, eficiencia global, entre otros factores; también se incluyen análisis para los paros de producción generales y también específicos para problemas mecánicos y eléctricos.

Entre los resultados obtenidos se observa que el porcentaje de paros no programados es de 86.01 % del total de paros y ese porcentaje el 96.90 % es debido a problemas con la maquinaria, lo cual ha aumentado en un 270.09 % la cantidad de tiempo requerido para llegar a un número determinado de cajas programadas con eficiencias menores al 50 %. Lo cual nos muestra cuán importante es el rendimiento mecánico y eléctrico de un equipo en una línea de producción. Este documento va de la mano con el problema presentado dado que son equipos similares con el mismo tipo de fallas, y se presenta el análisis de rendimiento de la línea, tema que en su momento se toca durante el desarrollo del presente trabajo.

Kiran (2016) en *Total Quality Management* [Gestión de Calidad Total] en el capítulo 8 Cost of Quality Costo de la calidad trata de la definición de los diferentes efectos de una falla en cualquier ámbito, y como afecta al costo.

De las fallas internas los costos que definen se pueden hablar de:

- Desecho, como la pérdida de mano de obra o materiales que no pueden reutilizarse.
- Retrabajo, el costo de corregir los defectos para hacerlos aptos para su uso.

- Reproceso, el costo de reinserción y reelaboración de productos.
- El tiempo de inactividad, como el costo de mantener la producción detenida.
- Perdidas por rendimiento, como malos ajustes que llevan a pérdidas de producto.
- Disposición, que incluyen el tiempo para analizar un producto para determinar si es apto o no después de una falla.

También se enumeran las fallas externas a las que se ven expuestas por Un mal control:

- Quejas y pago de garantías del cliente o consumidor final
- Costos de retiro de mercado que pueden ser grandes operaciones como en el caso del sector automotriz.
- Concesiones como descuentos o promociones.
- Pérdida de ventas como resultado de la mala calidad.

Además, se deben tomar en cuenta el costo de llevar un control:

- Costo de evaluación de fabricación, como diseño, calificación y pruebas de conformidad.
- Costos de evaluación externa y de evaluación de calidad.
- Costos de prevención como planeación, revisiones, calibraciones, entrenamientos, entre otros.

Para nuestro estudio este tema es importante dado que, al analizar las fallas en una línea de producción de alimentos, es consumidor final bebe o come un producto que puede afectar su salud por lo que los controles deben ser muy precisos.

Una línea de producción detenida consume recursos y además es tiempo muerto en el que no se están sacando cajas con producto retrasando los pedidos.

Wojnowski, Majchrzak, Dymerski, Gębicki y Namiesnik (2017) en *Portable electronic nose based on electrochemical sensors for food quality assessment* artículo que explora la mejora en la mejora en las técnicas para el análisis de la calidad de los alimentos producidos en la agricultura, en la cuales se requiere largas horas de trabajo intenso además de consumir mucho tiempo.

Se realiza un prototipo electrónico portable de un dispositivo con una serie de sensores para analizar alimentos como carne de aves de corral y aceite de oliva con una alta eficiencia al encontrar adulteraciones. Se realiza un diseño modular el cual les permite tener flexibilidad en la cantidad de aplicaciones y alimentos que pueden ser analizados. Además, la portabilidad les permite realizar estudios en los diferentes estados del proceso de producción o distribución de los alimentos.

Se utilizaron sensores que detectaron hidrógeno, alcohol, monóxido de carbón, óxido nítrico, ozono, etanol, dióxido de nitrógeno entre muchos otros, dispuestos en 7 diferentes sensores dedicados a buscar componentes específicos.

El procesamiento de los datos se realizó mediante una conversión analógica digital y enviada a una computadora para la cual se diseñó un software

y un control automático de las funciones del dispositivo. Los datos fueron almacenados en archivos csv para su fácil manipulación e integración.

El documento muestra la manipulación e interpretación de los datos con muestras realizadas a carne y aceite extra virgen buscando el tiempo de vida ideal y adulteraciones.

Se concluye que las pruebas fueron exitosas dando resultados en tiempo real y en el futuro se planea su implementación para otros tipos de alimentos adicionales a lo probados.

Este estudio, si bien no es directamente relacionado con el presente documento, si presenta las ventajas de tener un dispositivo portable como herramienta en la cadena de fabricación de alimentos, así da ejemplo de la estructura del proyecto que es similar a la propuesta: adquisición de datos, procesamiento y visualización.

Kumar y Iyer (2019) en *An industrial IoT engineering and manufacturing industries – Benefits and Challenges* [Un IoT industrial en industrias de ingeniería y manufactura – Beneficios y retos], describe como la Industria 4.0 es el área donde un crecimiento de dispositivos digitales en equipos y máquinas es notable. De la mano de esto también se observa el crecimiento de Industrial Internet of Things (IIoT), en donde las empresas han ido tomando parte integrando nuevas tecnologías en los equipos que se han ido diseñando.

Estas nuevas tecnologías han influido positivamente en la manera en que las empresas operan de forma segura y productiva reduciendo costos de operación e incrementando la eficiencia. El documento analiza como IIoT ha

ayudado a crear oportunidades de ventajas competitivas y transformaciones de negocio.

El documento se centra en estudiar los beneficios de IIoT en empresas de manufactura e ingeniería; también en analizar los retos de IIoT, así como identificar las maneras de como pasar los retos de IIoT.

Los beneficios encontrados se pueden describir como manejo remoto digitalmente conectado, auto supervisión, manejo de instalaciones, manejo de inventario en tiempo real, seguridad de operación, control de calidad, reducido tiempo de parada, optimización de la manufactura, análisis de datos, mantenimiento proactivo entre otros.

Entre los retos de la implementación de IIoT se pueden observar problemas de seguridad en términos de seguridad cibernética, integración de los dispositivos sin ninguna pérdida o vulnerabilidad y la conectividad y visibilidad entre los mismos dispositivos. Estos problemas se han ido solventando, descentralizando actividades, mejorando la infraestructura de red, designado computadoras de borde lo que ayuda a descargar la red, y diseñar las redes en forma de clústeres para garantizar la comunicación y el almacenaje de datos.

Este documento muestra la importancia de IIoT en la industria y como muchas empresas se han ido beneficiando del uso de estas nuevas tecnologías, la presente investigación llega a tocar el tema al diseñar un dispositivo que eventualmente se conecta a la internet para almacenaje de datos por lo que múltiples dispositivos pueden ir alimentando la base de datos para su posterior análisis.

Ramos (2019) en *Optimización del análisis de fallas de tarjetas electrónicas con Seis Sigma* del Instituto Tecnológico de Aguascalientes se presenta la utilización de la metodología Six Sigma para el análisis de fallas electrónicas para el área de telecomunicaciones.

El estudio arroja, con base en un análisis microscópico realizado por el fabricante de las tarjetas dañadas, que la falla principal es causada por ledes con un 15.24 % y que tardan en diagnosticar en promedio 30 días, el cliente al conocer sus estadísticas ha establecido el objetivo de 15 días para diagnosticar y reparar una falla y a través de la mejora de la calidad de componentes reducir la tasa de fallo principal a un 0.5 %.

Con base en Six Sigma se implementa la metodología DMAIC, que consiste en 4 pasos: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, con lo cual se mejoran los procesos de pruebas en las fases de fabricación de los componentes. Se analizaron fases de aplicación de soldadura, montaje de componentes, inspecciones, prueba de funcionamiento, ensamble mecánico, pruebas eléctricas y el empaque.

Durante las primeras fases se encontraron defectos hasta en un 37.14 % de las unidades analizadas que de no ser por las pruebas llegarían hasta los clientes. La mayoría de las fallas se observaron en los indicadores Led que no encendían o iluminaban intermitentemente, se crean procedimientos para el montaje para minimizar los problemas. Con estos procedimientos se reduce a 24.76 % la tasa de elementos rechazados por fallas, sin embargo, las fallas por Leds defectuosos se redujeron a 0.3 % y debido a esto mismo la cantidad de días necesarios para diagnosticar se redujo a 15.3 días. Todo lo anterior demuestra que una correcta recolección de datos puede reducir el tiempo para diagnosticar y encontrar problemas comunes.

Tempo Automation (s.f.) en *The 8 most common electronic component failures and how to avoid them las 8 fallas de componentes electrónicos más comunes y como evitarlas*, publicación de la empresa del mismo nombre que se dedica a fabricar placas de circuitos electrónicos aceleradas por software, su experiencia con fallas de componentes electrónicos que han adquirido. El objeto del artículo es señalar la importancia de la calidad de los componentes utilizados y las fallas más comunes que se pueden presentar durante la vida útil de la placa.

