

**Prototipo de sistema de alerta temprana para la detección de fallas en el radar militar TPS-70 utilizando Arduino y el módulo SIM800L**

Juan Sebastian Arias Moreno

Cristian Andrey Martínez Enciso

Asesor

Jorge Enrique Arboleda Puerta

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI)

Ingeniería Electrónica

2024

## **Dedicatoria**

Dedicamos este proyecto de grado en conjunto a nuestras familias, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante a lo largo de esta travesía académica. A nuestros amigos, por su compañía, ánimo y por ser parte de las experiencias que enriquecieron nuestro camino universitario.

A nuestros profesores, por su guía, conocimiento y por desafiarnos a alcanzar nuestro máximo potencial. A cada persona que nos brindó su ayuda, consejos y motivación en este proceso, ¡gracias por ser parte de nuestro crecimiento y aprendizaje!

Este logro es el resultado del esfuerzo conjunto, la colaboración y el trabajo en equipo.

Agradecemos a nuestro compañero/a por su dedicación, compromiso y por compartir este camino con nosotros. Juntos hemos superado desafíos, celebrado logros y aprendido el valor de la colaboración.

¡A todos los que formaron parte de este proyecto, nuestro más sincero agradecimiento por ser parte de esta experiencia inolvidable!

## **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que contribuyeron de alguna manera a la realización de este proyecto de grado.

A nuestro director de tesis, por su orientación, asesoría y por compartir con nosotros su invaluable conocimiento y experiencia en el desarrollo de este trabajo académico.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, comprensión y por ser nuestro pilar en cada etapa de este proceso educativo. Su amor y aliento fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

A nuestros amigos, por su amistad, compañía y por ser parte de los momentos de descanso y distracción que nos ayudaron a recargar energías y mantener el equilibrio durante la realización de este proyecto.

A nuestros compañeros de clase, por sus aportes, colaboración y por compartir con nosotros este camino académico lleno de retos y aprendizajes.

A todas las personas que de alguna manera nos brindaron su ayuda, consejos y palabras de aliento, ¡gracias por ser parte de este logro!

Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo y la contribución de cada uno de ustedes. A todos, nuestro más profundo agradecimiento por formar parte de esta etapa tan significativa en nuestras vidas. ¡Gracias!

## Resumen

El desarrollo de un prototipo de sistema de alerta temprana para la detección de fallas en el radar militar TPS-70 se centra en mejorar la confiabilidad del radar y garantizar un mantenimiento preventivo oportuno. Este prototipo emplea la plataforma Arduino y el módulo de comunicación SIM800L para monitorear y alertar sobre posibles fallas, contribuyendo así a la seguridad nacional. Se estima que un monitoreo adecuado podría prevenir aproximadamente el 60% de las fallas del radar.

La investigación sigue un enfoque experimental y de desarrollo, realizando pruebas y evaluaciones que permitieron diseñar, construir y validar el prototipo.

La metodología incluye la construcción del prototipo físico, la configuración de la placa Arduino y el módulo SIM800L, así como la realización de pruebas para verificar la efectividad del sistema en la detección de fallas.

El diseño de la solución se organiza en fases las cuales van desde el diseño del hardware del sistema de alerta temprana hasta la integración con el radar TPS-70. Se detallan las especificaciones técnicas del prototipo, que incluyen el uso de Arduino Uno y el módulo SIM800L. Los objetivos generales y específicos se centran en el diseño, desarrollo y validación del prototipo, con el fin de mejorar la confiabilidad del radar TPS-70 y reducir los costos asociados a mantenimientos correctivos.

**Palabras clave:** Alerta temprana, Fallas radar, TPS-70, Mantenimiento preventivo.

The development of a prototype early warning system for the detection of failures in the TPS-70 military radar focuses on improving radar reliability and ensuring timely preventive maintenance. This prototype employs the Arduino platform and the SIM800L communication module to monitor and alert about potential failures, thereby contributing to national security. It is estimated that proper monitoring could prevent approximately 60% of radar failures.

The research approach is experimental and developmental, encompassing tests and evaluations to design, build, and validate the prototype.

The methodology includes constructing the physical prototype, configuring the Arduino board and the SIM800L module, as well as conducting thorough tests to verify the system's effectiveness in detecting failures.

The solution design is organized in phases, ranging from the design of the early warning system hardware to integration with the TPS-70 radar. The technical specifications of the prototype are detailed, including the use of Arduino Uno and the SIM800L module. The general and specific objectives focus on the design, development, and validation of the prototype, aiming to improve the reliability of the TPS-70 radar and reduce the costs associated with corrective maintenance.

**Keywords:** Early warning, Radar failures, TPS-70, Preventive maintenance

## Lista de Tablas

6

Planteamiento del Problema .....	10
Justificación .....	12
Objetivos .....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos .....	13
Marco Conceptual y Teórico .....	14
Marco Conceptual.....	14
El Internet de las Cosas (IoT).....	14
Marco Teórico .....	16
Metodología .....	21
Cronograma de Actividades.....	22
Recursos Necesarios .....	23
Diseño de la Solución .....	25
Fase 1 .....	25
Insumos y materiales .....	25
Arduino Uno .....	25
Módulo SIM800L .....	25
Modulo LM2596.....	26
Configuración y funcionamiento loop 28 Vdc .....	27
Circuito de control.....	31
Conjunto de sensores mecánicos .....	34
Conexión del prototipo de alarma e interfaz radar .....	35

## Lista de Tablas

	7
Inicialización y configuración .....	37
Loop principal.....	38
Función llamar() .....	38
Función updateSerial().....	39
Fase 3 .....	41
Pruebas del funcionamiento del sistema de alerta temprana con el radar TPS-70 .....	46
Etapa 1 Preparación del entorno de pruebas .....	46
Etapa 2 Pruebas del funcionamiento del sistema de alerta temprana con el radar TPS-70 ....	46
Análisis de resultados .....	47
Etapa 1 Preparación del entorno de pruebas .....	47
Fase 2 Pruebas del funcionamiento del sistema de alerta temprana con el radar TPS-70.....	49
Plan de mejoras.....	51
Plan de mejoras a corto plazo.....	51
Plan de mejoras a mediano plazo .....	52
Plan de mantenimiento.....	52
Conclusiones .....	54
Referencias.....	55

## Lista de Tablas

8

**Tabla 1** *Cronograma de Actividades* .....23

**Tabla 2** *Presupuesto Necesario Para la Implementación de la Solución* .....24

## Lista de Figuras

9

<b>Figura 1</b> <i>Principio Funcionamiento Radar</i> .....	17
<b>Figura 2</b> <i>Placa Arduino</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Modulo SIM800L</i> .....	26
<b>Figura 4</b> <i>Modulo LM2596</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Diagrama de Flujo Funcionamiento Alarma Radar</i> .....	29
<b>Figura 6</b> <i>Diagrama de Bloques Sistema de Detección de Fallas Radar TPS-70</i> .....	30
<b>Figura 7</b> <i>Fault Monitor Board Assembly</i> .....	32
<b>Figura 8</b> <i>Fault Monitor</i> .....	33
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama Eléctrico Prototipo</i> .....	35
<b>Figura 10</b> <i>Algoritmo Placa Arduino y Modulo SIM800L</i> .....	38
<b>Figura 11</b> <i>Simulación Software Proteus</i> .....	41
<b>Figura 12</b> <i>Compilación Programación</i> .....	42
<b>Figura 13</b> <i>Configuración de la Programación Para la Simulación Software Proteus</i> .....	43
<b>Figura 14</b> <i>Simulación Software Proteus Sistema en Normal Operación</i> .....	44
<b>Figura 15</b> <i>Simulación Software Proteus Sistema en Falla</i> .....	45
<b>Figura 16</b> <i>Interconexión alarma con el Sistema Radar</i> .....	47
<b>Figura 17</b> <i>Simulación Falla Radar</i> .....	47
<b>Figura 18</b> <i>Notificación Alarma</i> .....	48
<b>Figura 19</b> <i>Montaje Final Prototipo Sistema de Alerta Temprana</i> .....	50

El radar militar TPS-70 desempeña un papel crucial en la defensa y seguridad de la nación, al proporcionar capacidades avanzadas de detección de objetos en el espacio aéreo. Estas capacidades son esenciales para la vigilancia y protección del territorio nacional, ya que permiten la identificación temprana de posibles amenazas. Sin embargo, se ha observado una creciente vulnerabilidad debido a fallas en su funcionamiento, lo que representa un reto significativo para la integridad y eficacia de las operaciones de defensa.

El problema concreto radica en la metodología utilizada actualmente para la detección de fallas en el radar TPS-70 se basa en revisiones periódicas de mantenimiento. Este enfoque presenta múltiples limitaciones, entre ellas la falta de eficiencia en la identificación oportuna de fallas. Dado que las revisiones se realizan en intervalos fijos y existe el riesgo de que los problemas no sean detectados oportunamente, lo que puede llevar a situaciones de vulnerabilidad operativa.

Otro aspecto es la ausencia de un sistema de alerta temprana que permita realizar un mantenimiento preventivo. En la situación actual, las fallas son identificadas solo cuando ya se han manifestado, lo que obliga a realizar reparaciones correctivas más costosas y genera tiempos prolongados de inactividad operativa. Esto no solo impacta en los costos de mantenimiento, sino que también afecta la disponibilidad y operatividad del radar, dejando potencialmente expuestas áreas sensibles durante el tiempo en que el sistema está fuera de servicio.

A nivel internacional, varias fuerzas armadas han implementado sistemas de alerta temprana y monitoreo en tiempo real para mejorar la eficiencia operativa y reducir el riesgo de fallos críticos en sus sistemas de defensa. Por ejemplo, en Estados Unidos, el radar AN/TPQ-53 (Lockheed Martin , 2024) ha sido optimizado mediante la integración de sistemas automáticos de

diagnóstico, que permiten la detección anticipada de fallas y la implementación de medidas preventivas.

