

Detector doméstico de metales aplicando sistemas embebidos

Domestic metal detector applying embedded systems

Jheison Martínez Bolívar



John Edwar Gutiérrez Céspedes



Alexis García Herrera



Cómo citar: Martínez, J., Gutiérrez, J y García, A. (2021). Detector doméstico de metales aplicando sistemas embebidos. *Hashtag*, (19), 52-63



Resumen

Este artículo pretende demostrar la necesidad existente de la detección de metales en alimentos y propone una solución de uso doméstico. Dicha solución cuenta con potencial económico y requiere, para su implementación, conocimientos tanto en hardware como en software. Inicialmente, se muestran los efectos de ingerir alimentos que contienen elementos metálicos en su interior, que a primera vista no resultan perceptibles; luego, se presentan algunos casos documentados que tienen consecuencias negativas para consumidores y compañías. Se diseñó un detector de metales utilizando campos electromagnéticos para detectar metales de un tamaño específico, en los productos destinados al consumo humano. Estos equipos suelen tener niveles de ajustes de sensibilidad para determinar su efectividad frente a un posible contaminante, por ejemplo, mediante un control estricto se puede prevenir que pequeños objetos metálicos se introduzcan en alimentos.

Palabras clave:

Campo electromagnético, contaminación de alimentos por metales, detección de metales, sistema embebido

Abstract

This article aims to demonstrate the existence of metal detection in food and proposes a solution for domestic use, it has economic potential, for its implementation it requires both hardware and software knowledge. Initially, the effects of eating food containing metallic elements are shown, at first glance they are not perceptible, then, some documented cases are presented that have negative consequences for consumers and companies. A metal detector was designed using electromagnetic fields to detect metals of a specific size, in products intended for human consumption. These devices usually have sensitivity adjustment levels to determine their effectiveness against a potential contaminant, and through strict control, small metallic objects can be prevented from getting into food products.

Keywords:

Detection of metals, electromagnetic field, embedded system, food contamination by metals,

Introducción

Existe el riesgo de consumir fragmentos de metal dentro de productos alimenticios sin ser detectados y que, a la larga, desencadenan en incidentes que pueden causar heridas en la boca, fracturas dentales, o daño en el sistema digestivo, generando patologías crónicas, tumores y cáncer. Por ende, este artículo muestra información de los efectos nocivos de ingerir alimentos que, eventualmente, puedan contener fragmentos metálicos, y llegar hasta la presentación del dispositivo.

El dispositivo en cuestión pasará a integrar una parte fundamental en el sistema HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), que “es utilizado y reconocido actualmente en el ámbito internacional para asegurar la inocuidad de los alimentos” y que “promueve la aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico” (Ministerio de Salud, 2002). A través del control de los peligros físicos, químicos, biológicos y radiológicos en toda la cadena de producción, dicho dispositivo interviene fortaleciendo el control de peligros físicos asociados a la contaminación con objetos metálicos, justo antes de ser entregados al consumidor.

Se ha diseñado de tal manera que se “evite la contaminación del alimento, facilite la limpieza y desinfección de sus superficies y permita desempeñar adecuadamente el uso previsto” (Ministerio de Salud, 2013). De acuerdo a pronunciamientos como el establecido por la Resolución 4143 del 2012, que “establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales”

(Ministerio de Salud, 2012) y la Resolución 2674 del 2013: “Se deben tomar medidas efectivas para proteger el alimento de la contaminación por metales u otros materiales extraños, instalando mallas, trampas, imanes, detectores de metal o cualquier otro método apropiado” (Ministerio de Salud, 2013).

E stado del arte

Los detectores de metales domésticos aplicando sistemas embebidos aportan calidad, especialmente en el ámbito alimentario; la alta sensibilidad y funciones avanzadas de calibración otorgan seguridad en la inspección controlada de productos.