Los ocho fallos más comunes se resumen en:

- Dispositivos desprotegidos de contaminación
- Componentes sensibles a la humedad que pueden dañarse por humedad o condensación.
- Componentes sensibles a temperatura en ambiente extremos.
- Vulnerabilidad a cambios de alimentación donde los componentes más afectados son los que trabajan a alto voltaje en aplicaciones industriales.
- Componentes vulnerables a la radiación en especial la electromagnética.
- Vulnerabilidad a tensiones mecánicas también en ambientes extremos.
- Final de vida útil.
- Componentes falsificados con baja calidad de manufactura.

También se realizan recomendaciones para minimizar los fallos como la utilización de recubrimientos, métodos de protección de humedad, mejorar las condiciones de almacenaje, utilizar disipación térmica, protecciones eléctricas entre otros. Esto se toma en cuenta ya que muchos componentes utilizados en los equipos a estudiar están en condiciones adversas.

Zheng, Paiva y Gurciullo (2020) en *Advancing from predictive maintenance to intelligent maintenance with AI an IIoT Avanzando desde el Mantenimiento Predictivo al Mantenimiento Inteligente con IA e IIoT* explora como la inteligencia artificial avanza y como grandes cantidades de datos leíbles se están generando por medio de proyectos de IIoT.

Se explora la historia del mantenimiento comenzando por el mantenimiento reactivo, donde básicamente es reparar daños en los equipos. Luego, después de la segunda guerra mundial se generaron nuevas estrategias de mantenimiento de las cuales se valoró el beneficio de minimizar costos al momento de realizar mantenimiento preventivo antes de tener paros inesperados durante la producción.

Luego en los años 80's se generaron nuevas ideas dando lugar al mantenimiento predictivo que ha ido tomando fuerza durante estos años y de lo que han ido saliendo distintos métodos enfocados en diversos aspectos del mantenimiento.

Con la llegada de la industria 4.0 se ha revolucionado la manera en que se realiza el mantenimiento, enfocándose en cómo se implementa la inteligencia artificial, en cómo se recolecta datos de fuentes remotas, como recolectar los datos sin saturar la red entera o el almacenaje de datos. Además de cómo integrar los modelos actualizados sin causar interrupciones de producción y como

permitir una mejor toma de decisiones en el campo sin acceder a una computadora.

El aprendizaje de la inteligencia artificial también es importante debido a que se debe tomar en cuenta si se realizará por medio de un aprendizaje supervisado o sin supervisar y que análisis probabilístico se realizará. El uso de sensores inteligentes que puedan mostrar datos en tiempo real a través de la red.

En análisis de los datos es fundamental para el proceso ya que se debe cumplir como las 3 V's (volumen, velocidad y variedad), lo que hace necesario el uso de una plataforma que pueda manejar esos datos entre las que se encuentran opciones como Microsoft Azure, Amazon Web Services, Google Cloud Platform por mencionar algunos.

También se recalca que es necesario una continua integración y un desarrollo constante para mantener los modelos actualizados.

Esto es relevante ya que se menciona la importancia de nuevos desarrollos actualizados y orientados hacia la tendencia actual en la industria.

Trout (s.f.) en *MTTR Explained* para la revista *Reliable Plant* describe que es MTTR y cómo es utilizado en la industria, así como sus comparaciones con otros términos de medición que van de la mano para entender el comportamiento del rendimiento en la industria.

MTTR proviene de *mean time to repair*, que se traduce como el promedio de tiempo para reparar. Ésta es una métrica utilizada en departamentos de mantenimiento para medir el promedio de tiempo necesario para determinar la causa de una falla, reparar y regresar a producción. Esto incluye notificar a los

técnicos de mantenimiento, diagnosticar la falla, arreglar el equipo, armar y validar el equipo, probar y regresar a producción. Esta métrica es pensada en fallos de paros no programados y no se utiliza para paros programados como mantenimientos preventivos. Dicho lo anterior, nos muestra que tan efectivo y eficiente es el equipo encargado de mantenimiento así si las prácticas de mantenimiento preventivo son suficientes. MTTR es una métrica fácil de calcular y se basa únicamente en el tiempo total en que el equipo ha estado detenido por un fallo y el número de reparaciones realizadas.

También se compara con MTBF, que es “Mean time between failure” que describe el promedio de tiempo entre cada falla, entre ambas métricas se puede extraer información de disponibilidad de equipos y eficiencias reales. Para reducir el valor de MTTR es importante reconocer que los siguientes aspectos deben ser mejorados:

- Identificación, que es el tiempo entre que la falla ocurre y el técnico nota el problema.
- Conocimiento, el tiempo después de que la falla ha sido identificada y comienza la reparación.
- Reparación, el tiempo que toma resolver el problema, ya sea ajustando, cambiando piezas, entre otros.
- Verificación, el tiempo que toma validar el funcionamiento del equipo.

Este tipo de información es muy útil ya que estos parámetros son utilizados por los equipos de envasado de alimentos con base a los registros de producción dando información puntual ya sea por día, producto o algún otro parámetro.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La maquinaria de envasado de alimentos de una línea de producción contiene muchas piezas eléctricas de diferentes fabricantes como sensores de seguridad de puertas, fotoceldas, sensores de temperatura, codificadores incrementales entre muchos otros. Una falla de estos componentes aún en la máquina más sencilla detiene completamente la producción y compromete el volumen requerido de envases que se han planificado previamente.

Para una línea de producción de alta velocidad de ejemplo instalada en Guatemala, cada hora que está detenida deja de producir 24,000 envases traducidos en cientos de cajas de producto, además está el costo de las horas de los operadores de maquinaria, gestores de calidad, entarimadores, consumo eléctrico, de aire, agua, vapor, químicos, entre muchos otros que se siguen sumando mientras la línea de producción está pausada.

3.2. Descripción del problema

La precisión y rapidez en el diagnóstico es el punto crítico, ya que un problema puede ser resuelto cambiando una pieza o puede ser muy complejo como ruido eléctrico, sobre temperatura, entre otros. Cambiar piezas puede ser sencillo, pero en momentos de presión se pueden solicitar piezas a bodega como controladores, servomotores, convertidores de frecuencia, sensores, entre otros., cargándoselas al presupuesto de mantenimiento, para probar si esas piezas son las causantes del problema. Estas piezas pueden tener poco valor o ascender a

varios miles de dólares afectando al presupuesto asignado al departamento de mantenimiento en dado caso la pieza no fuera la que cause el problema.

También se debe tomar en cuenta el tiempo en que uno o más técnicos se involucran en la resolución del problema ya que pueden retrasar otras actividades previamente programadas como mantenimientos preventivos, entrenamientos, entre otros. El nivel de experiencia del técnico involucrado influye de gran manera en la forma de resolver un problema, así como las herramientas que tenga disponibles. En dado caso el problema sea complicado se puede caer en la necesidad de llamar a personal externo con más experiencia del fabricante de los equipos, lo que puede incrementar rápidamente el costo de un problema.

Sumando todo lo anterior, cada minuto de producción detenida por causa de un problema puede afectar seriamente al costo por envase producido y este debe ser reducido al mínimo posible utilizando la experiencia del personal o herramientas que faciliten un diagnóstico inclusive preventivamente al poder consultar un histórico de comportamiento de un determinado componente como un sensor o un codificador.

3.3. Formulación del problema

El fallo provocado por un componente defectuoso causa retrasos y costos que con las herramientas adecuadas puede ser reducido o incluso prevenido.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo se puede monitorear y probar de forma certera y rápida sensores fotoeléctricos, de temperatura, seguridad y rotación para analizar su comportamiento con relación a los datos recolectados?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cómo se puede identificar un fallo en un sensor de seguridad dinámica incluso mientras está conectado y operando?
- ¿Cómo se puede detectar un fallo en un sensor fotoeléctrico o inductivo de manera precisa basado en los datos recibidos?
- ¿Cómo se puede diagnosticar un fallo de un codificador rotativo incremental para determinar internos?
- ¿Cómo se puede determinar si una resistencia dependiente de temperatura trabaja como el fabricante lo indica en su gráfica de funcionamiento?
- ¿Cómo se puede recolectar todos los datos de los sensores mencionados para su almacenamiento y posterior análisis?
- ¿Realizar los diagnósticos con rapidez realmente ayuda a reducir el tiempo para resolver una falla?

3.4. Delimitación del problema

El diseño es realizado para sensores comunes en una línea de producción de envases de cartón, todas las máquinas incluyen sensores de seguridad de señal dinámica, sensores ópticos y en menor medida codificadores y resistencias dependientes de temperaturas.

La mayoría de los componentes son de fácil acceso, por lo que es sencillo conectar y probar los componentes. Componentes que están en una ubicación crítica como una cámara de envasado aséptico son el principal objetivo del prototipo ya que una falla en estas áreas provoca tiempos extendidos de paros de producción.

