



Desarrollo de Sistemas de Seguridad Industrial en base a Asistente de Voz

Ayala Pico Jaime Luciano y López Castro Brian Andrés

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y

Automatización

Ing. Jaime Paúl Ayala Taco PhD

Marzo 2023

Herramienta de similitud de contenido Plag

VFContenido_AyalaJaime_LopezBrian_IntegracionCurricular.docx



Riesgo de plagio

2% Paráfrasis

MEDIO

0% Citas incorrectas



87 Coincidencias

1 2 3 ... 23 24 25

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Los asistentes por voz son dispositivos diseñados y fabricados por diferentes empresas reconocidas a nivel mundial como Google, Amazon, Apple, Microsoft, entre otros, cuya base de funcionamiento es el uso de la inteligencia artificial y el procesamiento de voz para la ejecución de tareas específicas como respuesta a ciertas expresiones dictadas por una persona.





Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica Y Automatización

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Desarrollo de Sistemas de Seguridad Industrial en base a Asistente de Voz”** fue realizado por los señores **Ayala Pico, Jaime Luciano y López Castro, Brian Andrés**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de enero de 2023



Ing. Jaime Paúl Ayala Taco PhD

C. C 1709434243



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Ayala Pico, Jaime Luciano y López Castro, Brian Andrés**, cédulas de ciudadanía N° 1725242588 y N° 0402093025, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: "**Desarrollo de Sistemas de Seguridad Industrial en base a Asistente de Voz**" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 31 de enero de 2023

Ayala Pico Jaime Luciano

C.C.: 1725242588

López Castro Brian Andrés

C.C.: 0402093025



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización

Autorización de Publicación

Nosotros, **Ayala Pico, Jaime Luciano y López Castro Brian Andrés**, con cédulas de ciudadanía N° 1725242588 y N° 0402093025, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "**Desarrollo de Sistemas de Seguridad Industrial en base a Asistente de Voz**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 31 de enero de 2023

Ayala Pico Jaime Luciano

C.C.: 1725242588

López Castro Brian Andrés

C.C.: 0402093025

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a:

Mis padres Julio y Blanca, quienes con su incondicional amor me dieron las fuerzas para poder vencer innumerables retos, sin ustedes no lo habría logrado. Sus enseñanzas y consejos han forjado la persona que soy hoy, inculcándome el siempre luchar por mis objetivos y volar muy alto, todo el esfuerzo realizado ha sido, es y seguirá siendo por ustedes.

Mis hermanas Cristina y Carolina, quienes aportaron a mi camino siendo un ejemplo de responsabilidad, superación y respeto, además, por siempre recibirme con amor y los brazos abiertos en momentos cruciales de mi vida.

A mis abuelos que con sus oraciones y palabras de aliento han sido una motivación que durante muchas noches en vela me ha levantado para seguir trabajando y no rendirme. A toda mi Familia, quienes igualmente me han amado y respaldado siempre, gracias de verdad.

Finalmente, a todos mis amigos, que de alguna u otra manera siempre estuvieron presentes para apoyarme y extender su mano en momentos difíciles, compartiendo conmigo felicidades, tristezas y momentos especiales que me acompañaran por el resto de mi vida. Siempre los llevaré en mi corazón.

Brian Andrés López Castro

Dedicatoria

El presente proyecto y trabajo de investigación va dirigido en primer lugar a Dios, Jesús y a la Virgen María; pilares fundamentales en mi vida para siempre seguir adelante y llegar a cumplir todos mis objetivos planteados hasta este momento, por ser mi fortaleza en momentos difíciles, mi protección en todo lugar y mi guía para hacer las cosas bien, por brindarme la sabiduría y entendimiento para dar un pronto y feliz término a este trabajo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe por acogerme durante cinco años; a todos los ingenieros quienes fueron parte de este camino y forjaron mi carácter, desarrollaron en mí la perseverancia y el esfuerzo, brindaron su ayuda y han transmitido conocimientos y experiencias invaluableles que serán importantes para toda mi vida personal y laboral.

A mis padres y hermana, quienes me brindan su ayuda, apoyo y amor incondicional, con quienes he compartido mis logros y sobre todo mis momentos de alegría y tristeza. A mis abuelitos (+), a quienes recuerdo día a día y sé que desde el cielo estarán muy orgullosos de lo que he logrado. A mis familiares, quienes me han acompañado en este trayecto brindándome palabras de aliento para lograr obtener mi título universitario.

Además, dedico este trabajo a mis compañeros y amigos, con quienes he compartido momentos inolvidables que llevaré guardados en mi memoria mientras viva, por estar a mi lado compartiendo una sonrisa, una palabra de ánimo, un consejo o un llanto, sin esperar nada a cambio me han brindado su amistad.