Teniendo en cuenta los antecedentes base para el desarrollo del presente artículo, la documentación preliminar clasifica las diferentes tecnologías según el fabricante, para el presente caso, el Thermo Fisher Scientific presenta una familia de detectores de metales implementando técnicas innovadoras para la detección de agentes contaminantes metálicos, ferrosos y acero inoxidable, en alimentos y bebidas; además, implementa materiales y componentes muy versátiles, desmontables y lavables, maximizando la producción (ThermoFisher Scientific, s.f.).

Figura 1. Detector de metales flexible APEX 300 de ThermoFisher



Fuente: ThermoFisher Scientific, s.f.

Problemas causados por Piezas de Metal en alimentos

Según los datos proporcionados por SUSY Safe Project, un proyecto cofinanciado por la DG SANCO que tiene como objetivo recopilar la mayor cantidad de datos científicos posibles con respecto a las lesiones por cuerpos extraños (CE) en niños de 0 a 14 años, en el mercado europeo se tiene un registro de 60 instituciones en 26 países, para los cuales se describen las características y tipos de CE.

Tabla 1. Elementos encontrados habitualmente en alimentos

Elementos Ingeridos que causaron accidentes		
Tipo de Elemento	Número de Casos	Porcentaje
Monedas	1534	20%
Pines y Agújas	506	6%
Jbyeria	215	3%
Metales	183	2%
Baterías	170	2%
Otros	5212	67%
Total	7820	

Fuente: Slapak, 2012

Tabla 2. Elementos que causaron complicaciones en los niños

Elementos que causaron complicaciones		
Tipo de Elemento	Numero Casos	Porcentaje
Bateria	13	4%
Alfileres y agujas	1	4%
Monedas	8	3%
Jbya	6	2%
Metal	4	1%
Otros	256	86%
Total	299	100%

Fuente: Slapak, 2012

Heridas en la boca y asfixia

Para estos casos, el consumidor recibe daño en el paladar, lengua y encías causadas por el elemento extraño. Dichos elementos sólidos o afilados pueden ocasionar heridas tales como desgarros y perforaciones en la boca, la garganta o el sistema digestivo, así como daños en los dientes y las encías. En un estudio de la FDA sobre peligros para la salud se reportaron 190 casos de ingesta de objetos duros o afilados en alimentos, además que “la obstrucción de las vías respiratorias es especialmente crítica entre los niños” (ACSA-UAB, 2017).

Obstrucción

Cuando el elemento es ingerido completamente y se puede presentar un cuadro de obstrucción en esófago, estómago, intestino o recto; una situación que haría necesario acudir al médico de manera oportuna (ACSA-UAB, 2017).

Envenenamiento

De acuerdo con la composición del objeto metálico, puede llegar a descomponerse dentro del consumidor produciendo sustancias tóxicas que dan lugar a alteraciones, mayores o menores, en la fisiología del afectado, pudiendo llegar a causar la muerte. Entre los metales más tóxicos encontramos metales como: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn). Se consideran como los metales más tóxicos para el cuerpo humano por su alta cantidad de toxicidad (Instituto Rafael Rangel, 2017).

Absorción

“La intoxicación por metales tóxicos en el ser humano, es un problema de salud pública”, sucede cuando el objeto extraño, inicialmente no presenta ningún cuadro de alerta o complicación, pero pasado cierto tiempo el objeto se descompone y empieza a recorrer el sistema circulatorio de manera gradual. Esto puede acarrear posibles impactos negativos en la salud, tales como daño cerebral, problemas óseos, en riñones, hígado, y pulmones; además, puede tener repercusiones en el sistema nervioso, reproductor e inmunológico. En una gran cantidad de casos puede generar cáncer y muerte (Instituto Rafael Rangel, 2017).

Algunos casos Reportados

Aguja en Hamburguesa

La compañía McDonald's vendió en una de sus franquicias una hamburguesa con una aguja dentro. La historia es de una familia que encontraron en dicho establecimiento una aguja subcutánea cuando se dio una mordida a una de sus hamburguesas. Esto provocó que la familia pasara varias horas en el hospital y desencadenó una investigación por parte del departamento de Salud Pública para la reconocida cadena de restaurantes (Deseret News, 2017).