Ya que los componentes se rigen por un estándar eléctrico en conectores, voltajes de operación, corriente, entre otros, el diseño puede ser usado para probar componentes de otros tipos de máquinas cuando es necesario.

Otra limitante es la comunicación que se pueda lograr, ya que muchas plantas tienen poca o nula señal de red telefónica para comunicarse por medio de un chip telefónico, por lo que es necesario buscar opciones en la red de las fábricas o ver la posibilidad de tener un servidor local.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente documento sigue la línea de análisis de datos, ya que se presenta el diseño de un dispositivo que recolecta datos y que los envía a un servidor donde se puede almacenar, analizar y observar.

Aporta el diseño de un dispositivo que permita a los técnicos involucrados en resolver un problema eléctrico relacionado a los componentes seleccionados (sensores fotoeléctricos o inductivos, sensores de seguridad, resistencias dependientes de temperatura y codificadores rotativos incrementales) tener una herramienta que les ayude a identificar un componente o cable defectuoso, así como monitorear el funcionamiento bajo las diferentes condiciones a las que se enfrentan los equipos contantemente como temperaturas, esfuerzos mecánicos, humedad, entre otros.

De esta investigación se obtendrá el diseño electrónico de la herramienta, su interacción esperada con los componentes, así como la presentación de los datos recolectados y su interpretación con base en lo que el fabricante indica como funcionamiento o respuesta normal.

La herramienta beneficia a los clientes usuarios de los equipos que utilizan los componentes objetivos al tener una ayuda que les permita identificar rápidamente un componente defectuoso o monitorear un componente que esté en duda y que tenga fallos esporádicos. Esto reduciría el tiempo medio para Reestablecer una Falla (MTBF, por sus siglas en inglés), que es un indicador en la medición de eficiencias de los equipos y que es registrado por los sistemas de recolección de datos propios del fabricante.

Muchos clientes tienen técnicos que se han ido formando con los equipos con las fallas que se han presentado, pero no han tenido un entrenamiento formal o tienen un sólido fundamento técnico, este tipo de herramientas les ayudarían a comprender el funcionamiento de un componente y a identificar fielmente la causa de un problema o las condiciones para que un componente falle aportando a su propio conocimiento y experiencia.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un dispositivo de monitoreo y prueba de sensores industriales, fotoeléctricos, de temperatura, seguridad y rotación para el análisis de su comportamiento en relación con los datos recolectados.

5.2. Específicos

- Identificar fallos en sensores de seguridad que utilizan señal dinámica mientras operan o fuera del equipo.
- Detectar un fallo en un sensor fotoeléctrico o inductivo observando los datos recibidos.
- Diagnosticar un fallo en un codificador incremental rotativo durante su operación normal y durante pruebas.
- Monitorear el valor de resistencia de un sensor de temperatura durante su operación normal en los ambientes en los que son colocados y su comparación contra el estándar del fabricante.
- Recolectar los datos de todos los componentes anteriores para tomar decisiones en base al análisis realizado.

- Calcular el ahorro de tiempo al usar la herramienta al determinar un problema de manera precisa o preventiva.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

El diagnóstico rápido de una falla permite mantener un bajo indicador del tiempo medio para restablecer una falla. En una línea de producción estos indicadores son observados para determinar la confiabilidad con la que se cuenta para cumplir un plan de producción.

Una falla en un componente eléctrico además puede presentarse en cualquier momento independientemente del tiempo de uso del componente. Algunas fallas además pueden presentarse bajo determinadas condiciones como temperatura, nivel de humedad, después de una acción específica, entre otros.

Tener la capacidad de detectar un fallo de manera correctiva o inclusive preventivamente, es un gran aporte al Departamento de Mantenimiento que puede programar un cambio o reparación cuando la máquina esté disponible.

Este propone el diseño de una herramienta que permita reducir el tiempo para identificar un componente dañado en maquinaria industrial de los siguientes tipos:

- Sensores fotoeléctricos e inductivos
- Sensores del tipo resistencia dependiente de temperatura y termocuplas.
- Sensores de seguridad de señal dinámica
- Codificadores incrementales rotativos

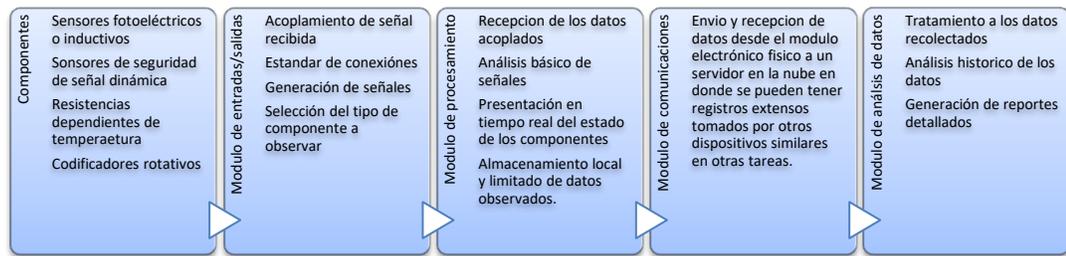
Estos componentes son ampliamente utilizados en líneas de producción de alimentos para detectar paso de objetos, condiciones como acumulación, movimiento, estado de puertas, temperaturas de aplicadores de adhesivo, entre otros. Un fallo de estos componentes, así como de sus cableados puede llevar a tener tiempos de paro muy altos en una línea de producción que aumenta el costo de envasar un producto por material dañado, suministros consumidos, piezas erróneamente cambiadas, entre otros.

El dispositivo se compone a grandes rasgos de:

- Un módulo de entradas y salidas donde se conectan los distintos sensores propuestos para estudio, se acopla la señal proveniente de ellos para su uso con un microcontrolador. Se conectan sensores auxiliares de temperatura que enviarán datos al microcontrolador de la temperatura exterior en tiempo real del dispositivo en medición. También las salidas de las señales generadas por el microcontrolador acopladas a las características que necesitan los distintos componentes como señales dinámicas y potencia.
- El módulo de procesamiento de señales donde se reciben las señales acopladas se procesa y almacenan en una memoria no volátil como respaldo y que dependiendo de los datos almacenados se pueden mostrar el estado actual del componente en una pantalla de led para su interpretación en sitio.
- Un módulo de comunicaciones en donde el módulo de procesamiento pueda enviar los datos almacenados a un servidor para el almacenamiento de datos en mayor escala.

- Módulo de análisis de datos donde se puedan realizar tratamientos de los datos históricos y obtener resultados más detallados.

Figura 1. **Composición del dispositivo**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Fundamentos de las señales eléctricas

Una señal eléctrica se puede definir como una representación de una variable física, que viaja a través de un medio y que se manifiesta como un flujo de electrones (corriente) o una diferencia de potencial eléctrico (voltaje) (Brown, 1978). Por su representación se pueden definir dos tipos de señales eléctricas principales:

7.2. Señal analógica

Una señal eléctrica análoga es una señal que varía continuamente a lo largo del tiempo representando el cambio de una variable física proveniente de un transductor como un micrófono, de ahí el nombre, ya que es una representación análoga de su correspondiente física y que puede tomar infinitos valores.

7.2.1. Señal digital

Una señal digital es un valor que puede provenir de un fenómeno físico (ejemplo: temperatura) que ha sido codificado dentro de una serie de posibles valores de un determinado rango establecido. Esto posibilita mantener un limitado número de valores que hace práctico interpretar el fenómeno capturado.

7.2.2. Tratamiento de señales analógicas y digitales

En el mundo la cantidad de valores de un fenómeno observado en la naturaleza es infinito, es analógico, y eso hace necesario poder no solo obtener de manera correcta una señal sino traducirla a algo útil a nuestras necesidades.

7.2.2.1. Conversión analógica digital

La interpretación de un componente que comprende ceros y unos o señales digitales hace necesario codificar las señales capturadas. Por ejemplo, para lograr que un microcontrolador logre interactuar con señales analógicas es necesario procesar la señal entrante de manera que su valor se convierta en una señal comprensible para el microcontrolador, un valor finito y adecuado para sus límites en cuanto a entrada.

La conversión analógico-digital es llevado por un componente diseñado para tal función y puede ser un componente electrónico individual o estar integrado a un microcontrolador, lo que puede hacer que se prefiera uno u otro dependiendo de sus características o de los requerimientos para su utilización. Un convertidor analógico digital realiza varios pasos definidos como:

7.2.2.2. Muestreo

En este paso, el convertidor mide periódicamente la amplitud de la señal a convertir. Para saber el intervalo máximo de tiempo entre muestras necesario para poder obtener una señal correcta nos avocamos al teorema de Nyquist o de muestreo.