11

A nivel nacional, diversas iniciativas en el sector energético (Londoño, 2019) han recurrido a sistemas de alerta temprana para el mantenimiento de infraestructuras críticas, como las redes eléctricas. En Colombia, por ejemplo, se ha implementado un sistema de monitoreo basado en tecnología de sensores que detecta anomalías en la infraestructura eléctrica antes de que se conviertan en averías mayores, reduciendo los tiempos de reparación y mejorando la eficiencia operativa.

Teniendo en cuenta estas experiencias, la pregunta de investigación que guiará este proyecto es:

¿Cómo diseñar y desarrollar un prototipo de sistema de alerta temprana basado en el uso de software libre, utilizando Arduino y el módulo SIM800L, con el fin de detectar fallas de manera anticipada en el radar militar TPS-70, mejorando así la eficiencia y confiabilidad del sistema?

La creación de un prototipo de sistema de alerta temprana para la detección de fallas en el sistema radar TPS-70, utilizando el software de uso libre Arduino y el módulo SIM800L; es una iniciativa práctica y eficiente la cual busca mejorar la confiabilidad del radar, además de garantizar un mantenimiento preventivo oportuno.

Un estudio reciente realizado por el Instituto de Investigación de Defensa de los Estados Unidos (US Defense Research Institute) señala que aproximadamente el 60% de las fallas en radares militares podrían prevenirse con un monitoreo adecuado y un mantenimiento oportuno. Esto permite enfatizar en la importancia y necesidad de un sistema de detección de fallas en el sistema radar TPS-70. (Ortiz, 2017).

Adicionalmente el departamento de Defensa de los Estados Unidos indica que las fallas en radares militares han representado un aumento del 20% en los gastos de mantenimiento en los últimos cinco años. (Ojeda, 2017).

A nivel nacional, el proyecto se alinea con los planes estratégicos de defensa establecidos por el gobierno (Mindefensa, 2024) , los cuales priorizan la modernización de las tecnologías de vigilancia y seguridad. Este prototipo responde a la necesidad de actualizar y optimizar los sistemas de detección, asegurando la operatividad continua del radar TPS-70, esencial para la protección del espacio aéreo.

En conclusión, la implementación de un prototipo de sistema de alerta temprana que aprovecha las capacidades del software libre Arduino y el módulo SIM800L para monitorear constantemente el estado del radar TPS-70 se presenta como una solución eficiente. Esta solución no solo mejora significativamente la confiabilidad del sistema radar TPS-70, sino que también busca reducir los costos asociados a los mantenimientos correctivos.

### **Objetivo General**

Desarrollar un prototipo de sistema de alerta temprana para la detección de fallas en el radar militar TPS-70 utilizando el software de uso libre Arduino y el módulo SIM800L.

### **Objetivos Específicos**

Diseñar el hardware del sistema de alerta temprana, utilizando el software de uso libre Arduino y el módulo SIM800L, que se integrará con el radar militar TPS-70 para la verificación de notificaciones en caso de fallas.

Desarrollar el software necesario para la programación de la placa Arduino y módulo SIM800L, permitiendo la comunicación inalámbrica y el envío de alertas en tiempo real en caso de detección de fallas en el sistema radar.

Validar la efectividad de prototipo de alerta temprana a través de pruebas, simulando diferentes escenarios de fallas en el sistema radar TPS-70 y verificando la correcta recepción de las notificaciones de alerta en la interfaz de usuario.

### Marco Conceptual

#### *El Internet de las Cosas (IoT)*

El Internet de las Cosas (IoT) hace referencia a una red de dispositivos físicos interconectados que recopilan y comparten datos a través de la internet. Desde sensores y electrodomésticos inteligentes hasta infraestructuras industriales, el IoT permite la adquisición, análisis y control de datos de manera remota. Esta tecnología revoluciona diversos campos, optimizando procesos, mejorando la toma de decisiones y permitiendo una mayor eficiencia en sectores como la salud, la logística y la manufactura (Khaled y otros, 2018).

#### **Tecnologías de Código Abierto**

Las tecnologías de código abierto son sistemas informáticos cuyo código fuente es público y accesible para su visualización, modificación y distribución por cualquier persona. Esto fomenta la colaboración y la innovación, ya que un conjunto global de desarrolladores trabaja en conjunto para mejorar y mantener el software (Medina Delgado, 2011).

#### *Arduino*

Arduino es una plataforma de desarrollo de código abierto que se ha convertido en una herramienta esencial para la creación de proyectos electrónicos, desde simples prototipos hasta sistemas más complejos y fue diseñado con el propósito de facilitar la programación y la interacción con dispositivos electrónicos permitiendo así a estudiantes, diseñadores y desarrolladores acceder a un ecosistema versátil y accesible.

La plataforma Arduino consta de una placa de hardware, que incluye un microcontrolador y una serie de pines de entrada/salida, y un entorno de desarrollo de software que simplifica la programación (Herrador, 2009).

### ***Sistema Radar***

Un sistema de radar aéreo es una tecnología fundamental en la aviación y la defensa aérea, que emplea ondas de radio para detectar, localizar y rastrear aeronaves en vuelo. Este tipo de radar proporciona información crítica, como el azimut, la velocidad y la posición del tráfico aéreo, lo que lo convierte en un recurso clave para diversas misiones militares. Los sistemas de radar modernos han evolucionado para incorporar capacidades avanzadas, como la detección de fenómenos meteorológicos y la vigilancia de drones, lo que amplía su utilidad en operaciones tanto civiles como militares (Alonso Cerpa, Universidad de la laguna , 2015).

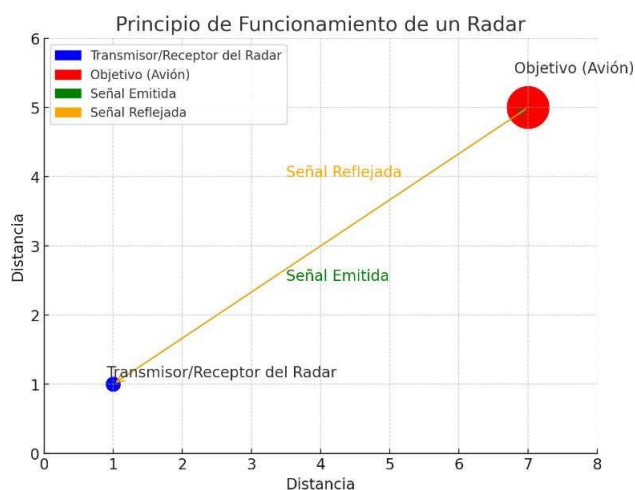
### ***Machine Learning***

El análisis de la aplicación de machine learning en sistemas de defensa es crucial en la era moderna de la guerra tecnológica. Utiliza algoritmos y técnicas de aprendizaje automático para analizar datos en tiempo real, detectar patrones y tomar decisiones críticas. Esto mejora la precisión en la identificación de amenazas, la ciberseguridad y la toma de decisiones estratégicas en operaciones militares (Alcántara Suárez, 2023).

Se sabe que un sistema radar es importante para la soberanía del territorio colombiano, teniendo en cuenta las amenazas que han ocurrido a lo largo del tiempo y lo que han logrado a partir de su funcionamiento; partiendo de este punto se define que es un radar y que lo compone, según lo descrito en el proyecto técnico realizado por Francisco Isaac Vera Rosales y Andrea Michelle Mora Guijarro.

El radar es un sistema electromagnético para la detección y localización de objetos. Opera a partir de la transmisión de un tipo de onda particular, por ejemplo, un seno modulado pulsado, detectando la naturaleza de eco de la señal. La peculiaridad más importante de esta clase de dispositivos es que pueden medir la distancia o rango hasta el objeto en cuestión. Una forma elemental de radar consiste en una antena transmisora que emite radiación electromagnética generada por algún tipo de oscilador, una antena receptora y un dispositivo detector de energía o receptor. (GUIJARRO, 2017).

Este dispositivo funciona con un emisor y un receptor. El primero se encarga de generar ondas de radio de alta intensidad y frecuencia, cuando la señal encuentra algún objeto esta rebota generando un eco el cual regresa al mismo punto donde fue enviada la señal para que el receptor procese e interprete los datos generados como son: el tiempo y el efecto Doppler que se genera (entre más alejado esté el objeto menor será la frecuencia y mientras más cerca esté más proporcionalmente igual). (Mecafenix, 2019).

**Figura 1***Principio Funcionamiento Radar*

*Nota.* Principio radar.

En la Figura 1 se logra observar de una manera gráfica el principio de funcionamiento básico de un sistema radar. Un radar es un sistema electromagnético diseñado para la detección y localización de objetos.

El radar TPS-70 es un sistema de radar tridimensional utilizado principalmente en aplicaciones militares para la vigilancia aérea y la detección de aeronaves. Este radar fue desarrollado por la empresa Northrop Grumman, una de las principales compañías de defensa y tecnología aeroespacial a nivel mundial. El radar TPS-70 se introdujo por primera vez en la década de 1980 como parte de un esfuerzo para mejorar las capacidades de vigilancia y defensa aérea de los Estados Unidos y sus aliados (Northrop Grumman, 2023).

El radar TPS-70 es una evolución de sistemas de radar anteriores, como el TPS-43, con mejoras significativas en alcance, precisión y capacidad de detección en condiciones de interferencia electromagnética. Estas mejoras se lograron gracias a avances en la tecnología de

semiconductores y en el procesamiento de señales, lo que permitió una mayor fiabilidad y resistencia en entornos operativos complejos (janes grup , 2021).

18

El radar TPS-70 es un radar de vigilancia aérea tridimensional que opera en la banda L. Su diseño modular y portátil permite su despliegue rápido en una variedad de escenarios operativos, desde bases fijas hasta entornos de campo. El sistema incluye una antena de matriz plana, un transmisor de estado sólido, y un procesador avanzado de señales, lo que le permite detectar y rastrear múltiples objetivos simultáneamente con alta precisión.