Agujas en Sándwiches

En un avión de la compañía Delta se encontraron 6 sándwiches con agujas. Esta situación se dio entre Ámsterdam y Estados Unidos y el caso fue expuesto por CNN. Las agujas causaron daños bucales en pleno vuelo a los pasajeros y uno de ellos reportó que también había una aguja en otro bocadillo. La aerolínea exigió más controles de parte del proveedor de alimentos puesto que la seguridad de los pasajeros es primordial (Ahlers, 2012).

Figura 2. Sándwich 'Cold Cut Trio' de Subway



Fuente: REUTERS, 2008.

Cuchillo en Sándwich

Un hombre de 26 años encontró un cuchillo de 18 cm en su sándwich. El cliente de la cadena de restaurantes Subway se sorprendió al no saber qué le hubiera pasado si no mira el pan antes de seguir comiendo. Este hecho llevó al afectado a colocar una demanda por 1 millón de dólares (REUTERS, 2008).

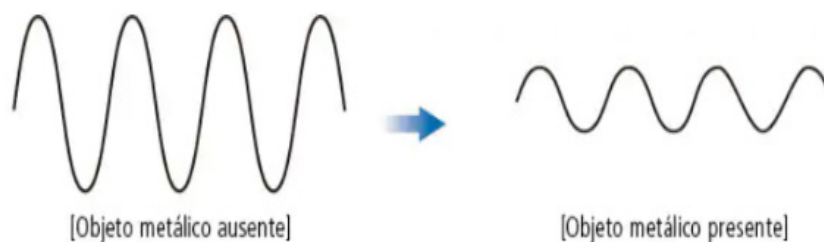
Fundamentación teórica

Para el desarrollo de este proyecto fue indispensable comprender el comportamiento de los campos electromagnéticos en presencia de materiales conductores.

Detección de Metales

En la detección de metales se debe tener en cuenta que la gran mayoría de metales están divididos en dos grandes grupos que presentan comportamientos diferentes frente a un campo electromagnético, los metales ferrosos y no ferrosos. Cuando un metal ferroso ingresa al campo magnético del sensor una corriente inducida en el metal provoca que la carga en la bobina de detección aumente, representando una disminución en la amplitud de la corriente detectada por el sensor. En la siguiente figura se muestra un esquema del comportamiento descrito (KEYENCE, s.f.).

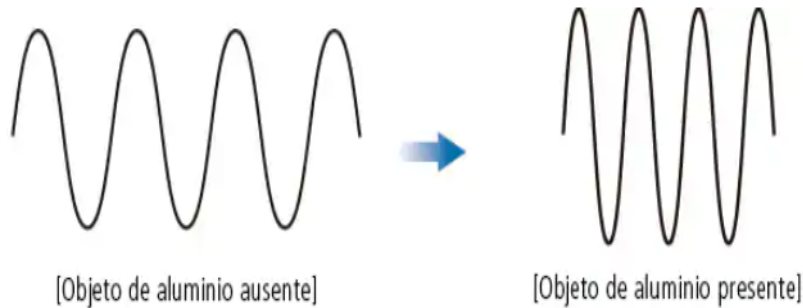
Figura 3. Comportamiento de la onda en presencia de un metal ferroso



Fuente: KEYENCE, s.f.

Cuando el metal presente en el sensor es de tipo no ferroso la pérdida de energía generada por la corriente inducida en el elemento altera la frecuencia en la corriente detectada por el sensor. Enseguida se muestra cómo la frecuencia se vuelve mayor a la de referencia (KEYENCE, s.f.).