Este teorema nos indica que, para obtener una señal muestreada $x_s(t)$ proveniente de una señal continua $x(t)$, es necesario multiplicar la señal de entrada con un tren de impulsos $u(t)$:

$$x_s(t) = u(t)x(t)$$

Donde el tren de impulsos $u(t)$ desde el punto de vista de la frecuencia, $v(w)$, se puede definir como la sumatoria infinita de impulsos δ :

$$v(w) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} v_n \delta(w - 2\pi n f_s)$$

Donde v_n es una constante que depende del tren de pulsos y f_s es la frecuencia de muestreo. Aplicando el teorema de convolución y sustituyendo los valores para pasar de un $x_s(w)$ a un $X_s(w)$ la ecuación se convierte en:

$$X_s(w) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} v_n x(w - 2\pi n f_s)$$

Tomando en cuenta que posteriormente tendremos que reconstruir la señal de manera fidedigna, necesitamos aplicar un filtrado a la señal que no permita que los armónicos de la señal se introduzcan. Para que dicho filtro sea efectivo, todas las frecuencias mayores a $f_s - W$ deben ser atenuadas, donde W es el ancho de banda de la señal a muestrear. Por tanto:

$$f_s - W \geq W$$

$$f_s \geq 2W$$

Lo anterior nos indica, que la frecuencia con la que debemos muestrear la señal de entrada debe ser al menos dos veces el ancho de banda de esta, a esto se le conoce como la frecuencia de Nyquist o de muestreo.

Para el caso de señales analógicas no periódicas, este valor va a depender de la necesidad de precisión de la toma de muestra, sin embargo, este debe poder representar cualquier cambio en los valores de la señal de entrada.

7.2.2.3. Cuantificación

El valor analógico es medido dentro de una escala preestablecida, dependiendo del valor alcanzado se le asigna una posición dentro de una escala preestablecida por medio de una aproximación a un valor discreto.

7.2.2.4. Codificación

Una vez la señal ha sido muestreada y cuantificada es necesario asignarle un valor que podamos interpretar y usar con otros componentes electrónicos, siendo esta ya una señal digital. En la mayoría de los casos se le asigna un valor binario a la señal cuantificada, sin embargo, este depende de la aplicación.

7.2.2.5. Características

De acuerdo con lo anterior a los convertidores analógicos digitales los podemos caracterizar por lo siguiente:

- Número de canales

Es el número de vías de entrada que posee el convertidor, en el caso de un convertidor individual o un microcontrolador de gama alta puede tener más de 10 canales, lo que no indica que tenga igual número de convertidores, sino que tiene muchas entradas diferentes y aisladas pero que llegan a un mismo convertidor o convertidores en caso tenga más de uno. Esto implica que, de tener entradas compartidas, no se pueden llevar a cabo las conversiones en paralelo sino solo una a la vez por convertidor, turnándose la conversión de determinado canal.

- Tipo de señal y rango de entrada

Una señal de entrada siendo de voltaje o de corriente, el convertidor lo adecua al tipo de entrada necesaria para realizar la conversión de manera precisa. El rango de valores es la capacidad que las entradas analógicas pueden soportar sin dañarse, si en su momento se necesitara convertir señales que están fuera del rango estipulado se deberán adecuar las señales por medio de circuitería externa.

- Tensión de referencia

La conversión analógica digital necesita una referencia para que sirva como punto de comparación al momento de realizar el proceso. Es decir que este valor va a representar máximo y mínimo de valores analógicos aceptados por el conversor dentro de los límites propios del componente.

- Resolución

Es el número de bits de la palabra convertida que se obtiene del conversor, valores comunes de un conversor son ocho y doce bits, los cuales permiten valores de cero a doscientos cincuenta y cinco y cero a cuatro mil noventa y seis en codificación binaria respectivamente. Sin embargo, es posible encontrar convertidores de hasta 20 bits. Cabe resaltar que entre más bits utilizados se obtiene una precisión mucho mayor, pero a su vez son más susceptibles a variaciones por ruido en la entrada, así como es necesario más tiempo para realizar el muestreo lo que hace más lenta la conversión y limita la frecuencia máxima permitida sin pérdidas.

- Codificación de salida

Los valores que se obtienen de un conversor analógico digital pueden codificados de distinta manera según las necesidades de diseño e interpretación. Podemos utilizar codificación con el sistema binario, octal, hexadecimal, entre otras.

- Tiempo de conversión

Es el tiempo en la que se obtiene una lectura digital desde el momento en que se inicia la conversión, normalmente es medida en milisegundos, aunque hay dispositivos que pueden realizar la conversión en nanosegundos. A menor tiempo de conversión es mayor la frecuencia posible de muestreo que se puede alcanzar, lo que es limitado por la resolución deseada como se describe con antelación.

- Niveles de tensión de salida

Los niveles de tensión de salida son los valores que pueden tomar los ceros y unos; para la tecnología Transistor-Transistor Logic (TTL) son cero y cinco voltios respectivamente, mientras que para la tecnología Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) son cero y doce voltios.

- Existencia de *latches*

Los *latches* a la salida son importantes si es necesario mantener el valor obtenido de la conversión en la salida hasta que se termine la siguiente conversión, lo que facilita la adquisición de datos para su posterior manipulación.

7.3. Sensores usados en la industria

Adquirir datos como retroalimentación de una acción realizada es una parte fundamental en cualquier proceso automatizado ya que nos permite ver si variables como temperatura, flujo, presión, corriente, entre otros, están bajo control y poder tomar decisiones en base a dichos parámetros

7.3.1. Sensores de puertas con señal dinámica

La integridad de las personas y de las propias máquinas es parte fundamental de los procesos de manufactura en cualquier industria. Usar calor, electricidad, movimiento, entre otros, conlleva un riesgo para la persona que trabaja en el equipo; controlar dichos riesgos es complejo y vuelve necesario utilizar elementos que garanticen que una máquina puede detenerse rápidamente o evitar que tenga movimiento hasta que las condiciones sean seguras.

La seguridad para una máquina puede establecerse por medio de muchos dispositivos diferentes como sensores lumínicos, ultrasónicos, seguros mecánicos o sensores inalámbricos, su función es detener la máquina al momento de abrir una puerta, presionar un botón o detectar una condición anómala. Con esto se previene una operación incorrecta de los equipos que pueda poner en riesgo la integridad del operador o de la misma máquina.

Para este tipo de dispositivos existen muchos fabricantes de componentes que ofrecen una variedad de dispositivos. En el caso de ABB, un fabricante de dispositivos industriales electrónicos ofrece un conjunto de sensores denominados Edén, el cual consta de dos dispositivos, Adam y Eva (ABB, 2021). Adam es el dispositivo conectado al circuito eléctrico y es montado en una posición fija, éste detecta la presencia de Eva, el dispositivo montado en una puerta, que detecta cuando ésta se encuentra en una posición segura dentro de un rango de tolerancia dado por el alcance de la señal entre ambos sin tener un contacto mecánico.

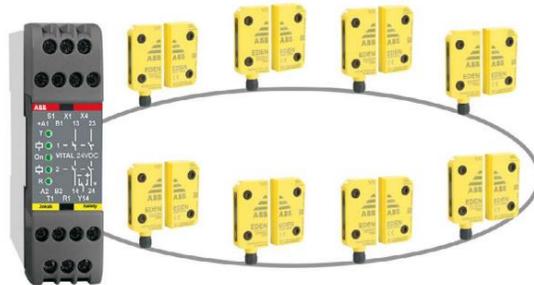
Figura 2. **Dispositivo Eden**



Fuente: ABB. (2021). *Eden DYN Manual del producto*. Consultado el 1 de octubre de 2021.
Recuperado de [https://library.e.abb.com/public/078e05122e6c45af848d75d18f4d1616/Eden_DYN_Manual_\(ES\)_RevD_2TLC172271M0701.pdf](https://library.e.abb.com/public/078e05122e6c45af848d75d18f4d1616/Eden_DYN_Manual_(ES)_RevD_2TLC172271M0701.pdf)

Este juego de dispositivos es usualmente conectado en serie con otros similares para crear una red de sensores que se interrumpe cuando son separados. Esta red es conectada a su vez a un controlador lógico programable (PLC) de seguridad que ABB denomina Vital o Pluto dependiendo del nivel de complejidad, el cual contiene un programa que va a interpretar las señales recibidas en base al tren de pulsos enviados.