El radar TPS-70 es conocido por su capacidad para realizar detección y seguimiento en tiempo real de aeronaves, incluso en presencia de contramedidas electrónicas. Su capacidad de operar en la banda L le otorga un buen equilibrio entre alcance y resolución, siendo capaz de detectar objetivos a distancias de hasta 450 kilómetros y a altitudes elevadas.

En el estudio "Design and Implementation of an Early Warning System for Industrial Equipment Using Arduino" resalta la utilidad de Arduino en la creación de sistemas de alerta temprana para equipos industriales críticos. Esto es crucial para nuestro proyecto, ya que demuestra la versatilidad del software Arduino y su capacidad para monitorear y detectar fallas en equipos de manera efectiva. Este avance confirma la aplicabilidad de Arduino en contextos similares, como el radar militar TPS-70, y permite sentar las bases para el desarrollo del prototipo (Soler, 2019).

En el artículo "Wireless Sensor Networks for Early Warning Systems: A Review of Applications and Technologies" podemos observar que destaca la importancia de las redes de sensores inalámbricos en sistemas de alerta temprana. Muestra una amplia gama de aplicaciones las cuales van desde la detección de desastres naturales hasta la monitorización de equipos

críticos; cabe resaltar que la comunicación inalámbrica es un componente esencial para el presente proyecto. (Araujo, 2022). 19

En el artículo "IoT-Based Early Warning System for Landslide Detection" se enfoca en la detección de deslizamientos de tierra mediante tecnología IoT. Aunque no se trata del mismo contexto que el radar militar, proporciona valiosa información sobre la implementación de sensores y sistemas de alerta temprana en la identificación de riesgos y la prevención de fallas lo cual nos puede inspirar distintos enfoques en nuestro proyecto (Yulia & Pramono, 2023).

El Artículo "IoT in Critical Infrastructure: A Survey of Applications and Challenges" realiza un examen del uso de IoT en infraestructuras críticas, que incluyen equipos militares y de defensa además de destacar la relevancia de los sistemas de alerta temprana en la protección de activos críticos, subrayando la necesidad de implementar soluciones efectivas, como las que buscamos desarrollar en el prototipo de alerta temprana para el radar militar TPS-70 (Staddon, 2021).

Por último, se observa que el artículo titulado "Early Warning Systems for Critical Infrastructure Protection: A Comprehensive Review" se enfoca en los sistemas de alerta temprana orientados a la protección de infraestructuras críticas, con especial atención a la seguridad y la vigilancia. En dicho estudio, se ofrece una visión integral sobre las tecnologías y estrategias empleadas en este campo, lo que resulta altamente pertinente para el proyecto aplicado en el ámbito militar (Ani, 2019)

En conjunto estas investigaciones permiten demostrar que el desarrollo de sistemas de alerta temprana es un área de investigación activa y relevante en la actualidad y las soluciones propuestas en estas publicaciones ofrecen valiosas ideas y validan la viabilidad de nuestro proyecto aplicado; destacando la importancia de implementar un sistema de alerta temprana en el

radar militar TPS-70 para mejorar su eficiencia y confiabilidad, garantizando así un mantenimiento preventivo oportuno y efectivo. Estas investigaciones proporcionan un sólido respaldo teórico para nuestro proyecto y ayudan a situarlo en el contexto actual de sistemas de alerta temprana.

El enfoque de investigación adoptado para este proyecto es experimental y de desarrollo; la razón de esta elección radica en la necesidad de construir un prototipo funcional de un sistema de alerta temprana para la detección de fallas en los radares militares TPS-70; además de que la naturaleza experimental del enfoque implica que se llevarán a cabo una serie de pruebas y evaluaciones para diseñar, construir y validar el prototipo. En la fase de implementación se enfocará en la construcción del prototipo físico de acuerdo con el diseño previamente establecido, incluyendo la configuración de la placa Arduino y el módulo SIM800L. Las pruebas y la validación desempeñarán un papel importante en la presente investigación, ya que permitirán verificar la efectividad del prototipo en la detección de fallas permitiendo así cualquier ajuste necesario.

**Tabla 1**  
*Cronograma de Actividades*

Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
investigación, recopilación de información y definición de tallada de los objetivos.	X			
Diseño del hardware del sistema de alerta temprana.	X			
Identificación y adquisición de componentes de hardware	X			
Construcción del prototipo de hardware		X		
Inicio del desarrollo del software para Arduino y el módulo SIM800L.		X		
Pruebas iniciales de comunicación inalámbrica.		X		
Integración del hardware y el software.			X	
Inicio de pruebas con el radar TPS-70 simulando fallas.			X	
Ajustes y mejoras en el software y el hardware según sea necesario			X	
Preparación del informe técnico y la presentación de resultados.				X
Documentación completa del proyecto, incluyendo esquemas, código fuente, resultados de pruebas y análisis de datos.			X	X
Entrega final del proyecto.				X

*Nota.* Cronograma de actividades para el presente proyecto .

La Tabla 1 evidencia el cronograma detallado de actividades para el diseño e implementación del sistema de alerta temprana para la detección de fallas en el radar militar TPS-70. Este cronograma es esencial para planificar y gestionar el proyecto de manera efectiva,

asegurando que todas las fases se completen a tiempo y de acuerdo con los objetivos establecidos.

### Recursos Necesarios

**Tabla 2**

*Presupuesto Necesario para la Implementación de la Solución*

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	Ingeniero o tecnólogo especializados en electrónica y programación.	\$2,000.000
Equipos y Software	Placa de desarrollo de hardware (Arduino uno o similares).	\$50,000
	Módulo SIM800 (Módulo de comunicación GSM/GPRS.)	\$30,000
	Computadora y software de programación.	\$2,000.000
	Modulo LM2596	\$20,000
Viajes y Salidas de Campo	Visitas técnica radar para comprobación y pruebas del dispositivo.	\$300,000
Materiales y Suministros	Herramientas de soldadura y montaje.	\$200,000
	Componentes electrónicos (Resistencias, cables, conectores, tarjeta SIM)	\$200,000

Recurso	Descripción	Presupuesto
Bibliografía	Libros, artículos, recursos en línea e información relevante para la investigación y desarrollo del prototipo.	\$50,000
TOTAL		\$ 4,850.000

*Nota.* Presupuesto para la implementación.

### **Fase 1**

Diseño de hardware del sistema de alerta temprana, utilizando Arduino y el módulo SIM800L, que se integrará con el radar militar TPS-70.

Para el desarrollo de la presente fase se realiza la verificación de los insumos y materiales que se usarán en la implementación del prototipo, además de la verificación del funcionamiento y configuración del sistema de detección de fallas propio del sistema radar TPS-70 denominado *“Loop 28 Vdc”*.

### **Insumos y materiales**

En referencia al planteamiento del problema del presente proyecto se logra identificar las siguientes especificaciones técnicas para el prototipo de sistema de alerta temprana.

#### ***Arduino Uno***

El Arduino Uno es una placa de desarrollo de código abierto ampliamente utilizada en proyectos; se encuentra equipado con un microcontrolador ATmega328P de 8 bits a 16 MHz, cuenta con 14 pines digitales, 6 pines analógicos, y una memoria flash de 32 KB. Se comunica a través de USB, UART, I2C, SPI y es programable en el entorno de desarrollo Arduino.

(EMPOWER SCIENTISTS AND ARTISTS OF THE FUTURE (Arduino), 2024).

**Figura 2**

*Placa Arduino*



*Nota.* Composición física placa Arduino. Tomado de. [https://arduino.cl/que-es-arduino/?srsltid=AfmBOoo9nzzEzwnbpEaPokuaAvKyIWUq\\_fk9e1FNHe\\_snF-3RMPY4de2](https://arduino.cl/que-es-arduino/?srsltid=AfmBOoo9nzzEzwnbpEaPokuaAvKyIWUq_fk9e1FNHe_snF-3RMPY4de2)

***Modulo SIM800L***

El módulo SIM800L es un dispositivo de comunicación celular compacto y versátil el cual funciona con una amplia gama de frecuencias” 850/900/1800/1900 MHz” y permite la transmisión de datos, voz, SMS, GPRS, TCP/IP, FTP, DTMF, GPIO. Opera en voltajes de 3.4V a 4.4V, con un bajo consumo de energía y una interfaz UART para la comunicación con microcontroladores y es ampliamente usado para aplicaciones IoT y M2M. (Electro PRO, 2017).

**Figura 3**

*Modulo SIM800L*



*Nota.* Composición física Modulo SIM800L. Tomado de <https://ferretronica.com/products/modulo-sim800l-gsm-gprs>

El módulo LM2596 es un regulador de voltaje ajustable ampliamente utilizado en electrónica cuenta con una entrada de 4.5-40V, proporciona una salida ajustable de 1.25-37V con una corriente máxima de 3A y una eficiencia de hasta el 92%, este dispositivo eficiente y versátil es ideal para fuentes de alimentación y comúnmente usado en proyectos electrónicos. (Texas Instruments, 2023).

