

SISTEMA PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN EL RECUBRIMIENTO DE TUBERÍAS SUBTERRÁNEAS CON BASE EN UN ROBOT MÓVIL Y BAJO LA PERSPECTIVA DEL INTERNET DE LAS COSAS

SYSTEM FOR THE DETECTION OF FAULTS IN THE COATING OF UNDERGROUND PIPELINES BASED ON A MOBILE ROBOT AND UNDER THE PERSPECTIVE OF THE INTERNET OF THINGS

Enrique Gerardo Hernández Vega

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chihuahua
ehernand@itchihuahua.edu.mx

Luis Guillermo Floriano Gavaldón

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chihuahua
lflorian@itchihuahua.edu.mx

Wendy Arlet Portillo González

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chihuahua
waportillo@itchihuahua.edu.mx

Francisco Javier Álvarez Prieto

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chihuahua
fjalvarezp@itchihuahua.edu.mx

Jesús Alonso Reyes Porras

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chihuahua
jareyes@itchihuahua.edu.mx

Resumen

En este trabajo se presentan los avances de una nueva forma de diagnosticar el estado en el que se encuentra el recubrimiento de las tuberías subterráneas, de una manera autónoma por medio de un robot móvil con la capacidad de automatizar la medición de gradientes de voltaje que hoy en día se realiza de manera manual, con la técnica de Gradiente de Voltaje de Corriente Continua.

Dicho sistema operando bajo la perspectiva del Internet de las cosas, permite el registro y almacenamiento de dichas mediciones, enviándolas vía internet a una interfaz gráfica de usuario desarrollada en una plataforma web. Esto con la finalidad

de desarrollar una herramienta confiable que realice la medición y el registro de gradientes de potencial a lo largo de toda la tubería, reduciendo con esto la carga de trabajo del operador y evitando posibles errores humanos.

Palabras Claves: DCVG, internet de las cosas, robot móvil, tuberías subterráneas.

Abstract

In this work the advances of a new form of diagnosis of the state in which the coating of the underground pipes is found are presented, in an autonomous way by means of a mobile robot with the capacity to automate the measurement of gradients of voltage that today is done manually with the Continuous Current Voltage Gradient. This system, operating in the perspective of the internet of things, allows the recording and storage of measurements, sending them via the Internet to a graphical user interface developed on a web platform. This in order to develop a reliable tool that performs the measurement and recording of potential gradients along the entire pipeline, thereby reducing the workload of the operator and avoiding possible human errors.

Keywords: DCVG, internet of things, mobile robot, underground pipes.

1. Introducción

Para prevenir los daños causados por corrosión externa, las tuberías subterráneas son protegidas con una combinación de revestimientos dieléctricos y sistemas de protección catódica. Aunque los revestimientos generalmente proporcionan una excelente protección, la mayoría de ellos se deterioran con el tiempo debido a la absorción de agua, presiones de la tierra, daños provocados por las raíces de los árboles, ataques bacteriológicos y otras causas. Estos daños permiten que la corrosión ocurra en los lugares en donde se producen contactos entre el medio corrosivo, la tierra en este caso, y las superficies del acero expuestas por los defectos del revestimiento [PCS, 2018].

Por esta razón, es importante tener conocimientos generales de los elementos fundamentales en la corrosión como son el suelo y la tubería, de los conceptos básicos sobre los tipos, formas y comportamiento de este fenómeno y las

alternativas de prevención que permitan minimizar las pérdidas económicas que a través del tiempo afectan a la industria y a la sociedad. Por lo tanto, es necesario conocer las técnicas para evaluar y diagnosticar el estado en el que se encuentra el recubrimiento de las tuberías.

Una manera de detectar si el recubrimiento de una tubería presenta daños es mediante la técnica de inspección DCVG [Nakamura, 2006]. Los defectos se localizan examinando los gradientes de potencial en la tierra que cubre las tuberías para determinar la dirección del flujo de las corrientes de protección catódica [Protan, 2007]. El proceso de inspección DCVG se conforma de 6 etapas, las cuales se realizan de forma manual.

La primera etapa consiste en el estudio preliminar de la tubería, en la segunda etapa se procede a señalar la tubería con estacas ubicadas cada 30 metros de distancia. En la tercera etapa se configuran los ciclos de interrupción de los temporizadores los cuales tendrán una relación determinada de encendido/apagado para evitar la despolarización significativa de la tubería.

En la cuarta etapa se inspecciona la tubería utilizando el medidor de gradiente de potencial. La magnitud del gradiente de potencial en el electrólito en diversas direcciones ayuda a determinar el estado de conservación del revestimiento [Ojeda, 2016]. El empleo de dicho instrumento permite obtener información del tamaño, forma y severidad de cada defecto, mientras más grande es el defecto mayor es el flujo de corriente [Montenegro, 2001]. Sin embargo, los resultados de medición dependen significativamente de las propiedades del medio ambiente (resistividad del subsuelo) y pueden variar con las condiciones climáticas por lo que las mediciones se pueden subvalorar o sobrevalorar [Chacón, 2014]. En la quinta etapa se coloca una estaca sobre el punto de ubicación de cada defecto para facilitar la identificación al momento de realizar la reparación. Al finalizar la jornada de trabajo de campo, el operador exporta los datos al software destinado al análisis de la información.

Finalmente, mediante el empleo del software (CIPS & DCVG) se procede a analizar la información revelada y determinar el estado de conservación del revestimiento. A través de una serie de gráficos se determinan cuáles son las zonas más

comprometidas y cuáles son los defectos que deben ser reparados en lo inmediato y/o a mediano plazo [Velázquez, 2010]. En la figura 1 se muestra un operador con dos electrodos de referencia y un voltímetro llevando a cabo el proceso de detección de fallas, utilizando la técnica DCVG.