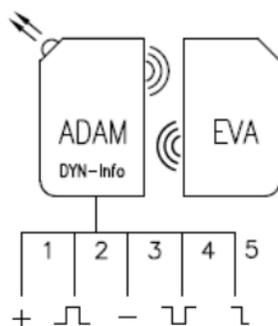
Figura 3. **Anillo de seguridad**



Fuente: ABB (2021). *Eden_2TLC010011L0201*. Consultado el 1 de octubre de 2021.
Recuperado de <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC010011L0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Este controlador está también conectado al controlador lógico programable (PLC) de la máquina el cual recibe en tiempo real el estatus del controlador de seguridad para mostrar una condición segura o una alarma en la pantalla y registrar el evento. Este PLC de seguridad manda una señal modulada en ancho de pulso (PWM) del 25 % a 200 ciclos por segundo dentro de un voltaje de 0 a 24 V dependiendo si está separado o cerrado. Este tipo de señal nos permite reconocer cuando uno de los dispositivos se encuentra en corto circuito o abierto completamente y hace que no sea fácil eliminar el dispositivo de manera eléctrica.

Figura 4. **Conexiones eléctricas**



Fuente: ABB (2021). *Eden DYN Manual del producto*. Consultado el 1 de octubre de 2021.

Recuperado de [https://library.e.abb.com/public/078e05122e6c45af848d75d18f4d1616/](https://library.e.abb.com/public/078e05122e6c45af848d75d18f4d1616/Eden_DYN_Manual_(ES)_RevD_2TLC172271M0701.pdf)

[Eden_DYN_Manual_\(ES\)_RevD_2TLC172271M0701.pdf](https://library.e.abb.com/public/078e05122e6c45af848d75d18f4d1616/Eden_DYN_Manual_(ES)_RevD_2TLC172271M0701.pdf)

Algunas de las características de este dispositivo son:

Tabla I. **Características eléctricas de Eden**

Modelo	ABB Eden: Adam y Eva
Rango de detección	0 a 15 milímetros
Tipo de conexión	M12 con 5 pines
Alimentación	24 VCD
Consumo	55 mA máximo

Fuente: elaboración propia.

Cada dispositivo Eden en un circuito invierte la señal cuando están juntos ambos componentes, y deja de invertirla al momento de separarlos, con lo que cambia la señal recibida en el PLC, siendo dinámica en todo momento. Si en algún momento se deja de recibir la señal dinámica se interpreta como un dispositivo desconectado o un circuito abierto.

7.3.2. Sensores fotoeléctricos

La mayoría de los equipos industriales utiliza sensores fotoeléctricos para detectar el paso de algún objeto con fines de conteo, detectar obstrucciones, una posición, una fila de objetos, entre otros. Existen muchas configuraciones de sensores, aunque su principio es el mismo: detectar un cambio en un haz de luz ya sea proveniente de un emisor, por reflexión sobre un objeto o un espejo y a partir de esto accionar un interruptor interno para indicar una señal positiva o negativa según sea nuestras necesidades.

Existen en el mercado muchos fabricantes como Sick, Leviton, Omron, entre otros., que ofrecen muchas variedades dependiendo de la aplicación necesaria como un rango lumínico determinado, voltaje de trabajo específico, protección contra agentes externos, entre otros. Dado lo anterior, en este caso se utilizará para pruebas un interruptor fotoeléctrico Omron E3Z-R66 (Omron, 2021), el cual es de uso común debido a su versatilidad en configuración, resistencia a ambientes hostiles, alcance, entre otras características.

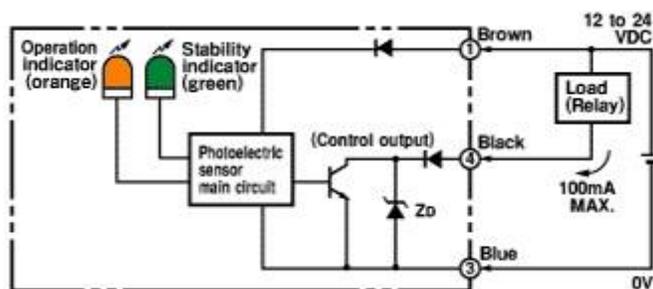
Figura 5. Sensores fotoeléctricos



Fuente: Omron. (2019). *E3Z Datasheet*. Consultado el 2 de octubre de 2021. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v16/e701_e3z_datasheet_en.pdf.

Este interruptor fotoeléctrico contiene el emisor y el receptor en el mismo encapsulado simplificando su uso al ser el mismo componente quien emite el haz de luz y por reflexión detecte el paso de un objeto. A continuación, el diagrama interno del sensor y algunas de sus características más importantes:

Figura 6. **Diagrama interno**



Fuente: Omron (2019). *E3Z Datasheet*. Consultado el 2 de octubre de 2021. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v16/e701_e3z_datasheet_en.pdf.

Tabla II. **Características eléctricas del sensor fotoeléctrico Omron**

Modelo	Omron E3Z-R66
Ajustes posibles	Tipo de salida, sensibilidad
Ángulo	2 a 10°
Fuente de luz	Rojo a 660 nm
Rango de alimentación	12 a 24 V
Consumo de corriente	30 mA máximo
Tiempo de respuesta	1 ms máximo
Conexión	M8 de 4 pines

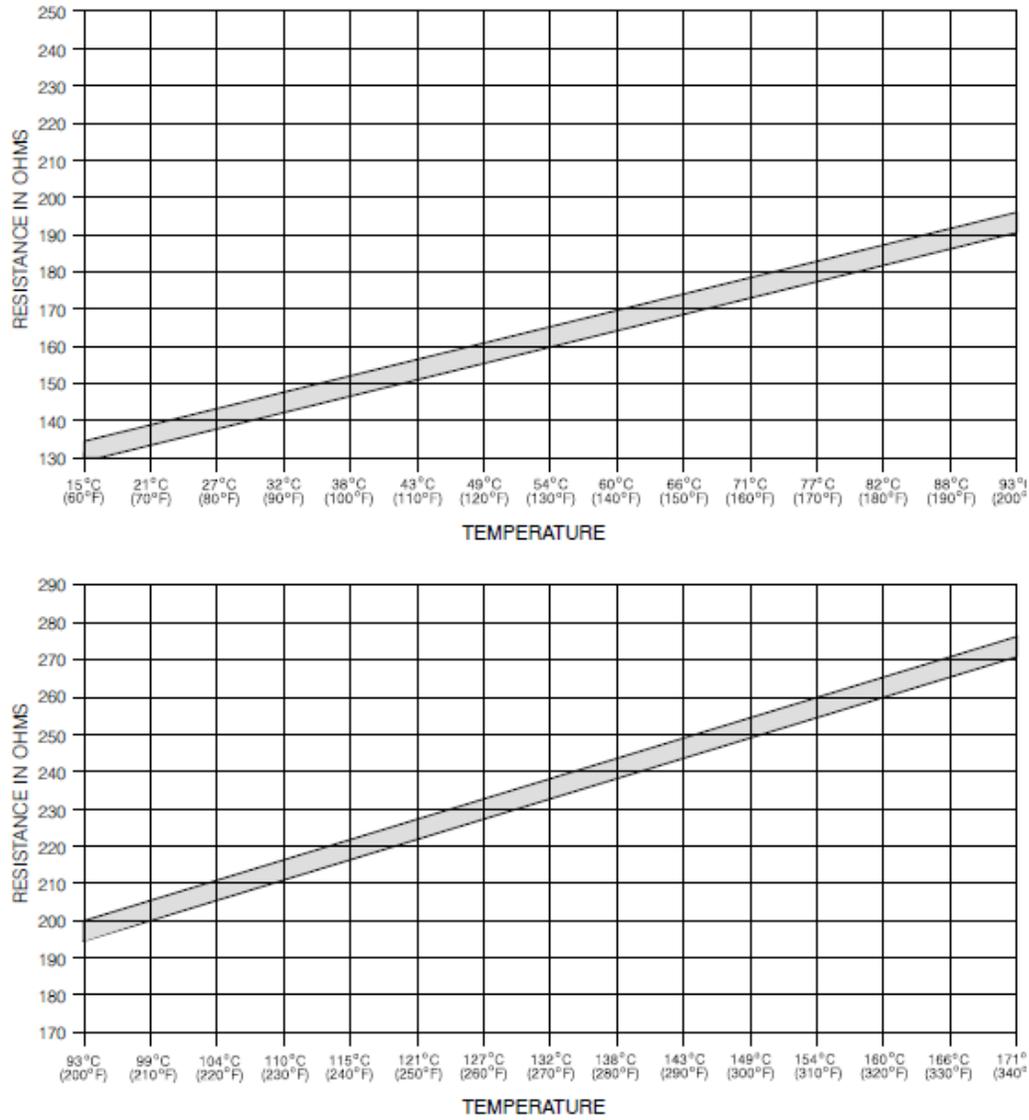
Fuente: Omron (2019). *E3Z Datasheet*. Consultado el 2 de octubre de 2021. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v16/e701_e3z_datasheet_en.pdf.