**Figura 4**

*Modulo LM2596*



*Nota.* Composición física Modulo LM2596. Tomado de. <https://www.ardobot.co/modulo-lm2596-regulador-de-voltaje-dc-dc-buck-1-25v-35v.html>

**Configuración y Funcionamiento loop 28 Vdc**

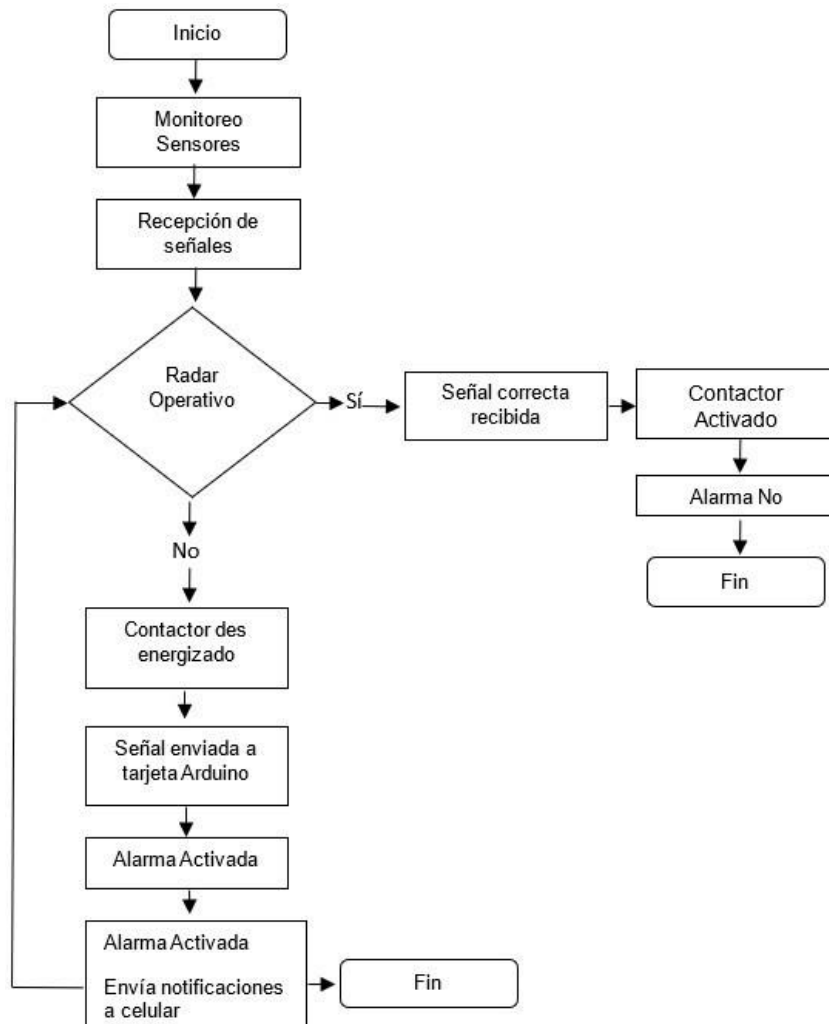
El sistema de detección de fallas del radar TPS-70 denominado loop 28 Vdc se compone de una serie de sensores mecánicos y un circuito de control. Estos sensores mecánicos están diseñados para detectar diferentes anomalías o mal funcionamiento en los componentes críticos del radar.

Como se menciona anteriormente el sistema de detección de fallas utiliza un circuito de control que recibe señales de los diferentes sensores mecánicos que monitorean algunos componentes del radar. Cuando estos sensores indican que el radar funciona correctamente el circuito de control envía una señal para activar el contactor denominado “**K1**”. Este contactor

permite que la corriente fluya sin activar la alarma dando así el significado que todo está funcionando correctamente.

28

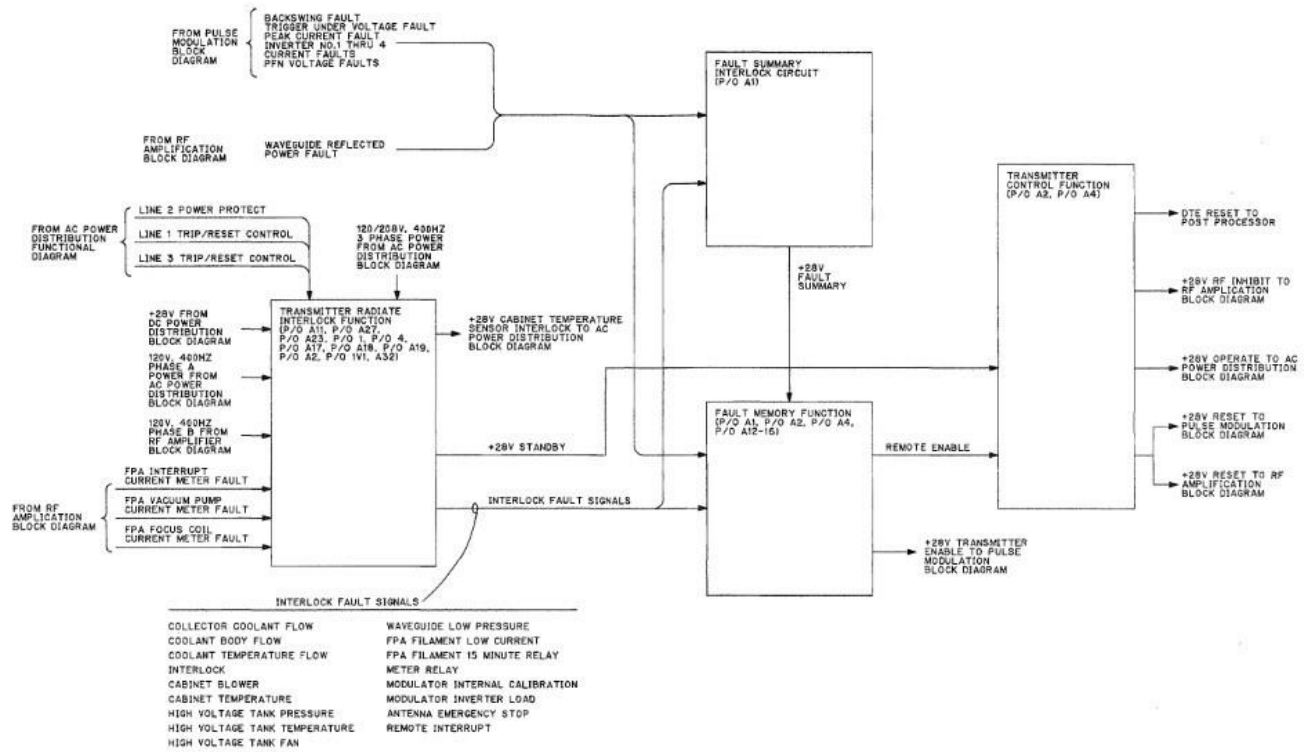
Sin embargo, si el circuito de control no recibe alguna señal de los sensores este envía una señal para desactivar el contactor “*K1*”. Causando así que se corte la corriente del loop y se activa la alarma, indicando así que ha ocurrido una falla en alguno de los sistemas del radar.

**Figura 5***Diagrama de Flujo Funcionamiento Alarma Radar*

*Nota.* Diagrama de flujo del funcionamiento lógico del prototipo.

En la figura 5 se observa el diagrama de flujo realizado por los autores del presente texto en donde describe el funcionamiento del sistema de alarma para el radar militar TPS-70. Este diagrama es crucial para entender cómo se maneja el proceso de detección y notificación de fallas dentro del sistema.

Diagrama de Bloques Sistema de Detección de Fallas Radar TPS-70.



Nota. Diagrama funcionamiento y composición del sistema de detección de fallas del radar TPS-70. Tomada de Technical manual Trasmitter Circuit diagrams CBRN-TPS70(V)5-TX.

Como muestra la Figura 6 se puede detallar un diagrama de bloques que representa el sistema de detección de fallas del radar TPS-70. Este diagrama es esencial para entender cómo los diferentes componentes del sistema interactúan entre sí para detectar y notificar fallas.

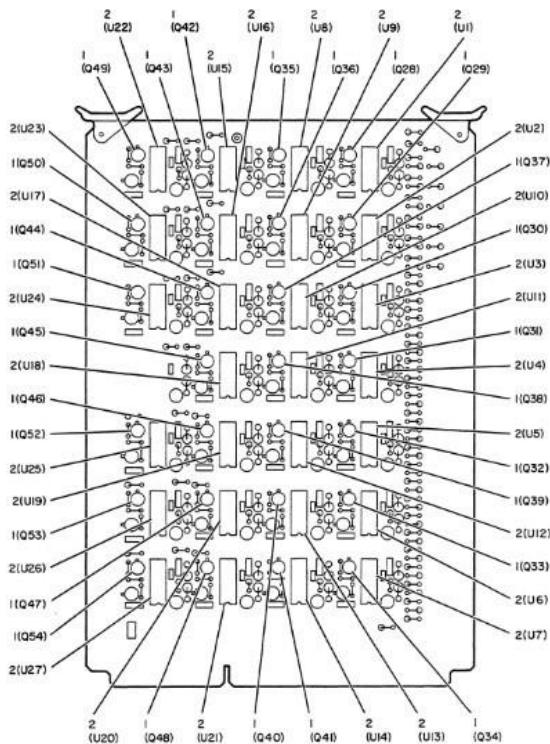
Este diagrama de bloques es fundamental para visualizar la estructura del sistema de detección de fallas y entender cómo cada componente contribuye al objetivo general de monitorear y notificar fallas en el radar TPS-70. Proporciona una visión clara de la integración y

el flujo de información entre los diferentes elementos del sistema, lo que es crucial para su<sup>31</sup> desarrollo, implementación y mantenimiento.

Cuando se detecta una falla, el módulo de comunicación SIM800L envía notificaciones a través de mensajes de texto o llamadas a los dispositivos designados. Además, una interfaz de usuario permite recibir alertas en tiempo real, facilitando la toma de decisiones. Todo el sistema está alimentado por una fuente de energía regulada que asegura su operación continua y estable. Este diagrama proporciona una visión clara de la integración y flujo de información entre los componentes, lo cual es esencial para el desarrollo y mantenimiento efectivo del sistema.