Figura 1 Inspección DCVG realizada por personal capacitado.

En la actualidad la robótica móvil se ha desarrollado para un sinnúmero de soluciones particulares [Chávez, 2012]. Los robots móviles se caracterizan por su capacidad de desplazarse de forma autónoma en un entorno desconocido o conocido sólo parcialmente. Sus aplicaciones cubren una gran variedad de campos, entre los cuales se incluyen trabajos subterráneos, tareas submarinas, misiones espaciales y exploración planetaria, vigilancia e intervención de seguridad, aplicaciones militares, y otros más. En todas estas aplicaciones la justificación más importante para la aplicación de la robótica es la dificultad o imposibilidad de intervención humana [González 2015]. Dichas aplicaciones acompañadas del uso de Internet para permitir que las máquinas y los objetos inteligentes se comuniquen y coordinen entre ellos permite el desarrollo de nuevas aplicaciones y mejora de las aplicaciones ya existentes [Bonilla 2016].

La IEEE tiene dos definiciones del Internet de las cosas (IoT), las cuales están en función del entorno en que se maneje este concepto. Para un entorno pequeño, la IEEE hace la siguiente definición: El IoT es una red que conecta al Internet “cosas” que son identificables de manera única. Estas “cosas” tienen capacidades de manejo de transductores (sensores/actuadores) y potencial de programación.

Basados en la identificación única y la capacidad de sensar, la información relativa a la “cosa” puede ser obtenida y el estado de la “cosa” puede ser visto, analizado o cambiado por cualquiera, dondequiera y en cualesquiera tiempos [Minerva, Biru, Rotondi, 2015]. La segunda definición de la IEEE es para un entorno grande y considera una mayor cantidad de elementos en la caracterización tanto de las “cosas” como de la red, así como el aspecto de seguridad en el manejo de la información relacionada con las “cosas”. La definición relacionada a un entorno pequeño es la que se maneja en este trabajo.

En este artículo se presenta un avance del sistema para automatizar el proceso de detección de fallas en los recubrimientos de las tuberías subterráneas, mediante la elaboración de un robot móvil capaz de llevar a cabo las mediciones de gradientes de voltaje, de manera semejante a como se hace en la técnica DCVG. Dicho sistema opera bajo la perspectiva del internet de las cosas, lo cual permite tener acceso a la información recabada por el robot y el control remoto del mismo vía internet. Almacenando los datos en una interfaz gráfica de usuario desarrollada en una plataforma web, para el análisis de la información y toma de decisiones respecto a las acciones de mantenimiento de la tubería. El robot móvil actualmente es capaz de realizar la lectura de los gradientes de potencial, sin embargo, presenta problemas para realizar la inspección de manera autónoma debido a que no cuenta con un sistema para localizar la tubería y no es capaz de desviar su trayectoria y posteriormente regresar para seguir con su camino, lo cual no permite la evasión de obstáculos, solo la detección de estos. Por tal motivo necesita la intervención humana para su colocación al inicio de la tubería y en caso de que sea necesario esquivar un obstáculo, lo cual se puede realizar manualmente o vía internet.

2. Métodos

Para aplicar la técnica de inspección no invasiva DCVG, es necesario que la tubería cuente con un sistema de protección catódica. Dicho sistema debe contar con los elementos que se muestran en la figura 2.

En la realización de las pruebas, se utilizó como lecho anódico una varilla de acero de una longitud de 1 metro, la cual fue colocada a una profundidad de 30

centímetros, en un lugar ubicado a una distancia de 2 metros de donde está enterrada la tubería. Dicha varilla se conectó a la terminal positiva de una fuente de alimentación de 12 VDC a 2.0 Ah, la terminal negativa de la batería se conectó a un interruptor asíncrono el cual fue implementado con un microcontrolador PIC18F4550 y un módulo de un relevador, cuya función es permitir el flujo de corriente a través de la tubería por un lapso de 0.8 segundos cada 1.2 segundos.

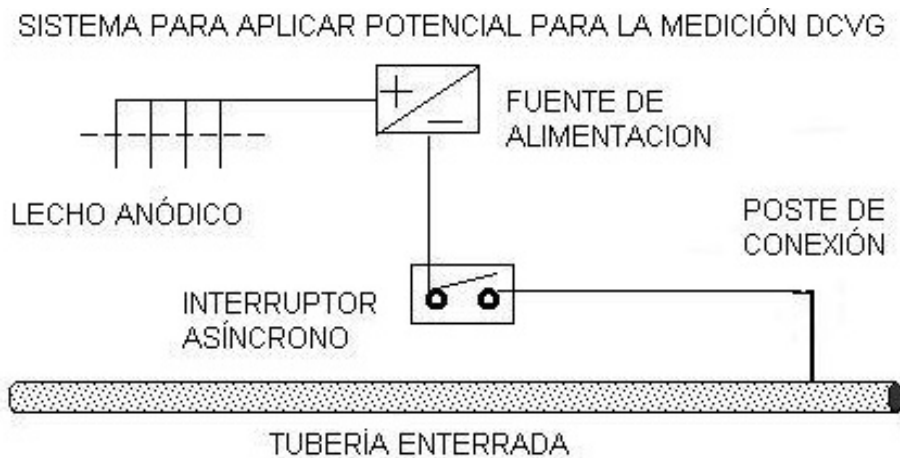


Figura 2 Sistema de protección catódica para una tubería enterrada.

En la figura 3 se muestra el diagrama a bloques del interruptor asíncrono, mientras que el diagrama de flujo de la tarea que es llevada a cabo por el microcontrolador se muestra en la figura 4. Se utilizó la interrupción del timer 0, la cual se configuró para que se accionara cada 0.2 segundos y mediante el uso de un contador se logró obtener los tiempos de encendido/apagado que se requieren para implementar el sistema de protección catódica.