7.3.3. Sensores de temperatura resistivos

Recibir retroalimentación de la temperatura de un equipo, componentes específicos como tanques de derretimiento, mangueras con temperatura controlada, pistolas de adhesivo, elementos de calefacción, entre otros, es vital para un control correcto del proceso realizado. Existen en el mercado muchos tipos de sensores para dicho fin; uno de los más comunes por su versatilidad es el sensor resistivo, el cual cambia su valor en resistencia en función de la temperatura a la cual está sometido (National Instruments, 2021).

Para el caso concreto de la aplicación objetivo se utiliza una resistencia del fabricante Nordson, el cual se encuentra en varios de sus componentes como tanques, mangueras y pistolas donde se derrite adhesivo a una temperatura controlada para garantizar una correcta aplicación, además tiene una tendencia lineal de cambio de valor con respecto a la temperatura lo que facilita su interpretación.

Figura 7. Gráfica de relación temperatura-resistencia



Fuente: Nordson (2014). *ProBlue Adhesive Melters Models P4, P7 and P10: Customer Product Manual*. Consultado el 2 de octubre de 2021. Recuperado de manual digital proveniente de equipo físico.

7.3.4. Codificadores rotativos de posición

En muchas secciones de máquinas industriales existen componentes de los cuales es necesario saber su posición relativa, posición absoluta, velocidad angular, entre otros. Ejemplos sencillos son transportadores de producto, rodillos, fajas, frenos, entre otros.

Entre los dispositivos usados para dicho fin se encuentran los codificadores rotativos o incrementales. Este dispositivo está compuesto de un disco con secciones transparentes y opacas que interrumpen haces de luz que una serie de fotodiodos convierten en señales eléctricas las cuales son interpretadas por un controlador o variador y que identifican la posición angular del eje de entrada.

Existen muchos fabricantes de estos componentes, sin embargo, fabricantes importantes por su participación en el mercado podemos mencionar a Allen Bradley, Honeywell, Omron, Parallax, Sick, entre otros.

Ya que la mayoría de las componentes responden a similares configuraciones de pines para su implementación y su presencia como marca en las máquinas de procesamiento de alimentos se tomará para pruebas un encoder rotativo Sick DFS60E-S4EA01000 el cual cuenta con las siguientes características:

Tabla III. **Características eléctricas del codificador Sick**

Pulsos por revolución	1000
Límite de error	$\pm 0.3^\circ$
Interface de comunicación	Incremental
Numero de canales de señal	6 canales
Tipo de conexión	M23, 12 pines, radial
Corriente de operación	40 mA
Voltaje de suministro	10 – 32 Voltios
Frecuencia de salida	≤ 300 kilo hertz

Fuente: Sick. (2021). *DFS60 DFS60E-S4EA01000, Product data sheet*. Consultado el 2 de octubre de 2021. Recuperado de https://www.sick.com/media/pdf/8/58/858/dataSheet_DFS60E-S4EA01000_1037168_en.pdf.

Figura 8. **Codificador rotativo Sick**



Fuente: Sick. (2021). *DFS60 DFS60E-S4EA01000, Product data sheet*. Consultado el 2 de octubre de 2021. Recuperado de https://www.sick.com/media/pdf/8/58/858/dataSheet_DFS60E-S4EA01000_1037168_en.pdf.

7.4. Fundamentos electrónicos para el diseño del prototipo

Comprender los diferentes componentes con los que dispone en la actualidad para realizar tareas específicas facilita escoger los apropiados tanto en fiabilidad, diseño, costo, entre otros.

7.4.1. El microcontrolador

Poder recolectar, traducir y procesar datos es vital para optimizar procesos y generar nueva información que sustente una decisión, para ello son necesarios componentes optimizados para estas tareas como un microcontrolador.

7.4.1.1. Fundamentos

La manera en la que avanza la tecnología en la fabricación de circuitos integrados ha permitido que el campo de los microcontroladores se desarrolle de manera rápida. Dicho avance permite la encapsulación de miles a millones de componentes como transistores, diodos, resistencias, entre otros., en un área muy pequeña, que en su momento fue lo que posibilitó la creación del microprocesador. Pero el mismo avance permitió, con el pasar del tiempo, añadirles a los microprocesadores periféricos que le facilitaran la interacción con otros dispositivos, lo que al final terminaría por denominarse microcontrolador.

Un microcontrolador se convierte, pues, en un circuito integrado con algunas cualidades propias de una computadora como espacio de almacenamiento, memoria, unidad central de procesamiento (CPU, por sus siglas en inglés), módulos de comunicación, entre otros (Verle, s.f.). Pero sin incluir en el mismo encapsulado un módulo de comunicación con humanos como los teclados, mouse, o monitores. En un principio los microcontroladores fueron diseñados más para circuitos de control y automatización que para la interacción con personas, cuestión que se ha ido superando con el paso del tiempo. Un microcontrolador no es igual a un microprocesador. Un microprocesador para poder ser funcional necesita conectarse con otros dispositivos como memoria, osciladores, convertidores, entre otros. En cambio, un microcontrolador es diseñado con los dispositivos antes mencionados integrados en el mismo chip.

Microchip Technology son los fabricantes de los famosos microcontroladores PIC, cuyo nombre completo es PICmicro (Peripheral Interface Controller). Utilizando la arquitectura Harvard es capaz de conectar su CPU a la memoria de programa a través de un bus de más de ocho líneas, de ahí que se encuentren en la actualidad microcontroladores de doce, catorce y 16 bits, según el bus que posea; ya que poseen el mismo núcleo de 8 bits, poseen también un mismo juego de instrucciones y similares tipos de componentes conectados.

7.4.1.2. Juego de instrucciones

El juego de instrucciones es el conjunto de palabras que el microprocesador reconoce y acepta, para el caso de un microcontrolador PIC de la familia 18F25XX son 75 instrucciones en total, debido a la arquitectura RISC. Se esperaría que un programador se enfrente al mencionado número de instrucciones, pero esto solo sucede si se utiliza el lenguaje de ensamblador, en cambio se puede programar en muchos lenguajes de alto nivel, como C, el cual simplifica la escritura de código llevando a palabras sencillas.

La mayoría de las instrucciones se ejecutan en un ciclo, en algunos casos, puede tomar dos ciclos. Cada ciclo mencionado equivale a cuatro ciclos de reloj, como ejemplo, para un oscilador de 8 MHz, una instrucción simple llevaría 0.5 μ s en ejecutarse.

7.4.1.3. Interrupciones

Un microcontrolador está diseñado para responder a los cambios en su entorno, de ahí que se puedan llevar a cabo otras instrucciones durante la ejecución del código que tenga programado una vez se detecta una condición específica, es lo que llamamos interrupción. Esta es la manera en que un

microcontrolador atiende un evento en el cual no se conoce el momento específico en que ocurre. Es más práctico que estar revisando todo el tiempo un puerto, por ejemplo.

7.5. Métodos de comunicación

Actualmente se cuentan con diversos métodos para comunicar un dispositivo con otro más; debido a esto es útil tener no solo un método sino varios que permitan acceder en cualquier momento a la información recolectada.

7.5.1. Protocolo USB

Las siglas USB provienen del inglés Universal Serial Bus y es uno de los protocolos de comunicación más difundidos a nivel mundial y que recibe actualizaciones constantemente para incrementar sus capacidades, está incluido en muchos artículos que usamos constantemente como teléfonos, computadoras, dispositivos de almacenamiento, adaptadores, entre otros.

Creado por USB-IF (Universal Serial Bus – Implementers Forum) en 1996, grupo que contiene a directivos de Apple Inc., HP Inc., Intel Corporation, Microsoft Corporation, Renesas Electronics, STMicroelectronics y Texas Instruments, quienes diseñaron las especificaciones y facilitan el desarrollo y calidad de nuevos productos compatibles con el protocolo.

A lo largo de los años se han ido creando diversas especificaciones las cuales han ido evolucionando para ofrecer mejores prestaciones que apoyan a las tecnologías que se van sumando:

- USB 1.0: con una velocidad de transmisión de 1.5 Megabits por segundo fue la primera especificación creada en 1996, sin embargo, tuvo poca aceptación.
- USB 1.1: dos años después, 1998, se lanza la primera actualización de la especificación que permitió alcanzar velocidades de hasta 12 megabits por segundo y la posibilidad de conectar y desconectar sin necesidad de realizar un reinicio del equipo, esto se conoció como “*plug and play*”.
- USB 2.0: esta es la especificación más extendida en todo el mundo, sirvió como base para muchos de los dispositivos actuales a partir del 2000 y es vigente aun siendo tomado como la especificación mínima aceptable. Con una velocidad máxima de 480 megabits por segundo fue la versión mejor recibida.
- USB 3.0: lanzada 8 años después, permite transferencias de hasta 5 gigabits por segundo lo que le ha valido para ir dejando atrás a su predecesor.
- USB 3.1: por medio de esta actualización se lograron transferencias de 10 gigabits por segundo renombrándose como “*Super Speed Gen2*” en 2013.
- USB 3.2: en 2019 se presentó oficialmente esta actualización que ofreció llegar hasta los 20 gigabits por segundo y recibe el nombre comercial “*Super Speed USB 20 Gbps*”.
- USB4 o USB 4.0 es la más reciente actualización y se basa en Thunderbolt, estándar liberado por Intel recientemente, lo que le permite tener mejores características llegando hasta los 40 gigabits por segundo

en modo “dual-lane” que significa que es posible tener una transferencia de entrada de 20 gigabits por segundo y una de salida igual.