### **Circuito de Control**

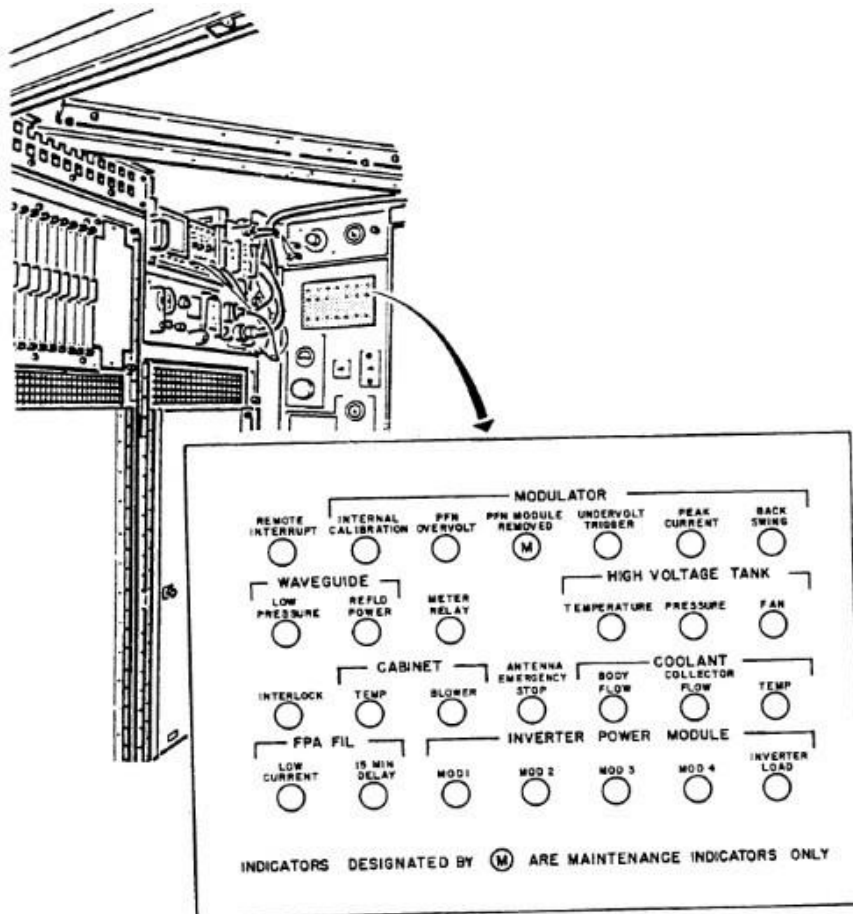
El circuito de control como se ha mencionado anteriormente es el encargado de recibir las señales de los diferentes sensores mecánicos y así enviar una señal para activar el contactor K1, permitiendo que la corriente fluya sin activar la alarma; pero, por el contrario, si recibe la señal de detección de fallas este envía una señal para desactivar el contactor K1, cortando así la corriente del loop y permitiendo así la activación de la alarma.

**Figura 7***Fault Monitor Board Assembly*

*Nota.* Composición física tarjeta Fault Monitor. Tomada de. Technical manual Trasmiter  
 Ilustratd Part Breakdown CBRN-TPS70(V)5-TX-4.

La figura 7 presenta una representación física de la placa del monitor de fallas (Fault Monitor Board Assembly). En la cual se podrá comprender la disposición y las conexiones de los componentes que constituyen la placa de monitoreo de fallas.

*Fault Monitor*



*Nota.* Composición física panel de fallas- Tomado de. *Technical manual Trasmiter Ilustratd Part Breakdown CBRN-TPS70(V)5-TX-4.*

La Figura 8 se logra observar el subsistema "Fault monitor" (monitor de fallas), dicho monitor es un panel ubicado dentro del sistema de transmisión del radar, lo cual fue diseñado por empresas Estadounidenses como Northrop Grumman; con el fin de dar un concepto claro al técnico del radar de dónde desprende una falla; dicho monitor es únicamente visual, y se enciende un led cuando un sistema o subsistema asociado falla.

### **Conjunto de Sensores Mecánicos**

El sistema de alarma "Loop 28 Vdc" está compuesto por 9 interlocks y 17 sensores mecánicos, diseñados para monitorear diversas variables críticas del radar TPS-70. Entre los sensores, se incluyen:

Collector Coolant Flow: Monitorea el flujo de refrigerante en el colector.

Coolant Body Flow: Controla el flujo de refrigerante en el cuerpo principal.

Coolant Temperature Flow: Supervisa la temperatura del refrigerante.

Cabinet Blower: Verifica el funcionamiento del ventilador en el gabinete.

Cabinet Temperature: Controla la temperatura dentro del gabinete.

High Voltage Tank Pressure: Mide la presión dentro del tanque de alto voltaje.

High Voltage Tank Temperature: Supervisa la temperatura del tanque de alto voltaje.

High Voltage Tank Fan: Asegura el funcionamiento del ventilador del tanque de alto voltaje.

Waveguide Low Pressure: Controla la presión baja en la guía de ondas.

FPA Filament Low Current: Monitorea el bajo flujo de corriente en el filamento del FPA.

FPA Filament 15-Minute Relay: Supervisa el tiempo de respuesta de 15 minutos del filamento del FPA.

Meter Relay: Verifica la lectura de relés.

Modulator Internal Calibration: Controla la calibración interna del modulador.

Modulator Inverter Load: Supervisa la carga del inversor del modulador.

Antenna Emergency Stop: Proporciona la capacidad de detener la antena en caso de emergencia.

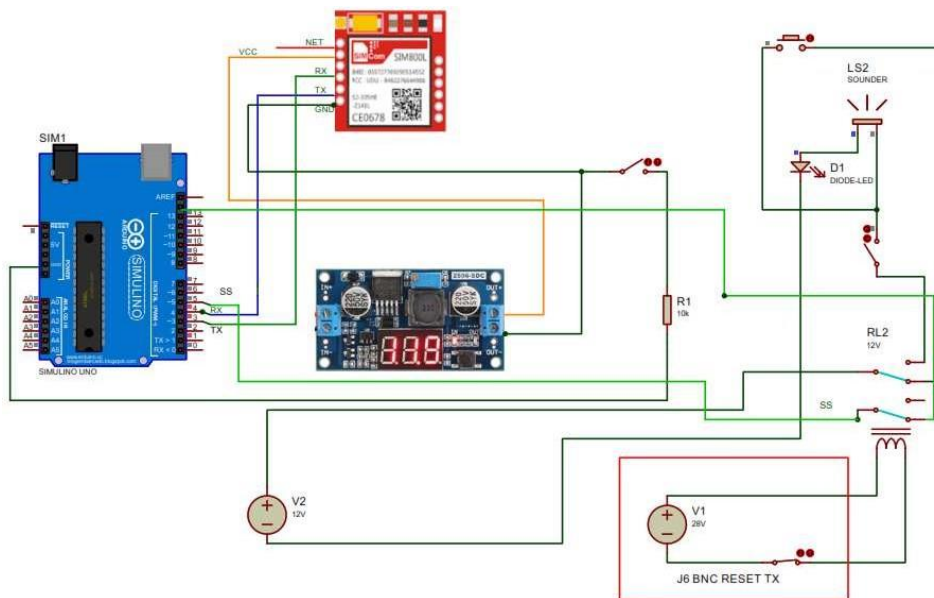
Remote Interrupt: Controla las interrupciones remotas.

El fallo de cualquiera de estos sensores genera una alerta en el sistema, pero no implica<sup>35</sup> que todo el radar se detenga inmediatamente. La configuración del "Loop 28 Vdc" permite que se tomen medidas preventivas antes de que la situación se agrave. En casos críticos, como la interrupción del flujo de refrigerante o fallos en la presión del tanque de alto voltaje, se detiene el sistema de manera automática para evitar daños mayores. Sin embargo, algunos sensores pueden fallar de manera individual sin comprometer el funcionamiento general del radar, permitiendo así realizar reparaciones programadas sin interrumpir las operaciones de defensa.

### Conexión del Prototipo de Alarma e Interfaz Radar

Figura 9

Diagrama Eléctrico Prototipo



Nota. Composición y distribución eléctrica del prototipo.

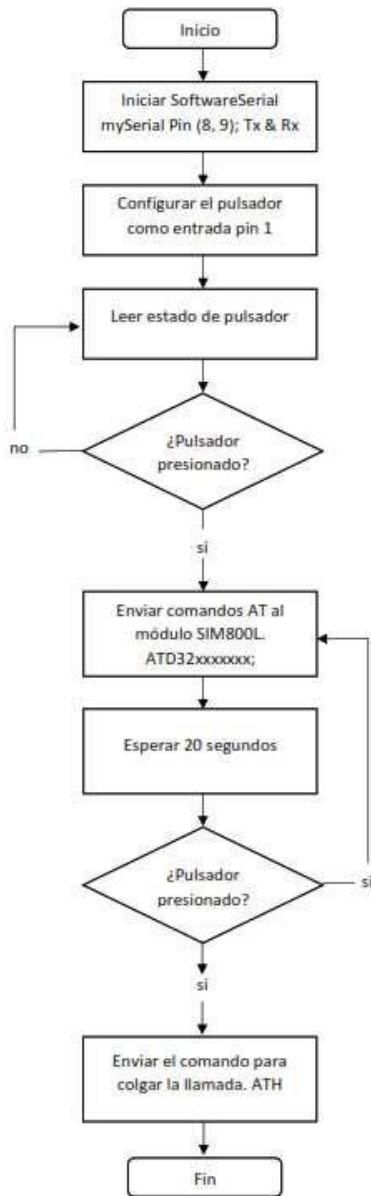
La figura 9 muestra el diagrama eléctrico del prototipo desarrollado para el sistema de alerta temprana destinado a la detección de fallas en el radar militar TPS-70. Este

diagrama es crucial para entender la interconexión de los distintos componentes eléctricos y electrónicos que conforman el prototipo, como la placa Arduino, el módulo SIM800L y otros elementos clave. El diseño del circuito es de autoría de los responsables del proyecto, destacándose por la integración de un sistema capaz de capturar una señal analógica, convertirla en digital y, finalmente, transmitirla mediante comunicación móvil. 36

## **Fase 2**

Diseño de software necesario para programar la placa Arduino y configurar el módulo SIM800L, permitiendo la comunicación inalámbrica y el envío de alertas en tiempo real.

Algoritmo Placa Arduino y Modulo SIM800L



Nota. Diagrama de bloques del fruncimiento del algoritmo de la placa Arduino y modulo SIM800L.