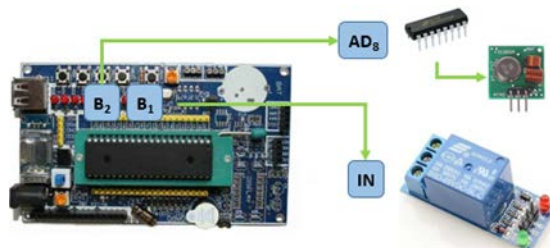


Figura 3 Diagrama a bloques del interruptor asíncrono.

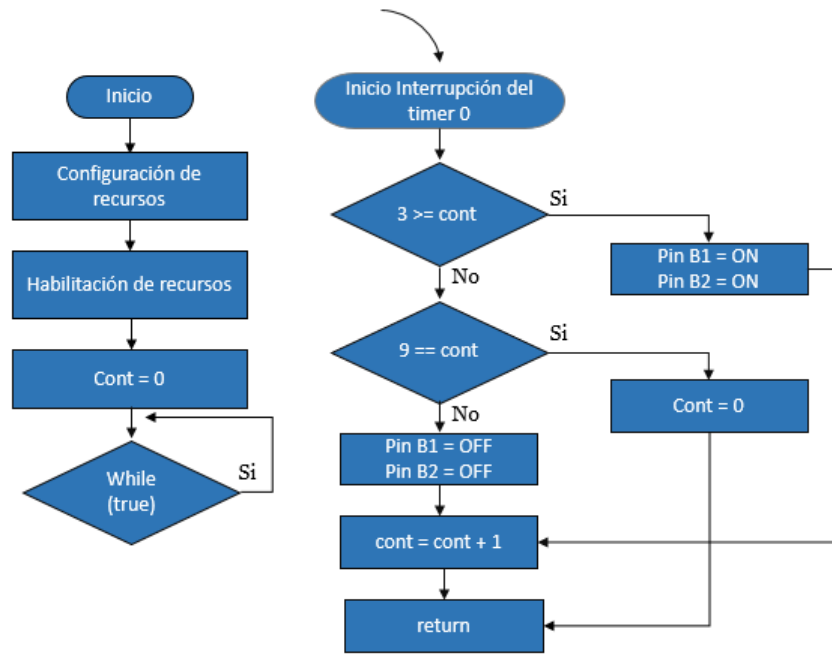


Figura 4 Diagrama de flujo de la tarea principal del PIC18F4550.

Durante los 0.8 segundos que circula corriente a través de la tubería, se presentaran líneas de isotopotencial alrededor de cada una de las fallas existentes en el recubrimiento de la tubería. La correcta medición de dichos gradientes de potencial permite la detección de las fallas. Debido a la presencia de alguna interferencia eléctrica en el suelo es necesaria la sincronización de las mediciones con el periodo de tiempo en el cual se presentan las líneas de isotopotencial, por lo cual fue necesario incluir en el sistema un dispositivo que permitiera al robot móvil conocer el momento en el cual debía realizar las mediciones. Esto se logró mediante la implementación de módulos de comunicación de radiofrecuencia a 433 MHz, ubicando el módulo emisor en el interruptor asíncrono y el módulo receptor en el robot móvil, como se muestra en la figura 5.

Para la medición de los gradientes de potencial se diseñaron y elaboraron dos electrodos de referencia, figura 6, los cuales mediante un proceso electroquímico permiten medir los gradientes de potencial presentes en el suelo. Se utilizó un tubo de PVC de ½” de 15 cm de largo al cual se le acopló una tapadera del mismo material con un orificio en el centro por donde pasa un alambre de cobre de 15 cm de largo con diámetro de 2.05 mm el cual está inmerso en sulfato de cobre.

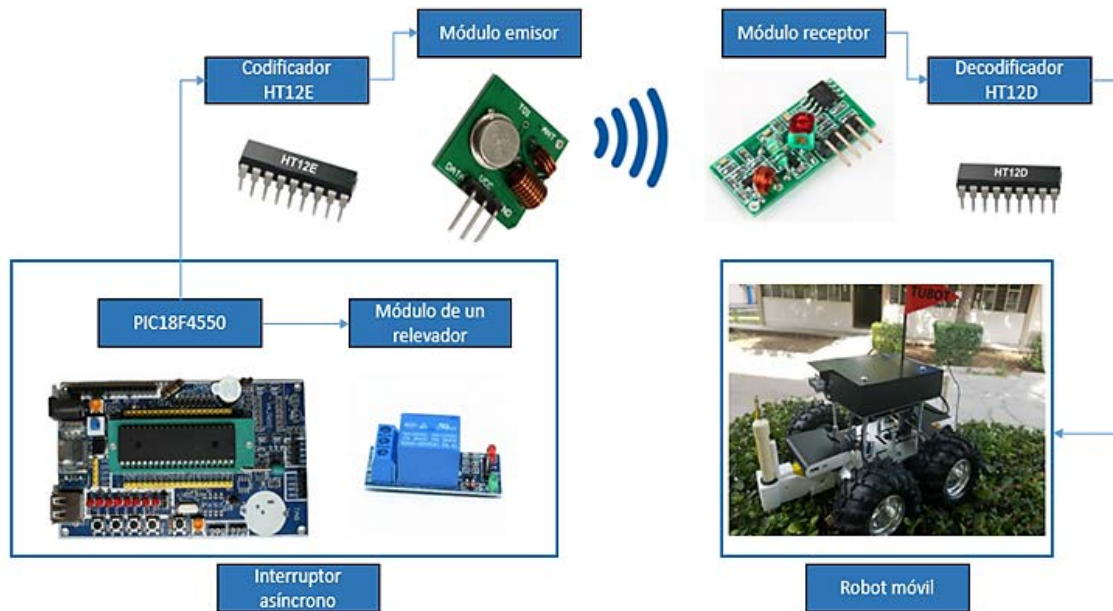


Figura 5 Diagrama a bloques del sistema de sincronización.