7.5.2. Protocolo WIFI

Este protocolo de comunicaciones es basado en el estándar IEEE 802.11 el cual describe la manera de operar de las Redes” Inalámbricas de Área Local (WLAN por sus siglas en inglés). WiFi Alliance es una red de compañías que basados en tres principios desarrollan la tecnología de comunicaciones: liderazgo, apoyo y colaboración.

Este método de comunicación es uno de los mejor desarrollados y permite intercomunicar diversos dispositivos como computadoras, teléfonos, impresoras, entre otros.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Fundamentos de las señales eléctricas

1.1.1 Señal análoga

1.1.2 Señal digital

1.1.3 Tratamiento de señales analógicas y digitales

1.1.3.1 Conversión analógica digital

1.1.3.2 Muestreo

1.1.3.3 Cuantificación

1.1.3.4 Codificación

1.1.3.5 Características

1.2 Sensores usados en la industria

1.2.1 Sensores de puertas con señal dinámica

1.2.2 Sensores fotoeléctricos

1.2.3 Sensores de temperatura resistivos

1.2.4 Codificadores rotativos de posición

1.3 Fundamentos electrónicos para el diseño del prototipo

1.3.1 El microcontrolador

- 1.3.2 Fundamentos
- 1.3.3 Juego de instrucciones
- 1.3.4 Interrupciones
- 1.4 Métodos de comunicación
 - 1.4.1 Protocolo USB
 - 1.4.2 Protocolo WIFI

2 MARCO METODOLÓGICO

- 2.1 Microcontrolador
 - 2.1.1 Módulos
 - 2.1.1.1 Probador para detector de temperatura resistivo
 - 2.1.1.2 Probador de interruptor de seguridad por señal dinámica
 - 2.1.1.3 Probador de sensores fotoeléctricos y magnéticos
 - 2.1.1.4 Probador de codificadores incrementales
 - 2.1.1.5 Grabadora de datos
 - 2.1.2 Pantalla TFT táctil
 - 2.1.3 Escritura de memoria
 - 2.1.4 Métodos de comunicación
 - 2.1.4.1 Comunicación inalámbrica
 - 2.1.4.2 Comunicación USB
- 2.2 Software para computadora
- 2.3 Implementación en la nube
- 2.4 Diseño de software de análisis en la nube

3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1 Construcción

3.2 Software

3.3 Calibración

4 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

4.1 Pruebas de precisión

4.2 Pruebas de exactitud

4.3 Comparación

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. MARCO METODOLÓGICO

El objetivo del trabajo implica una investigación con enfoque cualitativo y exploratorio que conlleva la propuesta de diseño de un dispositivo que sea capaz de cumplir con las expectativas. Para ello se pretende investigar acerca de los dispositivos necesarios para cumplir con las especificaciones filtrado de señales, conversión de datos, métodos de comunicación viables, entre otros. El objetivo es cumplir con el análisis de los dispositivos en prueba para poder determinar si un dispositivo funciona correctamente, analizar su comportamiento bajo diferentes circunstancias y determinar puntos de fallo.

La línea de investigación es relacionada al análisis de datos al recolectar grandes cantidades de datos para llevar a cabo análisis de comportamiento de los dispositivos y toma de decisiones basados en los resultados de dichos análisis.

Al ser un prototipo de herramienta permite utilizarlo con otros proyectos en paralelo y puede usarse como un dispositivo que es útil para el diseño y prueba de otros. Lo anterior mejora la rapidez con la que se pueden realizar verificaciones a varios dispositivos.

Como características se definen:

- Mide componentes específicos a través de circuitería electrónica para validar el funcionamiento acorde a las especificaciones del fabricante.
- Se involucra estadística al poder realizar análisis de los datos capturados y almacenados por el dispositivo.

- Es posible observar efectos de condiciones específicas que se pueden simular para observar un problema o el punto de fallo del componente.
- Se utiliza un proceso probatorio ya que se cuenta con la teoría de funcionamiento de los componentes para contrastar contra lo que realmente se obtiene al recolectar datos reales.
- Se pretende tener una precisión dependiente de cada componente ya que algunos trabajan con señales de baja frecuencia, pero otros necesitan ser monitoreados a altas tasas de refresco para notar los cambios.
- Predice problemas futuros o inesperados en base a límites de trabajo.

Para llevar a cabo lo anterior, se propone:

- Recabar la información de cada fabricante de los componentes seleccionados para analizar el funcionamiento esperado, la información de componentes como microcontroladores, módulos de comunicación o adquisición de datos y software, así como la teoría de análisis de datos analógicos y digitales.
- Diseñar la circuitería para interactuar con los componentes y recolectar los datos deseados basándose en estándares de funcionamiento real.
- Diseñar el método de almacenamiento, así como los métodos de análisis estadísticos necesarios por medio de software como R para llevar a cabo estudios del funcionamiento actual contra el esperado.

- Probar componentes de prueba cuyo propósito es ser un marco de referencia de como un componente en buen estado debe trabajar.
- Probar dispositivos defectuosos en diferentes circunstancias para observar fallos y calibrar el dispositivo diseñado.
- Analizar y comparar los datos de funcionamiento para determinar el estado y emitir un resultado de funcionamiento, punto de fallo o cualquier desviación.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

A través del dispositivo se obtienen señales analógicas y digitales que dependen de la situación del componente analizado. Los datos considerados como variables recolectadas por el dispositivo son:

- Señal digital de 24V para sensores de seguridad de señal dinámica.
- 3 canales de señal digital de 24V para codificadores incrementales rotativos.
- Señal digital de 24v para sensores lumínicos o inductivos.
- Señal análoga de voltaje para sensores de temperatura resistivos.

Dificultades del análisis: para las señales de 24V es necesario acoplar el nivel de voltaje de 3.3v que utiliza el microcontrolador a el nivel de 24V, de lo contrario se dañaría el microcontrolador por sobre voltaje. Acoplar la señal es requerido tanto para las señales de generadas como las recibidas.

Para las señales analógicas también es necesario acoplar la señal de manera análoga, para ambos casos se plantea el uso de opto acopladores que permiten aislar completamente el dispositivo del equipo a analizar y así minimizar riesgos de dañar la herramienta.

La información recolectada también se debe almacenar de tal manera que la capacidad de datos almacenada sea la mayor posible para poder visualizar un problema en caso de presentarse y no perder esa información en un corte de energía o pérdida de comunicación. Para eso se plantea guardar la información

físicamente en una memoria interna de la herramienta y enviarla a un servidor en la nube para su almacenamiento y posterior análisis.

También es necesario realizar una reducción de datos o filtrado ya que sesiones largas de registro pueden no tener ninguna información útil por lo que es conveniente poder observar eventos puntuales, esto se debe realizar por medio de criterios de:

- Tiempo
- Lugar
- Evento buscado
- Prueba de componentes en un entorno controlado

Los datos se deben identificar y clasificar de acuerdo con el interés del evento a buscar:

Para sensores de seguridad y lumínicos, se buscan cambios de voltaje entre 0 y 24 voltios, los cuales representan un cambio físico en el dispositivo como alejamiento entre el emisor y receptor o el paso de un objeto.

Para los codificadores rotativos incrementales se tienen 3 líneas de datos de 24 V que indican la fase y el sentido de movimiento por lo que se debe ser capaz de recolectar la información al mismo tiempo para comparar las gráficas de datos y buscar inconsistencias en el funcionamiento.

En el caso del sensor de temperatura al ser una señal análoga relacionada a la temperatura es preciso observar el comportamiento con relación a la información del fabricante.

Los datos deberán ser mostrados como una gráfica de lo recibido contra el esperado, así como también se puede mostrar como un registro cronológico de eventos.