Se incluye la librería `SoftwareSerial` para permitir la comunicación serial con el módulo SIM800L, ya que los pines digitales 8 y 9 del Arduino se utilizan para la comunicación serie con el módulo.

Se define un objeto `mySerial` de la clase `SoftwareSerial` para manejar la comunicación con el módulo SIM800L.

Se define un pin (pulsador) como entrada, usando la resistencia interna de pull-up (`INPUT_PULLUP`), esto es una interpretación binaria que realiza la placa arduino, donde si en el pin seleccionado lee continuidad del cable el interpreta como 1 y no continua con la configuración del algoritmo, de lo contrario la interpretación lógica se convierte a 0; dando la indicación de realizar el proceso de algoritmo.

Se inicia la comunicación serial con el monitor serial a 9600 baudios (`Serial.begin(9600)`).

### ***Loop Principal***

Se lee el estado del pin pulsador (`val = digitalRead(pulsador)`).

Si el botón está presionado (valor de `val` es igual a 1), se llama a la función `llamar()`.

### ***Función Llamar***

Se imprime un mensaje en el monitor serial para indicar que se está inicializando la llamada.

Se realiza una pausa de 1 segundo (`delay(1000)`).

Se envía el comando "AT" al módulo SIM800L para realizar una prueba de handshake (`mySerial.println("AT")`).

Se llama a la función `updateSerial()` para manejar la comunicación serial y leer la respuesta del módulo SIM800L.

Se envía el comando "ATD3212084878;" al módulo SIM800L para realizar una llamada al número de teléfono especificado (`mySerial.println("ATD3212084878;")`).

Se espera 20 segundos (`delay(20000)`) para permitir que la llamada se realice.

Se envía el comando "ATH" al módulo SIM800L para colgar la llamada (`mySerial.println("ATH")`).

Se llama a la función `updateSerial()` para manejar la comunicación serial y leer la respuesta del módulo SIM800L.

### ***Función UpdateSerial***

Se realiza un pequeño retraso (`delay(500)`) para permitir que los datos estén disponibles para leer.

Se comprueba si hay datos disponibles en el puerto serial del Arduino (`Serial.available()`).

Si hay datos disponibles en el puerto serial del Arduino, se leen y se envían al puerto serial del módulo SIM800L (`mySerial.write(Serial.read())`).

Se comprueba si hay datos disponibles en el puerto serial del módulo SIM800L (`mySerial.available()`).

Si hay datos disponibles en el puerto serial del módulo SIM800L, se leen y se envían al puerto serial del Arduino (`Serial.write(mySerial.read())`).

El algoritmo proporciona una implementación para integrar la funcionalidad de llamadas telefónicas en proyectos de Arduino mediante el uso de un módulo GSM/GPRS como el SIM800L. Utiliza la comunicación serial para enviar comandos AT al módulo GSM/GPRS, lo que permite controlar el proceso de marcado y colgar llamadas de manera programática. Esta implementación demuestra la capacidad de los microcontroladores Arduino para interactuar con dispositivos externos y realizar tareas más avanzadas, como la comunicación celular, ampliando

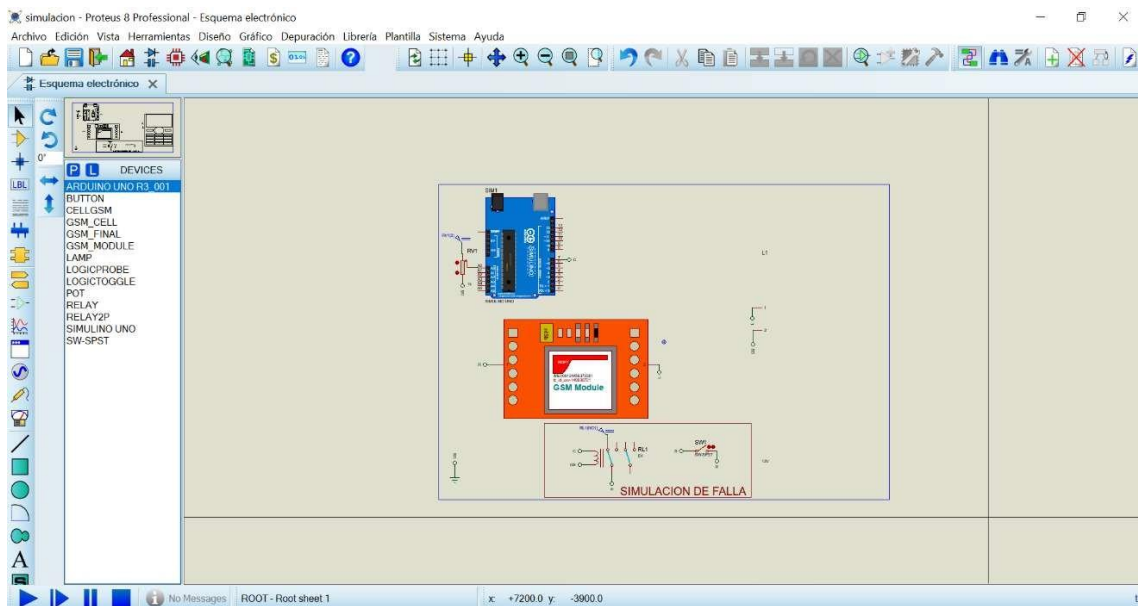
así las posibilidades de aplicaciones IoT y proyectos de automatización que requieren conectividad móvil.

Validar la efectividad del sistema de alerta temprana a través de pruebas, simulando diferentes escenarios de fallas en el radar TPS-70 y verificando la correcta recepción de las notificaciones de alerta en la interfaz de usuario.

Para el desarrollo de la presente fase se realizan y documentan las diferentes pruebas realizadas del sistema de alerta temprana, además de la creación de un plan de mejoras y manual de uso del prototipo.

### Figura 11

*Simulación Software Proteus.*

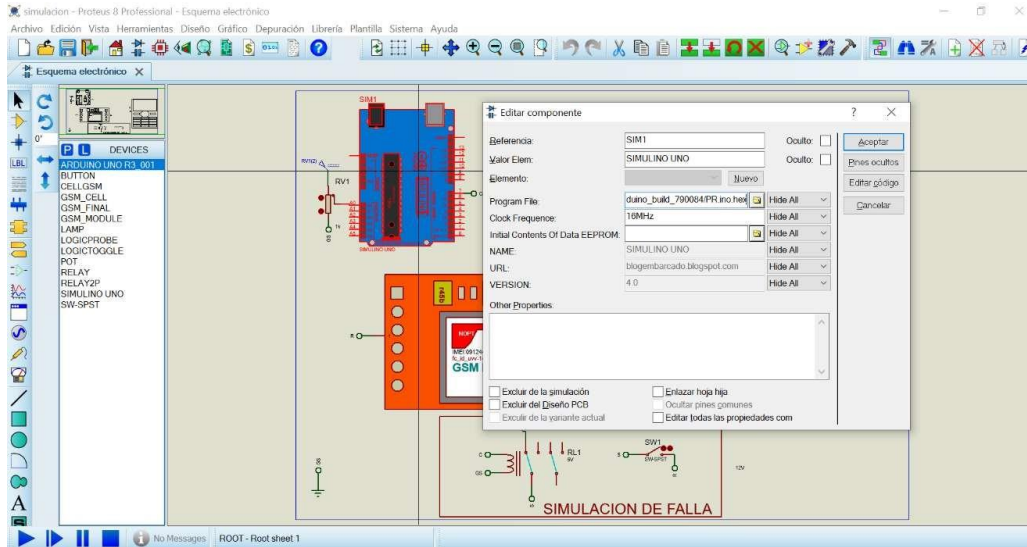


*Nota.* Simulación del prototipo.

Como lo muestra la figura 11 a través de captura de pantalla se puede observar el entorno en simulación del software Proteus, utilizado para simular el funcionamiento del prototipo del sistema de alerta temprana. En la simulación, se puede observar cómo el sistema de detección de fallas interactuando con el hardware simulado del radar TPS-70, permitiendo validar su



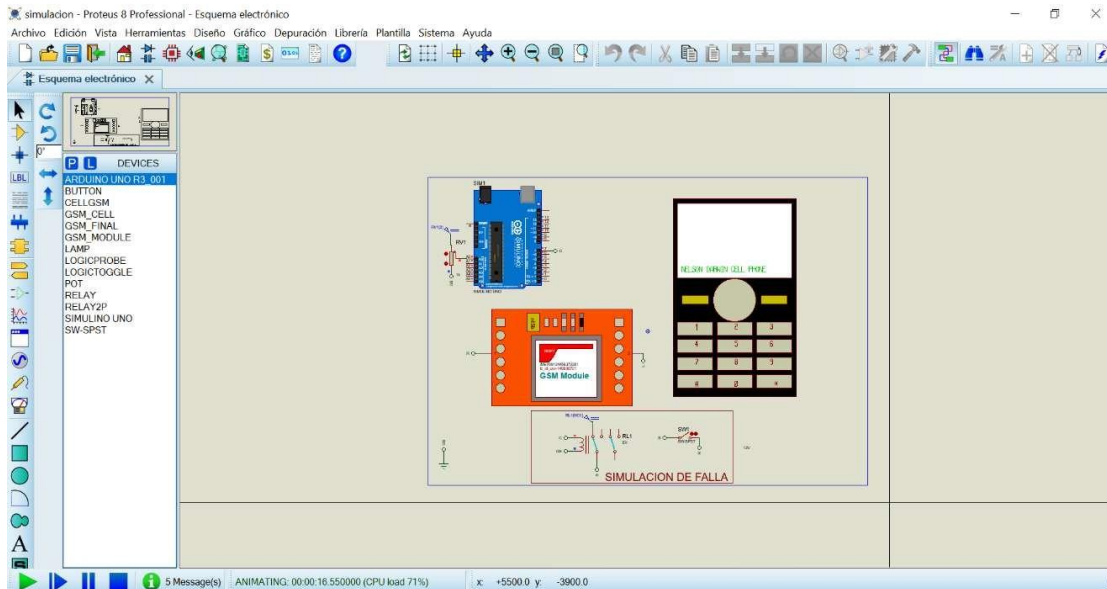
*Configuración de la Programación para la Simulación Software Proteus*



*Nota.* Sincronización de programación e interfaz.