Esto es por y para todos ustedes. Los llevo siempre en mi mente y corazón.

Jaime Luciano Ayala Pico

Agradecimiento

Como primera instancia, quiero expresar gratitud a Dios por llenarme de bendiciones y maravillosos momentos dentro de mi vida universitaria, permitiéndome conocer a personas excepcionales y colocando en mi camino magnificas oportunidades. Gracias por ser una guía en este camino y brindar de salud a mis seres queridos.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por haberme acogido durante estos cinco años, de igual manera, a todos mis profesores, un profundo agradecimiento por que no solo supieron enseñarme si no también educarme mediante valiosas lecciones acerca de la vida y la Ingeniería, sus esfuerzos formaron en mi un espíritu fuerte y perseverante.

Un eterno agradecimiento a mis padres que siempre me mostraron amor y paciencia, haciendo todo lo posible para que no me faltara nada y permitiéndome así poder cumplir hoy un sueño más, gracias por siempre apoyarme y creer en mí. No hay palabras que puedan expresar el amor, respeto y agradecimiento que siento por ustedes. A mis hermanas agradezco su compañía, las risas, preocupación y su apoyo que siempre me ayudó a sacar lo mejor de mi incluso en los momentos más difíciles. De igual manera, agradezco a mis abuelos que con sus sinceras palabras y acciones de amor me han motivado a seguir adelante a pesar de las dificultades.

Gracias a todos mis amigos por acompañarme en este largo y exhaustivo camino, agradezco sus acciones, sus palabras, las inesperadas aventuras que hemos vivido y por enseñarme la verdadera definición de la amistad. Un especial agradecimiento Jaime por ser un excelente compañero de proyecto y un gran amigo.

Brian Andrés López Castro

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, Jesús y a la Virgen María por la vida, salud y bendiciones que han derramado sobre mí, por ser mi guía y nunca dejarme solo. Espero permanecer bajo su protección durante todos los días de mi vida, haciendo el bien y haciéndolo bien.

Agradezco profundamente a mis padres Jeanette y Jaime, por brindarme todo su amor y apoyo, por darme la educación y no permitir que me falte nada. Son por quienes me esfuerzo cada día para seguir adelante, teniendo en cuenta todos los valores e ideales que han inculcado en mí. Serán siempre mi escuela y ejemplo vivo de amor, trabajo, respeto, responsabilidad y sacrificio. A mi hermana Tatiana por ser mi cómplice y confidente, mi motor para salir adelante y quien siempre sabe una manera para hallar la solución ante cualquier dificultad que se presente, agradezco su palabras, bromas y compañía.

A mis amigos con los que he compartido todo este largo trayecto, con quienes hemos vivido momentos de alegría, tristeza y preocupación; por todas las noches sin dormir, risas inolvidables, almuerzos felices y proyectos interminables. Gracias por ser parte de mi vida, ya que gracias a ustedes este camino a sido más ameno y llevadero. De manera especial, quiero agradecer a Brian por ser un gran amigo y compañero de este proyecto, agradezco por su apoyo y esfuerzo dedicado, ya que de esta manera hemos logrado alcanzar varios objetivos importantes, le deseo todo lo mejor, que llegue tan lejos y que todos sus objetivos de vida personal y laboral pueda cumplirlos.

Me faltarían las palabras para agradecer a cada una de las personas que han sido parte de este proceso. A todas las personas quienes han sido parte de este caminar quiero extender mi sincero sentimiento de gratitud.

Jaime Luciano Ayala Pico

Índice de contenidos

Herramienta de similitud de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	4
Resumen	17
Abstract.....	18
Capítulo I.....	19
Introducción.....	19
Antecedentes	19
Justificación e Importancia.....	20
Alcance del Proyecto	21
Objetivos	23
Objetivo General.....	23
Objetivos Específicos	23
Capítulo II	24
Marco teórico.....	24
Introducción	24
Estado del Arte	24
Impacto de asistentes de voz en la industria	28
Asistentes de voz en procesos industriales	29
Asistentes de voz en mantenimiento	32