Figura 4. Comportamiento de la onda en presencia de un metal no ferroso



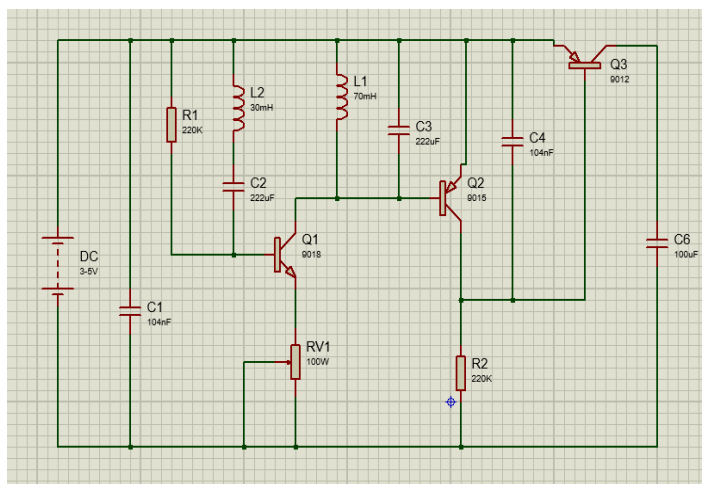
Fuente: KEYENCE, s.f.

Metodología

Descripción del sistema

Los detectores de metales han sido ampliamente utilizados en la industria alimentaria a la hora de detectar partículas metálicas en los alimentos procesados; de acuerdo con eso, en este proyecto los alimentos son colocados en el detector para su análisis. Debido a la estructura, se ha utilizado un tipo de detector que está compuesto por dos bobinas concéntricas, para la emisión del pulso y la recepción de la corriente de Foucault, inducida por la presencia de material metálico en los alimentos.

Figura 5. Diagrama eléctrico del detector de metales



Fuente: Elaboración propia

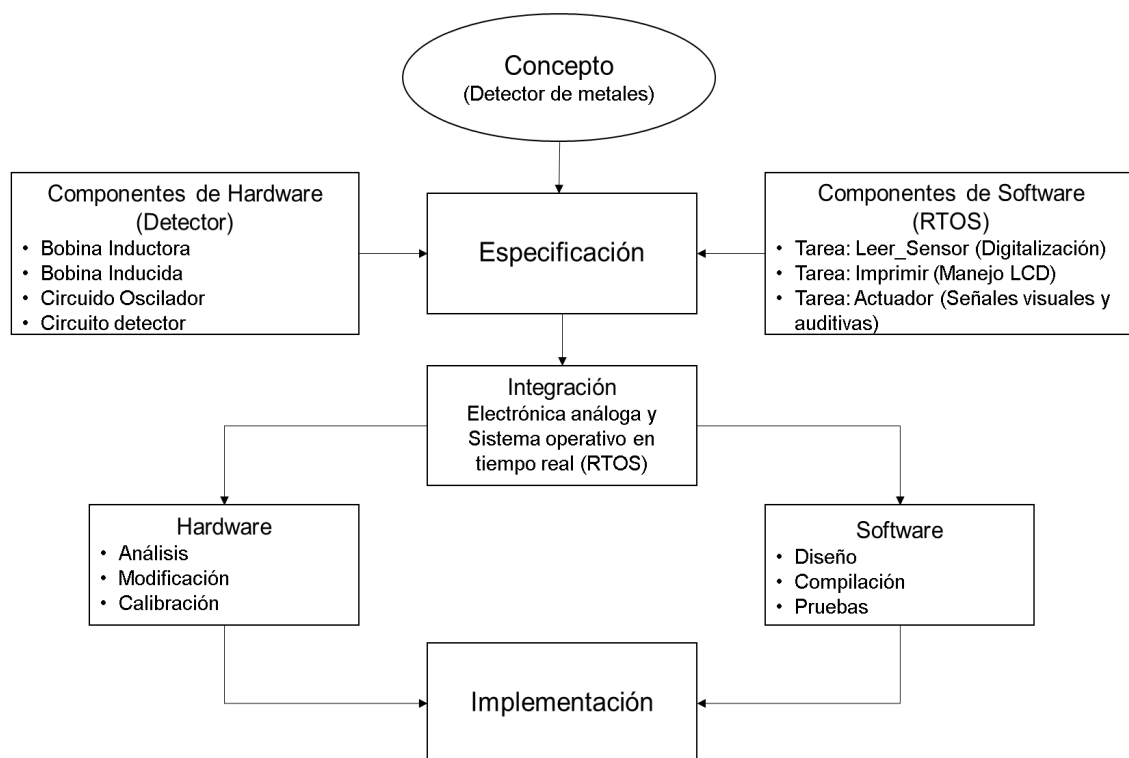
Como se observa en la figura 5, Q1, L1, L2, C2, C3, R1 y RV1 conforman un oscilador de alta frecuencia, en donde RV1 permite variar la ganancia de la etapa de oscilación para hacer que el oscilador alcance un estado crítico, susceptible a variaciones realizadas por materiales metálicos en su campo. Q2 y Q3 forman el circuito de detección. Cuando se detecta material metálico, C4 descarga un cortocircuito que a su vez maneja el ciclo activo del transistor Q3. Como resultado de este proceso, en el emisor de Q3 se obtiene un valor analógico que se ha interpretado para determinar la presencia o no de material metálico, así como el posible tamaño del componente metálico en la muestra analizada.