La figura 13 revela la configuración de la programación para la simulación en software Proteus. En esta figura se presenta la configuración detallada de la programación en el entorno de simulación del software Proteus aquí se configuran los parámetros y se ajusta el código para que el entorno simulado refleje con precisión el comportamiento esperado del sistema de alerta temprana. Esta etapa permite realizar ajustes y correcciones antes de la implementación física, garantizando así la fiabilidad del prototipo.

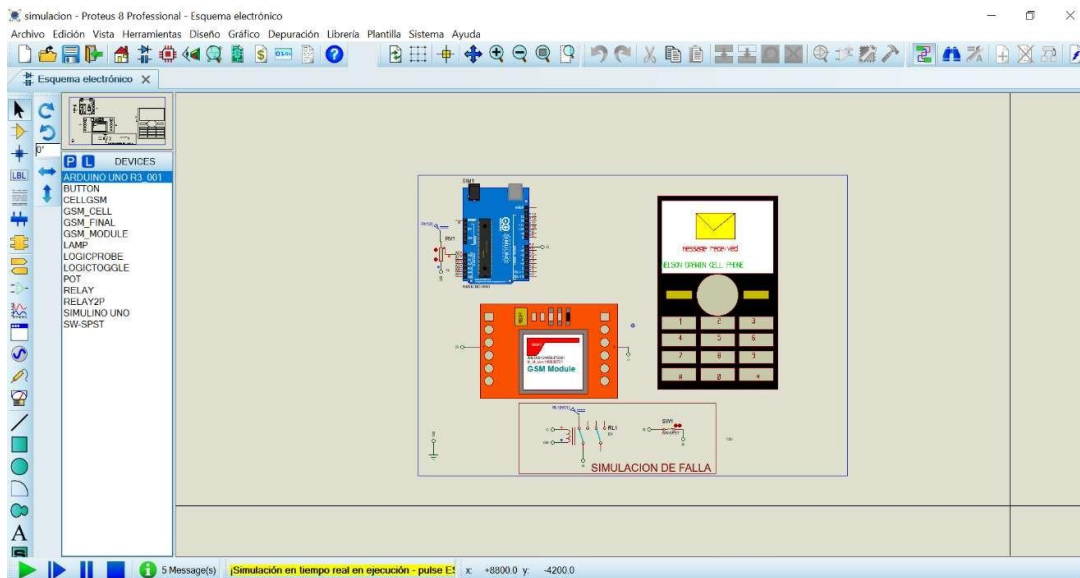
*Simulación Software Proteus Sistema en Normal Operación*



*Nota.* Resultados de la simulación estado normal operación.

La Figura 14 presenta el estado del sistema de alerta temprana durante la operación normal del radar. En esta fase, todos los componentes operan de manera adecuada, y el sistema monitorea el radar TPS-70 sin detectar anomalías. Esta simulación se lleva a cabo con el propósito de establecer una línea base de funcionamiento normal, que servirá como referencia para comparar los resultados de futuras pruebas de fallas.

*Simulación Software Proteus Sistema en Falla*



*Nota.* Resultados de la simulación estado sistema en falla.

La Figura 15 muestra la respuesta del sistema de alerta temprana ante una falla simulada en el radar TPS-70, utilizando el software Proteus. En esta ilustración, se observa cómo el sistema detecta la falla, activa la alarma y envía las notificaciones correspondientes. Esta simulación verifica la capacidad del sistema de alerta temprana para identificar y reaccionar de manera efectiva ante diversos escenarios de fallas.

El proceso de pruebas del funcionamiento del prototipo de llevar a cabo en dos etapas como se describen a continuación.

**Etapa 1 Preparación del entorno de pruebas**

Para realizar las pruebas del funcionamiento del sistema de alerta temprana con el radar TPS-70, se configurará el sistema desarrollado con Arduino y el módulo SIM800L, asegurando su correcto desempeño conforme a lo estipulado en el documento. Además, se comprobará la operatividad del radar militar TPS-70 para simular fallas durante las pruebas. Las pruebas se llevarán a cabo en un entorno controlado y seguro, evitando interferencias externas. Se conectarán los componentes de acuerdo con las especificaciones de integración descritas, garantizando una comunicación adecuada entre el sistema de alerta temprana y el radar TPS-70.

**Etapa 2 Pruebas del Funcionamiento Del sistema de Alerta Temprana con el Radar TPS-70**

Se simularán diversos escenarios de fallas en el radar TPS-70, como pérdida de señal, interferencias o fallos en componentes, utilizando los datos y parámetros especificados en el documento. El sistema de alerta temprana se activará para inducir los fallos planificados, observando su respuesta en términos de detección de fallas, generación de alertas y notificaciones correspondientes. Durante las pruebas, se registrará el tiempo de detección y la emisión de alertas para cada escenario simulado.

Posteriormente, los resultados serán analizados con el fin de evaluar la efectividad del sistema de alerta temprana en la identificación de fallas simuladas, y se identificarán posibles áreas de mejora en los procesos de detección, notificación o respuesta ante las diferentes situaciones.

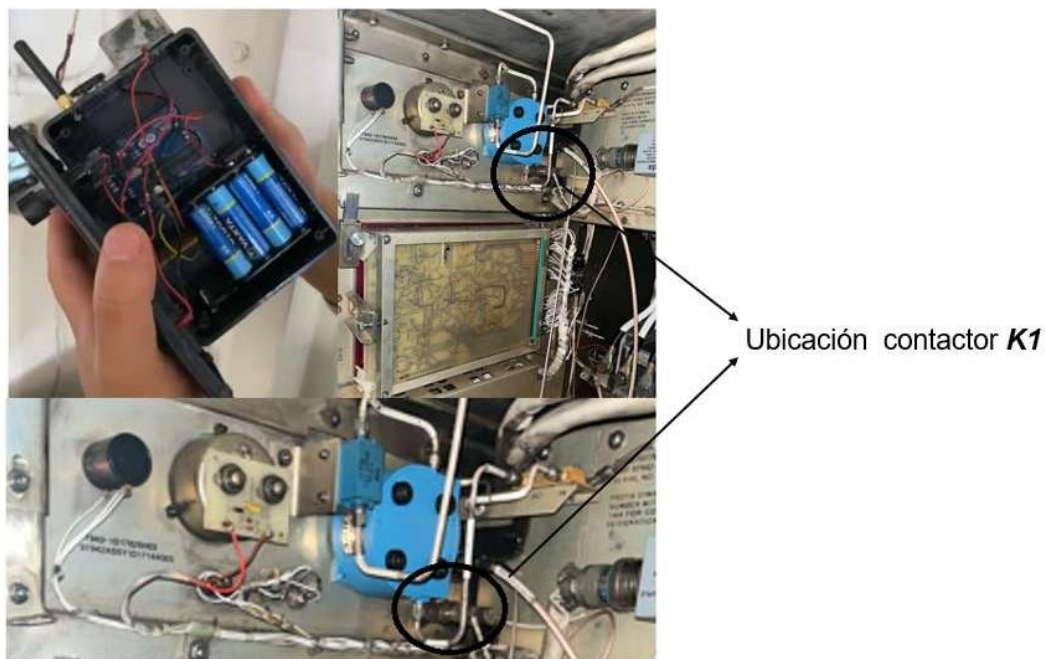
Este procedimiento permitirá validar la eficacia del prototipo en la detección de fallas, así como su capacidad para mejorar la eficiencia y confiabilidad operativa del radar militar TPS-70, basándose en la información disponible en el documento proporcionado.

### **Análisis de Resultados**

#### **Etapla 1 Preparación del Entorno de Pruebas**

#### **Figura 26**

*Interconexión Alarma con el Sistema Radar*



*Nota.* Evidencias del interconexión y montaje del prototipo.

La Figura 16 ilustra la interconexión entre el prototipo del sistema de alerta temprana y el radar TPS-70 a través del contactor (K1). En ella se muestra cómo se han integrado los componentes del sistema de alarma con el radar, garantizando la detección y transmisión adecuada de las señales de falla. Esta interconexión es crucial para el funcionamiento eficaz del

sistema de alerta temprana, ya que permite una comunicación fluida entre el hardware del radar y el sistema de alerta.

### Figura 37

#### *Simulación Falla Radar*



*Nota.* Evidencia de simulación de falla.

En esta figura se muestra la simulación de una falla en el radar TPS-70. La imagen destaca cómo el sistema de alerta temprana detecta y responde a la falla, activando la alarma correspondiente. Esta simulación es fundamental para validar la capacidad del sistema de identificar y reaccionar ante diversos tipos de fallas, garantizando su efectividad en condiciones operativas reales.

*Notificación Alarma*

*Nota.* Evidencia de la recepción de notificación

La Figura 18 muestra la notificación de alarma generada por el sistema de alerta temprana cuando se detecta una falla en el radar TPS-70. Esta notificación se envía a los dispositivos designados previamente alertando al personal responsable para que tomen las acciones correctivas necesarias. La capacidad de enviar notificaciones rápidas y precisas es esencial para minimizar el tiempo de inactividad del radar y mantener la operatividad del sistema.

**Fase 2 Pruebas del Funcionamiento del Sistema de Alerta Temprana con el Radar TPS-70**

El objetivo de las pruebas realizadas fue validar la efectividad del sistema de alerta temprana desarrollado para el radar militar TPS-70 en la detección anticipada de fallas, garantizando su funcionamiento óptimo y su capacidad para mejorar la eficiencia y confiabilidad del sistema.