Asistentes de voz en control de calidad	34
Asistente de voz Alexa.....	35
Canal de procesamiento de Alexa	35
Alexa skills	37
Programación por bloques en VoiceFlow.....	39
Programación Textual	42
Plataformas auxiliares en la programación de skills de Alexa.....	45
Blynk	45
Node Red	46
Vulnerabilidades del asistente de voz Alexa	47
Capitulo III.....	48
Diseño del sistema de seguridad Industrial con Alexa.....	48
Introducción	48
Especificaciones técnicas de sensores y dispositivos inteligentes	48
Relé Inteligente.....	48
Sensor de Corriente (Módulo ACS712).....	50
Sensor Acelerómetro (Módulo ADXL345)	51
Sensor de Temperatura	53
Diseño de la placa.....	54
Diseño del dispositivo físico	56
Circuito de Control y Fuerza del Motor	58
Software para la Aplicación.....	62
Procesamiento de la señal de corriente	62
Procesamiento de la señal del acelerómetro	65

Acceso a dispositivos inteligentes de Tuya Smart mediante su plataforma IoT	70
Obtención del valor de temperatura del Sensor Inteligente.....	73
Encendido y Apagado de Relé Inteligente.....	74
Esquema de Conexión del Sistema.....	75
Skill en VoiceFlow.....	77
Funciones de la Skill Diseñada	77
Nivel de Acceso y Encendido del Motor	79
Monitoreo de Corriente temperatura y Vibración	81
Generación de Notificaciones.....	82
Capitulo IV.....	88
Pruebas y resultados.....	88
Introducción	88
Pruebas de funcionamiento de skill	88
Pruebas sin perturbaciones	88
Pruebas con perturbaciones.....	92
Pruebas de funcionamiento utilizando audífonos.....	94
Pruebas de corriente	95
Pruebas de vibración	96
Pruebas de temperatura	99
Capítulo V.....	101
Conclusiones y recomendaciones.....	101
Diseño del sistema de seguridad industrial con Alexa	102
Pruebas de funcionamiento	103
Trabajos Futuros y Recomendaciones.....	105

Bibliografía	106
Apéndices.....	108

Indice de tablas

Tabla 1 <i>Skills de Alexa más comunes</i>	38
Tabla 2 <i>Características del Relé Inteligente</i>	49
Tabla 3 <i>Características del Módulo ACS712ELCTR-05B-T</i>	51
Tabla 4 <i>Características del Módulo ADXL345</i>	52
Tabla 5 <i>Características del Sensor de Temperatura y Humedad</i>	53
Tabla 6 <i>Datos de vibración para determinación de umbral</i>	67
Tabla 7 <i>Url de las solicitudes utilizadas</i>	72
Tabla 8 <i>Parametrización del Sensor Inteligente de Temperatura</i>	74
Tabla 9 <i>Descripción de pruebas a realizar con interacciones disponibles</i>	88
Tabla 10 <i>Resultado de pruebas realizadas en condiciones normales con el usuario 1</i>	91
Tabla 11 <i>Resultado de pruebas realizadas en condiciones normales con el usuario 2</i>	91
Tabla 12 <i>Resultados de pruebas de funcionamiento de la skill incluyendo perturbaciones de sonido</i>	93
Tabla 13 <i>Resultado de pruebas realizadas con Audífonos conectados a Alexa</i>	95
Tabla 14 <i>Resultado de pruebas de corriente</i>	96
Tabla 15 <i>Datos de vibración para diferentes cargas en el motor</i>	98
Tabla 16 <i>Resultados de las pruebas de temperatura</i>	99

Índice de figuras

Figura 1 <i>Canal de procesamiento de Alexa</i>	36
Figura 2 <i>Opciones de bloques de respuesta hablada</i>	39
Figura 3 <i>Bloques de escucha</i>	40
Figura 4 <i>Bloques de lógica</i>	40
Figura 5 <i>Configuración de API en Voiceflow</i>	41
Figura 6 <i>Aplicación básica de Voiceflow</i>	42
Figura 7 <i>Creación de una skill en Alexa Developer Console</i>	42
Figura 8 <i>Ejemplo 1 Código de Programación</i>	43
Figura 9 <i>Ejemplo 2 Código de Programación</i>	44
Figura 10 <i>Esquema de Funcionamiento de Blynk IoT</i>	46
Figura 11 <i>WiFi Relé Inteligente</i>	49
Figura 12 <i>Módulo Sensor de Corriente</i>	50
Figura 13 <i>Módulo Acelerómetro</i>	52
Figura 14 <i>Sensor Inteligente de Temperatura y Humedad</i>	53
Figura 15 <i>Esquemático del Circuito del Sistema</i>	54
Figura 16 <i>Diseño de la placa PCB del sistema</i>	55
Figura 17 <i>Hardware del Sistema</i>	56
Figura 18 <i>Plano Caja de la Placa</i>	57
Figura 19 <i>Caja del sistema</i>	58
Figura 20 <i>Diagrama Eléctrico del Circuito de Control</i>	59
Figura 21 <i>Diagrama Eléctrico del Circuito de Fuerza del Motor</i>	61
Figura 22 <i>Diagrama de Flujo Setup Sensor de Corriente</i>	63