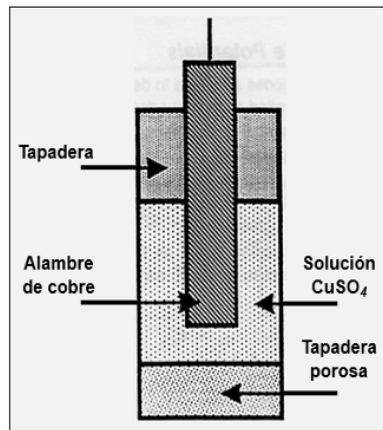


Figura 6 Electrodo de referencia.

En el otro extremo del tubo se colocó una tapadera con forma de punta la cual fue elaborada con madera para permitir que la solución trasminara y se mantuviera húmeda. Finalmente, a estos electodos se les acopló una cremallera para que pudieran ser manipulados fácilmente por el robot móvil.

Para el posicionamiento de los electodos se diseñó y elaboró un mecanismo mediante 3D SolidWorks, el cual se muestra en la figura 7. El mecanismo consta de una base para soportar un electrodo y un motor de corriente continua a 5 VDC al cual se le acopló un piñón para recorrer la cremallera del electrodo, figura 8.

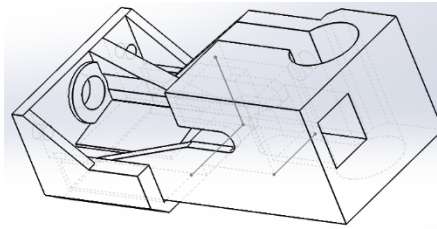


Figura 7 Modelado del mecanismo para el posicionamiento de los electrodos.

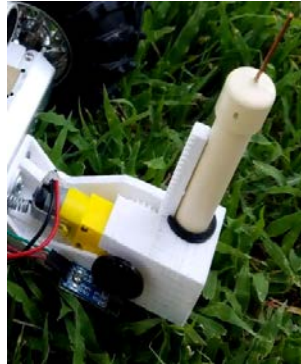


Figura 8 Sistema para el posicionamiento de los electrodos.

Para controlar la distancia que se desplazan los electrodos, se utilizó un disco con 20 perforaciones y un opto-interruptor HR0062 conectado a uno de los pines digitales de un Arduino nano, lo cual permite estimar la posición de los electrodos. Debido a que la magnitud de los gradientes de potencial presentes en el suelo se encontraba en el orden de los milivolts y era una señal que cambiaba de polaridad se realizó un circuito para el acondicionamiento de dicha señal, el cual amplificaba diez veces la señal proveniente de los electrodos y posteriormente cambiaba su nivel de referencia a 2.5 volts lo que permitía poder procesar valores positivos y negativos de la señal con un convertidor analógico-digital convencional.

Tomando en cuenta que los valores leídos por encima de 2.5 volts corresponderían a valores negativos y los valores leídos por debajo de los 2.5 volts corresponderían a valores positivos. Debido a que dicho acondicionador fue implementado con amplificadores operacionales bipolares TL084 se realizó una fuente bipolar de +5 volts y -5 volts a partir de la fuente de alimentación del robot móvil la cual era una batería de 12 VDC a 1.3 Ah. El circuito eléctrico que permite el acondicionamiento de la señal se muestra en la figura 9.

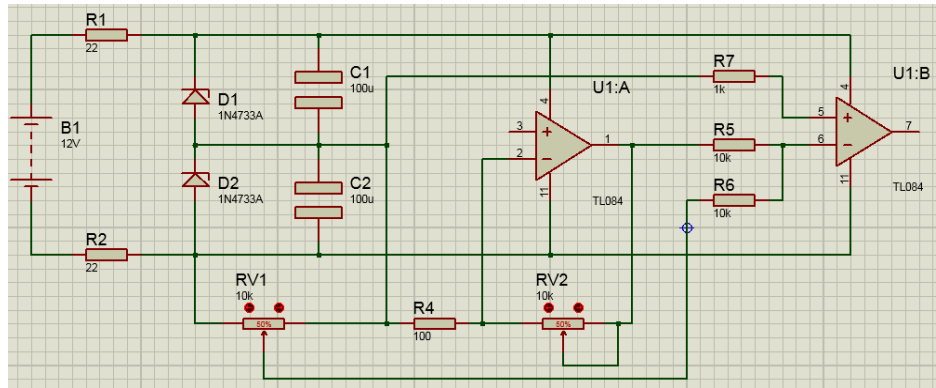


Figura 9 Diagrama del circuito para el acondicionamiento de los gradientes de potencial.

Una vez completado el sistema de posicionamiento de los electrodos se integraron 3 módulos Puente H L293 para controlar el giro y velocidad de los motores los cuales eran los encargados de mover los electrodos y del desplazamiento del robot móvil. Adicionalmente, se colocó un módulo sensor ultrasónico SRF04 para la detección de obstáculos presentes en el camino del robot, evitando con esto colisiones del mismo. El diagrama a bloques se muestra en la figura 10.