Implementación de RTOS en microcontrolador

Un sistema embebido (SE) es una máquina computacional que emplea una combinación de Hardware y Software para una tarea específica. Es parte de un sistema más grande, no necesariamente computacional y trabaja en un ambiente reactivo con restricciones temporales. En este tipo de sistemas el software se utiliza para proporcionar flexibilidad y funcionalidad; el hardware es utilizado para proporcionar desempeño y, en algunas ocasiones, seguridad (Camargo, 2012). En la figura 6 puede verse el flujo de diseño que se ha seguido para la implementación de estas tecnologías a lo largo de este proyecto.

Se ha implementado un RTOS embebido en un microcontrolador PIC16F877a; el sistema operativo implementado cuenta con tres tareas, para las que se definieron los tiempos máximos de ejecución y tiempos de repetición de acuerdo a los requerimientos de cada una. Adicionalmente, se han incluido entradas analógicas de 10 bits para interpretar el detector y manejo de pantalla LCD

Figura 6. Flujo de diseño del sistema embebido



Fuente: Elaboración propia

Las tareas que definen el sistema son:

Leer_sensor. Maneja la digitalización de la señal del sensor; una tarea que es deshabilitada al iniciar el programa. Esta será habilitada por la acción de inicio, se ejecutará cada 100 milisegundos, obteniendo un valor entre 0 y 1023, como resultado de la lectura analógica entregada por el detector; además, será la tarea encargada de habilitar la tarea del actuador cuando la lectura corresponda a una contaminación por metales.

Imprimir. Realiza el manejo de LCD. Se trata de una tarea deshabilitada al iniciar el programa. Será habilitada por la acción de inicio, se ejecutará cada 500 milisegundos, imprimiendo en pantalla el estado del sistema, o indicando el caso de contaminación, dependiendo del correcto funcionamiento de la tarea Leer_sensor.

Actuador. Ejecuta señal visual y auditiva. Esta tarea es deshabilitada al iniciar el programa y será habilitada por la tarea Leer_sensor cada vez que detecte presencia de material metálico. Será la encargada de ejecutar las señales visuales y auditivas, indicando la presencia de metales. Adicionalmente, se deshabilita a sí misma al terminar su ejecución.

Operación

La operación del dispositivo resulta ser rápida e intuitiva y comprende una superficie plana de plástico de grado alimenticio, bajo la cual se encuentra ubicado el detector; para hacer uso de este solo debe energizarse y oprimir el botón de encendido, y esperar el mensaje “En Operación” en la pantalla LCD. En ese momento ya se encontrará preparado para funcionar y, si en algún momento encuentra un contaminante, dará una señal auditiva, mostrando el posible material contaminante en la pantalla LCD.

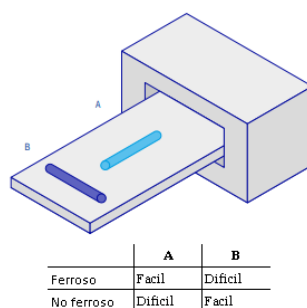
Factores limitantes de la sensibilidad

Existen varios factores que pueden llegar a influir en la confiabilidad de los detectores de metales; los que se deben tener en cuenta para asegurar los niveles adecuados de sensibilidad en este proyecto son: el tipo de metal, la orientación del objeto y la posición respecto al sensor.