Tiempo de Detección: El sistema de alerta temprana detectó las fallas en un tiempo

50

promedio que cumplió con los parámetros esperados, mostrando una rápida respuesta ante cada escenario de falla simulado.

Generación de Alertas: Todas las fallas simuladas provocaron la generación de alertas adecuadas, demostrando la capacidad del sistema para identificar y notificar las fallas de manera eficaz.

Notificaciones: Las notificaciones se enviaron correctamente a los dispositivos designados, asegurando que el personal responsable recibiera la información en tiempo real.

### **Figura 19**

*Montaje Final Prototipo Sistema de Alerta Sistema de Alerta Temprana*



Nota. Evidencia montaje final prototipo.

Como se muestra en la figura 19 se presenta el montaje final del prototipo del sistema 51

de alerta temprana integrado con el radar TPS-70. En esta imagen se pueden ver todos los componentes ensamblados y listos para ser probados en un entorno real. El montaje final es el resultado de un proceso meticuloso de diseño, simulación y pruebas, asegurando que el sistema esté completamente funcional y listo para mejorar la seguridad y eficiencia del radar TPS-70.

### **Plan de Mejoras**

El plan de mejoras para el prototipo de sistema de alerta temprana del radar militar TPS-70 se centra en optimizar la eficiencia y la fiabilidad del sistema. Inicialmente se llevará a cabo un análisis detallado del estado actual identificando áreas de debilidad y recopilando retroalimentación de usuarios y expertos. Se revisarán y actualizarán los requisitos del sistema, ajustándolos según las necesidades del usuario y las capacidades de Arduino y el módulo SIM800L. La optimización del código y la implementación de algoritmos más eficientes mejorarán la precisión de la detección de fallas. Además, se evaluará la posibilidad de actualizar el hardware para aumentar la capacidad de procesamiento. La incorporación de nuevas funcionalidades, una interfaz de usuario mejorada y pruebas extensivas garantizarán un sistema más robusto. Se establecerá un plan de contingencias y se evaluará el impacto de las mejoras después de la implementación, proporcionando una base sólida para el control y seguimiento continuo del proyecto.

### **Plan de Mejoras a Corto Plazo**

En el corto plazo, se priorizará la mejora del Prototipo de Sistema de Alerta Temprana para el radar militar TPS-70. Se realizará una evaluación detallada del rendimiento actual, identificando áreas críticas y ajustando los requisitos del sistema según las necesidades

operativas. Se optimizará el código y se implementarán algoritmos mejorados para fortalecer la detección de fallas. 52

### **Plan de Mejoras a Mediano Plazo**

El plan de mejoras a mediano plazo para el prototipo de sistema de alerta temprana del radar militar TPS-70 se extiende a dos años y se enfoca en tres áreas clave. En primer lugar, se llevará a cabo una revisión completa de la arquitectura del sistema para garantizar escalabilidad y adaptabilidad a futuras tecnologías. Luego, se implementarán algoritmos más avanzados para mejorar la precisión de la detección de fallas. Además, se explorará la integración de tecnologías emergentes que puedan potenciar el rendimiento del sistema. Este enfoque estratégico permitirá una evolución sostenible del prototipo, con un control continuo y la capacidad de ajustarse a cambios tecnológicos y operativos.

### **Plan de Mantenimiento**

El plan de mantenimiento se estructura en torno a garantizar la confiabilidad operativa y el óptimo rendimiento del sistema de alerta temprana. Se implementarán diversas prácticas para prever averías y mantener el equipo en condiciones ideales.

#### ***Revisiones y Mantenimiento del Hardware***

Se realizarán revisiones mensuales para inspeccionar visualmente los componentes hardware, buscando posibles desgastes o conexiones sueltas.

Anualmente, se llevará a cabo un mantenimiento profundo, incluyendo la limpieza de componentes.

#### ***Actualización y Mejora del Software***

Cada seis meses, se implementarán actualizaciones de software para incorporar mejoras en algoritmos y nuevas funcionalidades.

Se establecerá un proceso de retroalimentación continua con usuarios finales para<sup>53</sup> identificar posibles mejoras en la interfaz y la usabilidad.

### ***Pruebas de Rendimiento Programadas***

Trimestralmente, se realizarán pruebas de rendimiento para evaluar la capacidad de detección de fallas y la respuesta del sistema.

Anualmente, se llevarán a cabo simulaciones en entornos controlados para verificar la robustez del sistema en diferentes escenarios.

### ***Capacitación del Personal***

Cada cuatro meses, se proporcionará capacitación al personal encargado del mantenimiento y operación del sistema.

### ***Respuesta Rápida ante Contingencias***

Se establecerá un protocolo de respuesta rápida para abordar contingencias inesperadas, minimizando tiempos de inactividad del prototipo.

Se implementó un sistema de alerta temprana basado en Arduino y el módulo SIM800L para la detección anticipada de fallas en el radar militar TPS-70, cumpliendo con el objetivo de diseñar y construir un prototipo funcional para el monitoreo de fallas.

La metodología de desarrollo utilizada permitió diseñar, construir y validar un prototipo que fue probado en escenarios simulados, demostrando su capacidad para detectar fallas en el radar TPS-70 y activar las alertas correspondientes.

Las pruebas realizadas confirmaron que el prototipo es efectivo en la detección anticipada de fallas bajo condiciones controladas, logrando emitir notificaciones de manera adecuada cuando se simulaban problemas en el radar.

Aunque se verificó el correcto funcionamiento del prototipo en las simulaciones, no se realizaron pruebas en entornos operativos reales, por lo que no es posible asegurar mejoras en la confiabilidad del radar TPS-70 a largo plazo ni en condiciones reales de operación.

La investigación y el desarrollo del prototipo sentaron una base sólida para futuras pruebas y mejoras, especialmente en la aplicación del sistema en condiciones de campo, donde podría evaluarse su impacto en la reducción de fallas y en la implementación de un mantenimiento preventivo más eficiente.

El sistema desarrollado demostró ser una herramienta prometedora para el monitoreo de fallas en radares, aunque se requiere continuar con más pruebas y ajustes para evaluar su efectividad total y garantizar su viabilidad en operaciones reales.

- alcántara suárez, e. j. (09 de enero de 2023). *universitat oberta de catalunya*. universitat oberta de catalunya. <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/147218>
- alonso cerpa, j. l. (2015). *universidad de la laguna* . <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/6842>
- alonso cerpa, j. l. (2015). *universidad de la laguna* . <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/6842>
- ani, u. p. (abril de 2019). *research gate*. research gate.  
[https://www.researchgate.net/publication/332169085\\_a\\_review\\_of\\_critical\\_infrastructure\\_protection\\_approaches\\_improving\\_security\\_through\\_responsiveness\\_to\\_the\\_dynamic\\_modelling\\_landscape](https://www.researchgate.net/publication/332169085_a_review_of_critical_infrastructure_protection_approaches_improving_security_through_responsiveness_to_the_dynamic_modelling_landscape)
- araujo, a. (30 de diciembre de 2022). *applied sciences*. applied sciences.  
<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1930>
- electro pro*. (23 de 12 de 2017). electro pro.  
<https://electropro.pe/image/data/imgproductos/140.%20m%c3%b3dulo%20gsm%20sim800/sim8001.pdf>
- empower scientists and artists of the future (arduino)*. (2024). arduino.  
<https://www.arduino.cc/reference/en/>
- guijarro, f. i. (abril de 2017). *universidad politecnica salesiana*. diseño de un prototipo de pruebas de un radar monoestatico utilizando radio definida por software.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14151/1/ups-gt001828.pdf>
- herrador, r. e. (13 de noviembre de 2009). [https://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/arduino\\_user\\_manual\\_es.pdf](https://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/arduino_user_manual_es.pdf)
- janes grup* . (2021). <https://www.janes.com/>

khaled, a. e., helal, a., lindquist, w., & lee, c. (10 de abril de 2018). *ieeexplore*. ieeexplore.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8334820>

lockheed martin . (2024). lockheed martin. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/tpq-53.html>

londoño, m. f. (04 de 03 de 2019). *plan energético nacional 2020- 2050*.

[https://www1.upme.gov.co/demandaenergetica/pen\\_documento\\_para\\_consulta.pdf](https://www1.upme.gov.co/demandaenergetica/pen_documento_para_consulta.pdf)

mecafenix, i. (15 de enero de 2019). *el radar ¿qué es y como funciona?*

<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/el-radar/>

medina delgado, b. (15 de noviembre de 2011). *revista gti*. revista gti.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/4941>

mindefensa. (22 de julio de 2024). mindefensa. <https://www.mindefensa.gov.co/prensa/noticia-visualizacion/lanzamiento-hub-de-innovacion-mindefensa>

northrop grumman. (2023). <https://www.northropgrumman.com/>

ojeda, f. (10 de 2017). *quito: universidad tecnológica indoamérica*.

<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/706>

ortiz, u. (03 de 2017).

[https://cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/1088/1/la%20defensa%20cibernetica%20ti%20rrii%202017\\_ortiz\\_6.pdf](https://cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/1088/1/la%20defensa%20cibernetica%20ti%20rrii%202017_ortiz_6.pdf)

soler, j. l. (22 de agosto de 2019). *mdpi*. mdpi. <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/9/1035>

staddon, e. (23 de julio de 2021). *applied sciences*. applied sciences.

<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/16/7228>

texas instruments. (11 de 2023). texas instruments.

[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1698825313397&ref\\_url=https%253a](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1698825313397&ref_url=https%253a)

%252f%252fwww.ti.com%252fproduct%252flm2596%253futm\_source%253dgoogle 57

%2526utm\_medium%253dcpc%2526utm\_campaign%253dapp-null-null-gpn\_en-cpc-pf-  
google-eu\_cons%2526utm\_content%25

yulia, h., & pramono, s. (12 de mayo de 2023). *aip conference proceedings*. aip conference proceedings. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2674/1/030041/2890374/iot-based-early-warning-system-of-landslide-and>