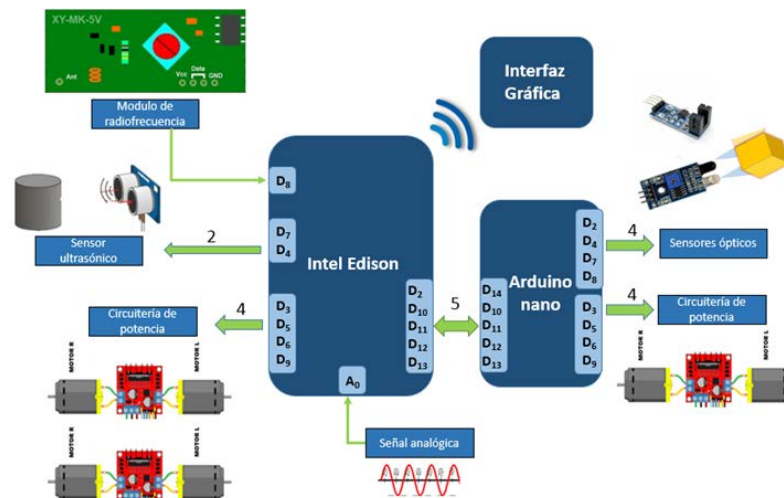


Figura 10 Diagrama a bloques de los componentes del robot móvil

Se realizó una arquitectura de software para el control de cada uno de los recursos utilizados, implementándola en una tarjeta de desarrollo Intel Edison y un Arduino nano, esto debido a que en una sola plataforma no era posible la manipulación de todos los sensores y actuadores utilizados.

En la figura 11 se muestra una representación gráfica de las funciones realizadas por el Arduino nano, el cual recibía comandos enviados por la Intel Edison a través del protocolo de comunicación SPI, lo que posteriormente generaba una interrupción en éste, figura 12, para poder llevar a cabo la tarea solicitada. Una vez que esta era completada se le indicaba a la Intel Edison por medio del pin 14. Debido a la manera en que estaba distribuido el control de sensores y actuadores en las dos tarjetas utilizadas, algunas tareas necesitaban más información que otras.

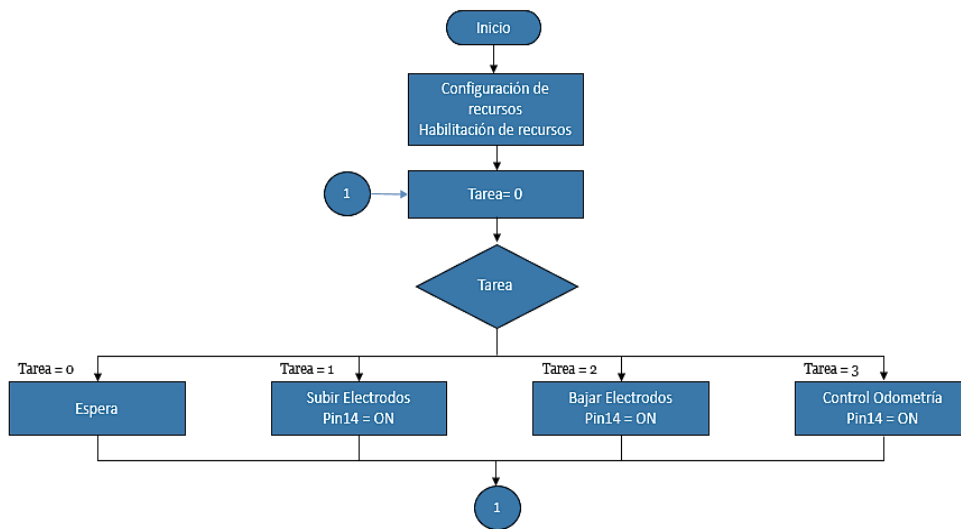


Figura 11 Diagrama de flujo de la tarea principal del Arduino nano.

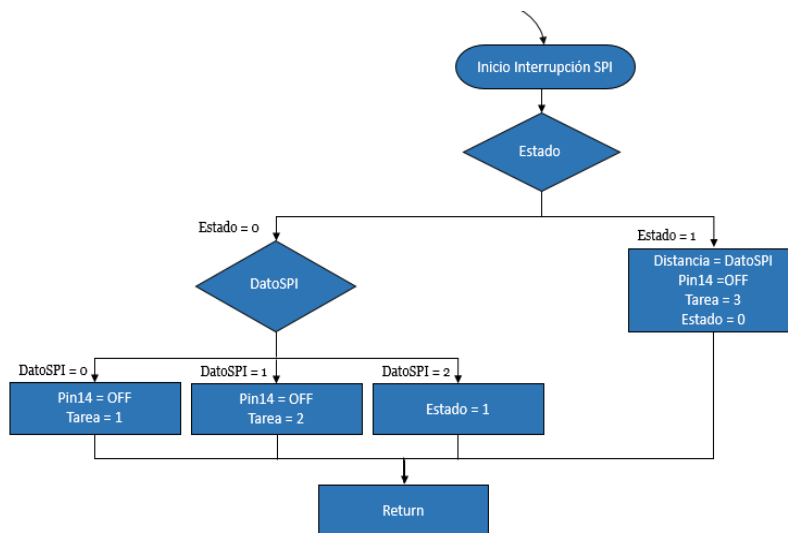


Figura 12 Subrutina de servicio a la interrupción SPI del Arduino nano.

Para el posicionamiento de los electrodos bastaba con enviar el comando que le correspondía a cada tarea, dependiendo si lo que se quería era subir o bajar los electrodos, sin embargo, para controlar la distancia que el robot móvil se debía desplazar, debido a que los motores eran controlados por la Intel Edison y los sensores por el Arduino nano, no era suficiente con enviar el comando de la tarea, también era necesario enviar la distancia que se pretendía recorrer. De esta forma se lograba el correcto desplazamiento del robot móvil.

Por parte de la Intel Edison el diagrama de flujo de las tareas que ésta realiza se muestra en la figura 13, sin embargo, para una mejor comprensión es necesario conocer la interfaz gráfica de usuario que se elaboró para este proyecto, figura 14, a través de la plataforma de Ubidots [Ubidots, 2018], ya que gran parte de las tareas realizadas dependen del intercambio de información con ésta.