Efecto de la orientación

Cuando un fragmento metálico no esférico pasa por un el detector de metales, la confiabilidad en la detección será determinada –en mayor o menor medida– por su orientación respecto al sensor. Esto es conocido como “efecto de la orientación” y es bastante frecuente en los dispositivos comerciales utilizados para la detección de contaminantes metálicos.

Figura 7. Detección de metales en relación con la posición y el material



Fuente: Mettler-Toledo Safeline Ltd., 2016

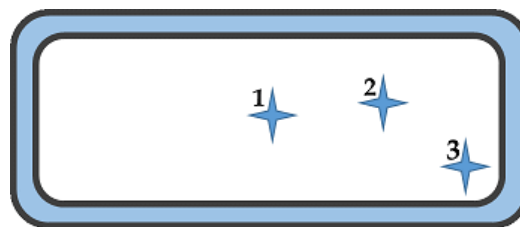
Los contaminantes con metales ferrosos son más fáciles de detectar si están orientados en la dirección de paso (A) y resultan más difíciles de detectar si están orientados en la dirección de paso (B), como se muestra en la figura anterior. Para el caso de los contaminantes no ferrosos, es al revés o de modo contrario (Mettler-Toledo Safeline Ltd., 2008).

Efecto de la posición

Teniendo en cuenta la posición del elemento a revisar y su ubicación frente al sensor, se puede diferenciar la sensibilidad de acuerdo a las posiciones numeradas en la figura 8, donde la posición 1 representa el punto de menor sensibilidad y la posición 3, el punto de mayor sensibilidad.

Todos los demás son puntos de sensibilidad intermedia, como el de la posición 2. A este fenómeno se le conoce como “gradiente de sensibilidad” y depende de la disposición de las bobinas en el diseño del dispositivo (Mettler-Toledo Safeline Ltd., 2016).

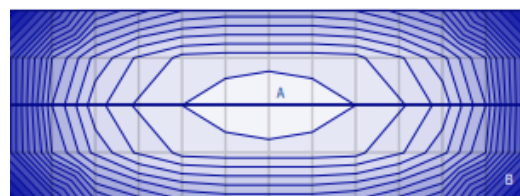
Figura 8. Sensibilidad de acuerdo a la posición respecto al sensor



Fuente: Mettler-Toledo Safeline Ltd., 2016

La tasa de cambio en la sensibilidad se puede observar de modo ilustrativo en la figura 9. Los detectores tienen mayor sensibilidad cerca de los bordes y una menor sensibilidad en el centro geométrico de la superficie de censado.

Figura 9. Sensibilidad respecto a la superficie de sensado



Fuente: Mettler-Toledo Safeline Ltd., 2016

Resultados

Se realizaron pruebas, contaminando rodajas de pan, por separado, con los siguientes materiales: una moneda, una arandela de acero, un fragmento de hoja de bisturí, una puntilla de hierro, dos agujas, y una sección de 4 cm de cable calibre 18. Se realizaron 20 pruebas para cada sección de pan contamina-

do, intercalándolas con muestras de control en perfecto estado. En promedio, en el ADC integrado al microcontrolador se obtuvieron los valores de detección que se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de detección en el ADC

Contaminante	Valor ADC promedio
Moneda	676
Arandela	812
Hoja de bisturí	415
Puntilla	318
Sección de Cable	260
Agujas	180

Fuente: Elaboración propia

De la totalidad de las pruebas realizadas, en el 93 % hubo detección correcta del contaminante. En la siguiente tabla 4 se detalla su respectiva distribución

Tabla 4. Detecciones para cada material

Prueba	Detectado	No-detectado
Control	0	30
Moneda	20	0
Arandela	20	0
Hoja de bisturí	20	0
Puntilla	18	2
Sección de Cable	17	3
Agujas	17	3

Fuente: Elaboración propia

Así, la confiabilidad que evidencia el dispositivo se especifica enseguida

Tabla 5. Confiabilidad del detector

Contaminante	Confiabilidad
Moneda	100 %
Arandela	100 %
Hoja de bisturí	100 %
Puntilla	90 %
Sección de cable	85 %
Agujas	85 %

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Para mejorar la confiabilidad del dispositivo es necesario mejorar la calidad de los materiales que influyen directamente en la capacidad de detección, pero se trataría de algo que aumentaría los costos.