El análisis de contenido debe incluir la preparación de los datos y el filtrado del contenido para evitar tener información no deseada de eventos que no son requeridos. En cuanto a los resultados y conclusiones el objetivo es determinar si un dispositivo cumple con lo requerido y con las especificaciones del fabricante y si hay alguna condición con la que se pueda generar un fallo.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta el cronograma de actividades propuestas y los recursos planteados realizar este trabajo:

Tabla IV. Cronograma de actividades

Nombre del proyecto	Diseño de un dispositivo de monitoreo y pruebas		
Director de proyectos	Jorge Top		
Fecha en que se inició el proyecto	10/01/2021		
Fecha en que se finalizó el proyecto	11/28/2022		
Duración	235 días		
% completado	0%		
Exportado el	10/25/2021		
Número de tarea	Número de esquema	Nombre	Duración
1	1	Investigación y comparación de hardware disponible	4 semanas
2	2	Diseño y simulación de captura de señales	3 semanas
3	3	Diseño y simulación de procesamiento de señales.	5 semanas
4	4	Diseño y simulación de presentación de datos en pantalla	4 semanas
5	5	Diseño y pruebas del almacenamiento de datos	3 semanas
6	6	Diseño del sistema de almacenamiento de datos en la nube	3 semanas
7	7	Diseño y pruebas de envío de datos a servidor en la nube	2 semanas
8	8	Diseño del software de análisis de datos en la nube	3 semanas
9	9	Simulación del funcionamiento real,	4 semanas
10	10	Gestión y clasificación de la información obtenida	2 semanas
11	11	Redacción de resultados	3 semanas
12	12	Revisión de resultados con el asesor	
13	13	Redacción del documento final	4 semanas
14	14	Revisión con el asesor	3 semanas
15	15	Correcciones del documento	3 semanas
16	16	Approbation del documento	3 semanas

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Factibilidad técnica

Para llevar a cabo el proyecto es necesario varios tipos de recursos, desde dispositivos físicos hasta licencias de uso de software y almacenamiento en la nube. Al ser una herramienta de trabajo se tienen dos escenarios posibles:

- El modo de prueba donde se conectan dispositivos con problemas conocidos para verificar el funcionamiento
- El modo de uso en el que se utilizara en el campo ante problemas reales de los equipos.

Entre los recursos para el prototipo electrónico se necesitan componentes electrónicos básicos como resistencias, capacitores, placas de pruebas, cableado, optoacopladores, conectores, entre otros. También se vuelven necesarios componentes complejos capaces de procesar la información como microcontroladores (Microchip, Atmel, entre otros.) o microcomputadores como Raspberry Pi para una capacidad más alta de procesamiento. Para la programación del equipo se pueden utilizar herramientas gratuitas como MPLAB o Python, o pagadas como MikroC.

Además, para mostrar la información en tiempo real se necesita un medio de visualización como una pantalla TFT o LCD de resolución suficiente para ver claramente la información. En términos de comunicación son necesarios módulos

Wifi o de red celular lo que requiere el uso de una tarjeta sim de algún proveedor local o una conexión a internet por medio de wifi.

Para el almacenamiento de datos y procesamiento en la nube se requiere el uso de alguno de los proveedores del servicio como Google Cloud Computing, Microsoft Azure, entre otros., con un plan de costo por uso, además proveedores como Google tienen planes sin costo en caso no se sobrepase un determinado uso de tráfico de red.

Las pruebas se realizan con componentes industriales tanto en buenas condiciones como dañados, los cuales se pueden conseguir en proveedores de internet que venden componentes usados.

Debido a que todos los componentes son accesibles y los fabricantes proveen la información de cómo funcionan es posible realizar el proyecto incluso con fabricantes de sensores diferentes a los mencionados hasta ahora ya que la industria tiene estandarizado los protocolos de comunicación, rangos de operación y datos de uso.

12.2. Factibilidad económica

El presupuesto del proyecto se desglosa de la siguiente manera:

Tabla V. **Presupuesto**

Descripción	Precio aproximado
Componentes electrónicos	Q1000
Placa de procesamiento	Q1500
Licencia de programación	Q0-Q2000
Licencia de uso de servidor en la nube	Q0-150 mensuales
Componentes usados y nuevos de prueba	Q2000
Total:	Q6500+Q150 mensuales

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta que los componentes a analizar son en algunos casos costosos o puede no ser posible tener otro para probar si es el causante del fallo, sumado al costo de tener una línea de producción detenida, en donde cada hora se pueden dejar de producir hasta 24,000 envases, el tiempo ahorrado a la hora de diagnosticar un problema puede ser justificable el uso de la herramienta para reestablecer la operación lo antes posible.

REFERENCIAS

1. ABB. (2021). *Eden DYN Manual del producto*. Kungsbacka. Autor. Recuperado de: [https://library.e.abb.com/public/078e05122e6c45af848d75d18f4d1616/Eden_DYN_Manual_\(ES\)_RevD_2TLC172271M0701.pdf](https://library.e.abb.com/public/078e05122e6c45af848d75d18f4d1616/Eden_DYN_Manual_(ES)_RevD_2TLC172271M0701.pdf)
2. ABB (2017). *Non-contact safety sensor Eden*. Kungsbacka. Autor. Recuperado de <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC010011L0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
3. Brown, J.; Glazier, E. V.; y Von Podolsky, A. (1978). *Telecomunicaciones*. Barcelona, España: Marcombo Buixareu Editores.
4. Campoli E. (2016). *Sistema de monitoreo de la calidad del aire integrado a IoT*. (Tesis de licenciatura). Universidad de la Defensa Nacional, Argentina. Argentina.
5. Carballas Chas, S. (2018). *Creación de un protocolo de comunicación entre un PC y un puerto USB de un microcontrolador y su integración en MATLAB*. (Tesis de licenciatura). Universidad de da Coruña. España.
6. Gomez B. (25 de abril, 2021) *Descúbrelo todo sobre el USB4, el estándar basado en Thunderbolt*. *Professional Review*. [Mensaje en un blog].

Recuperado de
<https://www.profesionalreview.com/2021/04/25/usb-4/>.

7. Kiran, D. (2016). *Total Quality Management*. India: BS Publications.
Recuperado de
<https://books.google.com/books?id=PIIkDAAAQBAJ&lpg=PP1&ots=kZXx1tn5Q1&dq=Cost%20of%20Quality%20kiran&lr&hl=es&pg=PA99#v=onepage&q=Cost%20of%20Quality%20kiran&f=false>.
8. Kumar, A. S.; y Iyer, E. (febrero, 2019). An industrial IOT in engineering and manufacturing industries-Benefits and challenges. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (JMPERD)*, 9(2), 151-160.
9. National Instruments (12 de enero de 2021). Taking Temperature Measurements with RTDs: How-To Guide. [Mensaje en un blog].
Recuperado de
<https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA03q000000x1rnCAA&l=en-US#toc1>.
10. Omron (2021). *Compact Photoelectric Sensor with Built-in Amplifier E3Z*. Kyoto, Autor. Recuperado de
https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/e3z_ds_e_18_5_csm438.pdf?id=407.

11. Pascual, J. (27 de febrero de 2019) Ya está aquí el nuevo USB 3.2, los viejos USB 3.0 y 3.1 cambian de nombre. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/ya-aqui-nuevo-usb-32-viejos-usb-30-31-cambian-nombre-381331>.
12. Quezada, J. (2016). *Análisis de rendimiento de una línea de producción de bebidas carbonatadas*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
13. Ramos, S. (2019). *Optimización de análisis de falla de tarjetas electrónicas con seis sigma*. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México.
14. Rodríguez, A. y Figueredo, J. (2016). Selección e implementación de un prototipo de estación meteorológica aplicando IoT y herramientas Google. *Serna, & Edgar, Desarrollo e innovación en ingeniería*, 1(1). 341-352.
15. Scheider Electric (2021). *OsiSense XCC*. Rueil-Malmaison. Recuperado de <https://ckm-content.se.com/ckmContent/sfc/servlet.shepherd/document/download/0691H00000FJdOaQAL>.
16. Tempo Automation (s.f.). *The most 8 common electronic component failures and how to avoid them*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.tempoautomation.com/blog/the-8-most-common-electronic-component-failures-and-how-to-avoid-them/>.

17. Trout, J. (s.f.). MTTR Explained. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://www.reliableplant.com/mtrr-31713>.
18. Verle, M. (2009) *Microcontroladores PIC – Programación en C con ejemplos*. Microe. Recuperado de <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos>.
19. Sick (2022) *DFS60 DFS60E-S4EA01000, Product data sheet*. Alemania: autor. Recuperado de https://www.sick.com/media/pdf/8/58/858/dataSheet_DFS60E-S4EA01000_1037168_en.pdf.
20. Wojnowski, W.; Majchrzak, T.; Dymerski, T.; Gębicki, J. y Namiesnik, J. (noviembre, 2017). Portable electronic nose based on electrochemical sensors for food quality assessment. *Sensor*, 27(2715), 1-14. Recuperado de <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/12/2715>.
21. Zheng, H.; Paiva, A. y Gurciullo, C. (2020). *Advancing from Predictive Maintenance to Intelligent Maintenance with AI and IIoT*. Estados Unidos: Universidad de Cornell.