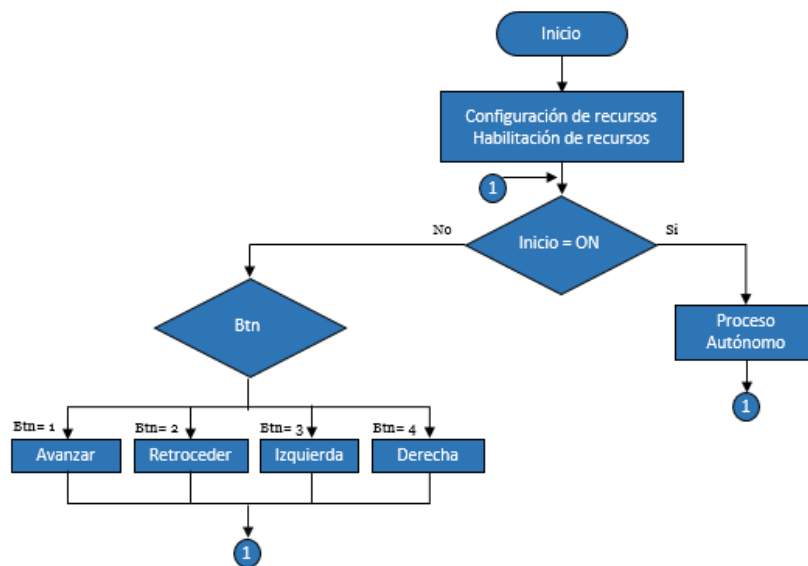


Figura 13 Diagrama de flujo de la tarea principal de la Intel Edison

En el diagrama antes mencionado es posible observar las dos distintas maneras de operar el robot móvil, el cual dependiendo del estado en el que se encuentre el botón de inicio, entrara a un modo automático o a un modo manual. Dentro del modo manual el usuario podrá controlar el robot móvil para guiarlo por medio de los cuatro botones restantes, presionando el botón de la tarea que se desea realizar y volviendo a presionar el mismo para la cancelación de esta.

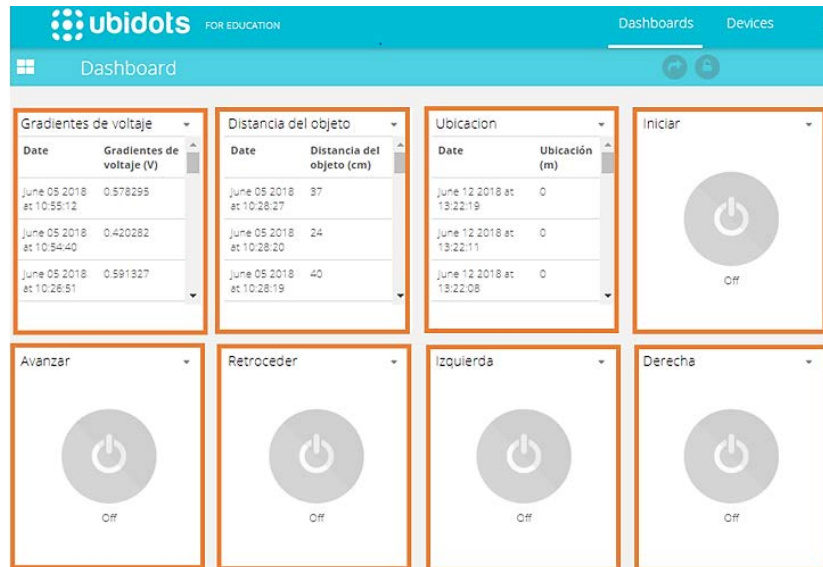


Figura 14 Interfaz gráfica de usuario.

En el modo automático, el robot móvil realizará una rutina que consta de 8 etapas, figura 15, en el caso de que no existan obstáculos presentes en el camino del robot móvil, de lo contrario se reduce a 7 etapas para evitar colisiones. En este modo el objetivo es la detección de fallas presentes en el recubrimiento de la tubería que se esté examinando. Para lograr esto es necesario tener en cuenta la manera en que se presentan los gradientes de potencial en el suelo, considerando que la magnitud del gradiente incrementará conforme el robot se aproxime a la falla y disminuirá al pasar esta, de tal manera que el robot deberá avanzar y retroceder hasta que la magnitud del gradiente de voltaje sea cero, lo cual indica que la falla ha sido detectada y se encuentra justamente en el centro del robot.

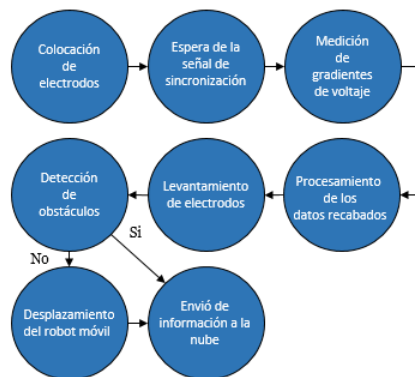


Figura 15 Etapas del proceso autónomo.

Durante la última etapa del proceso autónomo, el robot móvil cuenta con información recabada tanto de la magnitud de los gradientes de voltaje, distancia de objetos presentes en el camino y la distancia que ha recorrido, dicha información será enviada vía WiFi a la interfaz gráfica utilizando el protocolo MQTT. Una vez hecho esto la información estará disponible en la interfaz de usuario para poder ser consultada en cualquier momento.

3. Resultados

Los resultados obtenidos en esta primera etapa del desarrollo del sistema son los siguientes:

- **Arquitectura IoT.** Implementación de una arquitectura IoT, de cuatro elementos: robot móvil, MQTT broker, interfaz gráfica y usuarios, como se muestra en la figura 16.

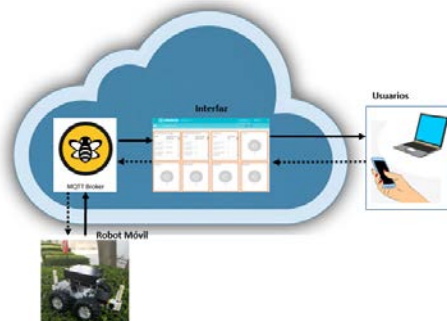


Figura 16 Arquitectura IoT basada en MQTT.