Al realizar la comparación costo-beneficio del dispositivo planteado se observa una alta confiabilidad respecto al costo de los componentes utilizados. Por su bajo costo, habilita la posibilidad de mejorar los mecanismos de control en la producción de alimentos a nivel doméstico y de pequeña industria.

De acuerdo a las pruebas realizadas, se encuentra como factor limitante para la detección, la posición del objeto respecto al sensor. Para mayor confiabilidad se recomienda realizar doble test, rotando el producto 90 ° sobre su eje vertical.

Trabajo futuro

Para reducir la limitación por “efecto de la orientación” se recomienda realizar pruebas con otras configuraciones de bobinas; también, usar otros diseños de chasis que permitan la movilidad del objeto a revisar, en busca de posibles contaminantes metálicos.

El sistema electrónico puede mejorarse de tal manera que pueda detectar a partir de diferentes frecuencias.

Referencias

- ACSA-UAB. (2017). Mapa de peligros alimentarios - Peligro físico - Cuerpos extraños. Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos de la Universidad Autónoma de Barcelona y Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria. https://acsa.gencat.cat/es/actualitat/mapa_de_perills/index.html
- Ahlers, M. (17 de julio de 2012). Holanda y EEUU investigan el hallazgo de agujas en sándwiches de vuelos. CNN. <https://cnnespanol.cnn.com/2012/07/17/holanda-y-ee-uu-investigacion-el-hallazgo-de-agujas-en-sandwiches-de-vuelos/>
- Camargo, C., Cortés, J., y Jiménez, A. (2012). Implementación de sistemas digitales complejos utilizando sistemas embebidos. *Ingenium. Revista de la facultad de ingeniería*, 13 (25), 5-15. <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/1302/1093>
- Deseret News (18 de agosto de 2017). Encuentran una aguja en una hamburguesa de McDonalds ¡Es mejor comer en casa! Diario Vanguardia. <https://vanguardia.com.mx/articulo/encuentran-una-aguja-en-una-hamburguesa-de-mcdonalds-es-mejor-comer-en-casa>
- Keyence. (s.f.). ¿Qué es un sensor de proximidad inductivo? Fundamentos del Sensor. <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/>
- Mettler-Toledo Safeline Ltd. (2008). Reducción de la contaminación por metales - Elaboración de un programa eficaz. https://www.mapersa.com/pdf/Mettler_Toledo_Metal_Detector_Guide.pdf

- Mettler-Toledo Safeline Ltd. (2016). Guía para la detección de metales. Elaboración de un programa eficaz. <https://www.mt.com/es/es/home/library/know-how/product-inspection/PI-Guides/metal-detection-guide.html>
- Ministerio de Salud. (18 de enero de 2002). Decreto número 60 de 2002. DO: 44.686. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-0060-de-2002.pdf>
- Ministerio de Salud. (22 de julio de 2013). Resolución 2674 de 2013. DO: 48.980. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>
- Ministerio de Salud. (7 de diciembre de 2012). Resolución 4143 de 2012. DO: 48.642. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4143-de-2012.pdf>
- REUTERS. (17 de julio de 2008). Un estadounidense demanda a Subway por encontrarse un cuchillo dentro de un sándwich. El Mundo. <https://www.elmundo.es/elmundo/2008/07/17/internacional/1216276459.html>
- Editorial. (2017). Editorial Metales Tóxicos En Alimentos. *Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel"*, 48 (1-2). http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_inhrr/article/view/15102
- Slapak, I., Passali, F. y Gulati, A. (2012). Non food foreign body injuries. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 76, Supplement 1, S26-S32. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2012.02.006>
- ThermoFisher Scientific. (s.f.). Detector de Metales flexible APEX 300. <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/APEX300#/APEX300>