- **Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario.** La interfaz se desarrolló mediante la plataforma web Ubidots y es la encargada de realizar las siguientes funciones:
 - ✓ Comunicarse con el broker MQTT y presentar los datos de interés bajo el protocolo http, lo que garantiza su acceso desde cualquier navegador web.
 - ✓ Facilitar al usuario la manipulación del robot.
 - ✓ Permitir la escalabilidad y la adición de servicios y funciones de forma simple.

Dicha interfaz no requiere tener un sistema con gran capacidad de concurrencia de usuarios en el sitio web, puesto que el propósito para el que fue diseñada no involucra numerosos usuarios. Sin embargo, el número de usuarios que acceden a ella no es una limitante, como si lo es la cantidad de datos por minuto que puede enviar cada dispositivo el cual no puede superar los 60 datos por minuto.

- **Almacenamiento de datos de interés.** En la interfaz gráfica existen tres tópicos de interés en los cuales el robot móvil publica información de utilidad que posteriormente puede ser utilizada de la misma forma como se hace cuando es adquirida manualmente. Dicha información también presenta una limitante, ya que solo permanecerá almacenada en los servidores de la plataforma web utilizada durante un periodo de tres meses. Durante el transcurso de este periodo podrá ser descargada fácilmente generando un archivo de Excel como se muestra en la figura 17.

	A	B	C
1	Timestamp	Human readable date	robot-movil_gradientes_de_voltaje
2	1.52943E+12	19/06/2018 11:03	0.695583
3	1.52943E+12	19/06/2018 11:03	0.535941
4	1.52943E+12	19/06/2018 11:02	0.698841
5	1.52943E+12	19/06/2018 11:02	0.702099
6	1.52943E+12	19/06/2018 11:02	0.550602
7	1.52943E+12	19/06/2018 10:51	0.643455
8	1.52943E+12	19/06/2018 10:51	0.638568
9	1.52943E+12	19/06/2018 10:51	0.43983
10	1.52943E+12	19/06/2018 10:48	0.395847
11	1.52943E+12	19/06/2018 10:44	0.389331
12	1.52908E+12	15/06/2018 09:55	0.674406
13	1.52908E+12	15/06/2018 09:55	0.674406
14	1.52908E+12	15/06/2018 09:55	0.516393
15	1.52904E+12	14/06/2018 23:46	0.487071
16	1.52904E+12	14/06/2018 23:38	0.656487
17	1.52904E+12	14/06/2018 23:38	0.645084
18	1.52904E+12	14/06/2018 23:38	0.513135
19	1.52903E+12	14/06/2018 21:46	0.628794
20	1.52903E+12	14/06/2018 21:46	0.638568
21	1.52903E+12	14/06/2018 21:46	0.628794
22	1.52903E+12	14/06/2018 21:46	0.643455
23	1.52903E+12	14/06/2018 21:46	0.628794
24	1.52903E+12	14/06/2018 21:46	0.636939
25	1.52903E+12	14/06/2018 21:45	0.636939
26	1.52903E+12	14/06/2018 21:45	0.496845

Figura 17 Archivo generado desde la interfaz gráfica sobre los gradientes de voltaje.

- Validación de los electrodos.** Utilizando una estructura metálica que se encuentra enterrada en uno de los jardines del Instituto Tecnológico de Chihuahua, la cual está destinada para este propósito y se cuenta con un registro de las fallas intencionales en el recubrimiento que ésta presenta, se verificó de manera manual el funcionamiento de los electrodos, logrando detectar la presencia de gradientes de potencial en el suelo, implementando el sistema de protección catódica y haciendo uso de los electrodos de referencia elaborados, los cuales se conectaron a un multímetro analógico con aguja al centro como se realiza en la técnica de inspección DCVG. En la figura 18 se muestra una representación gráfica de la tubería enterrada para facilitar la comprensión de los datos que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Registro de las fallas presentes en el recubrimiento de la estructura metálica

	Distancia del inicio al centro de la falla	Posición	Forma de falla	Ancho de falla	Largo de falla	Profundidad
1	116 cm	Lado derecho	Rectangular	3 cm	4 cm	41 cm
2	275 cm	Fondo	Rectangular	3 cm	3.5 cm	50 cm
3	452 cm	Tope	Rectangular	2.5 cm	3.6 cm	53 cm
4	502 cm	Tope	Rectangular	2 cm	3.5 cm	53 cm
5	547.5cm	Lado izquierdo	Rectangular	2 cm	3.5 cm	53 cm
6	671 cm	Lado derecho	Rectangular	2.5 cm	3.5 cm	54 cm
7	752 cm	Lado derecho	Rectangular	2.52 cm	3.5 cm	54 cm
8	882 cm	Tope	Rectangular	3 cm	3.5 cm	54 cm
9	997 cm	Lado derecho	Rectangular	1.5 cm	3 cm	54 cm
10	1115 cm	Tope	Rectangular	1.5 cm	3 cm	55 cm
11	1195 cm	Tope	Rectangular	2 cm	3.5 cm	56 cm
12	1254.7 cm	Lado derecho	Rectangular	2 cm	3.5 cm	56 cm
13	1480.7 cm	Lado izquierdo	Rectangular	3 cm	3.5 cm	64 cm
14	1706.7 cm	Lado izquierdo	Cuadrada	2.5 cm	2.5 cm	3.7 cm

Con la realización del procedimiento de manera manual, se corroboran los fundamentos teóricos en los que se sustenta este proyecto y se detecta una posible falla, ya que de no obtenerse el comportamiento esperado en la magnitud de los gradientes de voltaje es un indicativo de que hay que reemplazar la tapadera de madera.

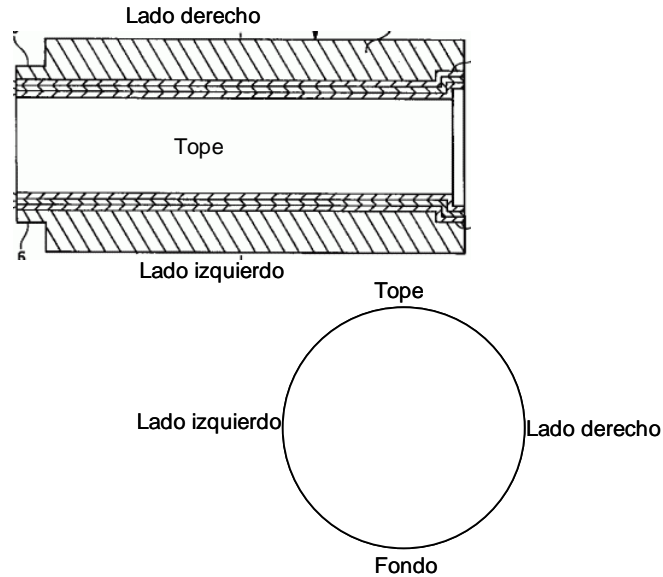


Figura 18 Representación gráfica de la estructura metálica enterrada.

- **Elaboración del prototipo.** La principal aportación de este trabajo es realizar una herramienta de apoyo al personal encargado de la inspección de tuberías subterráneas que utilice como base la técnica DCVG. Contribuyendo con etapas del proceso que resultan más desgastantes para los trabajadores, como lo es la medición y almacenamiento de gradientes de voltaje ayudando con esto a la detección de fallas en el recubrimiento de una tubería subterránea. Haciendo uso de un robot móvil, figura 19, al cual se le han acoplado los elementos necesarios para realizar el proceso de manera autónoma, lo cual de momento no se ha logrado cumplir en su totalidad.



Figura 19 Prototipo terminado.

4. Discusión

En el presente trabajo se presenta un avance para lograr detectar las fallas en el recubrimiento de una tubería subterránea mediante la elaboración de un robot móvil. Sin embargo, para poder cumplir con el objetivo es necesario mejorar el sistema de navegación del robot, de tal manera que se garantice que el desplazamiento del mismo sea sobre la superficie que cubre la tubería para que la información proveniente del robot sea válida y permita realizar un diagnóstico del estado del recubrimiento de dicha tubería. Dicho sistema de igual manera debe ayudar a la implementación de maniobras para que el robot pueda esquivar obstáculos y volver a la trayectoria, para registrar la magnitud de los gradientes de potencial.

En lo que respecta a los electrodos elaborados, se pretende reemplazar la superficie porosa implementada con madera por otro material poroso que no le afecte tanto la solución de sulfato de cobre para alargar la vida útil del mismo.

En cuanto a las limitaciones del envío de información y el almacenamiento de la misma se pueden corregir cambiando la versión educativa que actualmente se utiliza, por una versión de paga utilizando la misma plataforma web.

Los resultados presentados corresponden a la primera etapa del desarrollo del sistema. En la segunda etapa concluiremos con el desarrollo del sistema realizando las pruebas de campo correspondientes y se buscará lograr la automatización de las 6 etapas del proceso de inspección DCVG.

5. Conclusiones

Este sistema representa un avance en el campo de la inspección de fallas en el recubrimiento de las tuberías, con base en una de las técnicas más precisas que hoy en día se realizan de manera manual, las cuales son susceptibles a proporcionar diagnósticos erróneos producidos por errores humanos.

El uso de una aplicación de robótica móvil acompañada de la perspectiva del internet de las cosas, permite el registro de las mediciones y el almacenamiento de las mismas, enviándolas vía internet a la nube, reduciendo la carga de trabajo humano y facilitando la detección de fallas en la tubería, agilizando el proceso de inspección en tuberías subterráneas.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Bonilla, I., IoT, el internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones, 2016.
- [2] Chacón, E., Análisis y reporte de los datos de la inspección electromagnética del estado del recubrimiento de ductos, 2014.
- [3] Chávez, M. A., Prototipo de robot móvil teleoperado, 2012.
- [4] D. V. G. T. a. S. Ltd, DC Voltage Gradient Technology and Supply, 2018. [Online]. Available: <http://dcvg.co.uk/about/> [Accessed: 04-Aug-2018].
- [5] González, J., Estimación de la posición de un robot móvil, 2015.
- [6] Minerva, R., Biru, A., Rotondi, D., Towards a definition of the Internet of Things (IoT). IEEE Internet Initiative, 2015.
- [7] Montenegro, W., Desarrollo de una metodología de inspección basada en riego (IBR) acoplada a un plan de inspección de tuberías de línea, 2001.
- [8] Nakamura, E., Desarrollo de la teoría, sistema de medición y procesamiento para la inspección electromagnética de ductos, 2006.
- [9] Ojeda, V. A., Avances en la medida de la protección catódica de estructuras metálicas enterradas mediante métodos de desconexión cíclica, 2016.
- [10] Protan S.A., Auditoria de Sistemas de Protección Catódica y Estado de Conservación de Revestimientos Anticorrosivos en Gasoductos y Oleoductos (Inspecciones CIPS – DCVG), Rosario, 2007.
- [11] PCS, Pipeline Corrosion Services, 2018: <http://www.pipelinecs.com.ar/servicios/estudio-de-ductos.html>.
- [12] Ubidots, Ubidots, 2018: <https://ubidots.com/>.
- [13] Velázquez, J. C. , Modelacion determinista y estocastica de la corrosion por picaduras en ductos enterrados, 2010.