Figura 23 <i>Diagrama de Flujo programación del cálculo de la corriente en la línea</i>	64
Figura 24 <i>Diagrama de Flujo configuración inicial de Acelerómetro</i>	65
Figura 25 <i>Diseño de carga de fibra de Caucho</i>	66
Figura 26 <i>Diagrama de Flujo programación Nivel del Vibración</i>	69
Figura 27 <i>Diagrama de Flujo para Obtención de Token</i>	71
Figura 28 <i>Diagrama de Flujo para lectura del sensor de temperatura (A)</i>	73
Figura 29 <i>Esquema de conexión entre dispositivos</i>	77
Figura 30 <i>Funcionamiento general de la skill</i>	78
Figura 31 <i>Diagrama de Flujo de la Función Encender Motor</i>	80
Figura 32 <i>Diagrama de Flujo para monitoreo de: corriente (A) y vibración (B)</i>	82
Figura 33 <i>Generación de Alertas: Configuración de rutina en Alexa (A) y Botones virtuales de IFTTT reconocidos como dispositivo SmartHome (B)</i>	84
Figura 34 <i>Diagrama de Flujo para rutina de notificación con IFTTT</i>	84
Figura 35 <i>Diagrama de Flujo para consulta y análisis de valores previo a generación de notificaciones</i> ..	86
Figura 36 <i>Diagrama de flujo generación de notificaciones</i>	87
Figura 37 <i>Diseño de pieza de Platino Negro</i>	97
Figura 38 <i>Gráfica de tendencia de valores obtenidos en la prueba de temperatura</i>	100

Resumen

En la actualidad existen limitaciones en las interfaces humano maquina (HMI) utilizadas en la industria, ya sea por las capacidades cognitivas que presentan los usuarios o por las propias características de las interfaces, lo cual, dificulta la comunicación e interacción entre humanos y equipos. Es por esta razón que, en este trabajo se presenta un nuevo modelo de interacción basado en un asistente de voz, que propicie una comunicación más natural, intuitiva, directa y comprensible. El propósito del presente trabajo es el desarrollo de un sistema de seguridad industrial para un motor eléctrico basado en el asistente de voz Alexa, que permita la monitorización de parámetros de su funcionamiento como son: corriente, temperatura y vibración, de igual manera, hacer posible el control del encendido, apagado y cambio de giro del motor. Para lograr lo planteado se hizo uso de dispositivos inteligentes comerciales y módulos compatibles con Arduino, dotándolos con la característica del internet de las cosas (IoT). Además, se hace uso de varias plataformas como son: Blynk, Tuya Smart, Node Red y Voiceflow, para efectuar la transmisión de datos, la gestión de dispositivos y la programación de la skill de Alexa para la ejecución del sistema de seguridad. Con esto se demostró la potencial capacidad de los asistentes de voz en la industria, la entrega de información de forma más natural para el ser humano y obtención de notificaciones óptimas. Sin embargo, se evidenció problemáticas como: la influencia del ruido en el entorno al momento de comunicarse con el asistente, la vocalización de palabras, bajos tonos de voz y acentos propios del idioma, lo cual se puede mejorar en posibles trabajos futuros enfocados en técnicas avanzadas de procesamiento de voz, que permita aumentar el nivel de seguridad del sistema y evitar una posible suplantación de identidad.

Palabras clave: alexa, asistente de voz, seguridad industrial, interfaz humano máquina, internet de las cosas.

Abstract

Currently there are limitations in the human machine interfaces (HMI) used in the industry, either due to the cognitive abilities that users present or due to the characteristics of the interfaces, which makes communication and interaction between humans and equipment difficult. It is for this reason that, in this work, a new interaction model based on a voice assistant is presented, which promotes a more natural, intuitive, direct and understandable communication. The purpose of this work is the development of an industrial security system for an electric motor based on the Alexa voice assistant, which allows the monitoring of its operation parameters such as: current, temperature and vibration, in the same way, making possible the control of the start, shutdown and change of rotation of the engine. To achieve what was proposed, smart commercial devices and Arduino-compatible modules were used, endowing them with the Internet of Things (IoT) feature. In addition, various platforms are used, such as: Blynk, Tuya Smart, Node Red and Voiceflow, to carry out data transmission, device management and programming of the Alexa skill for the execution of the security system. With this, the potential capacity of voice assistants in the industry is demonstrated, the delivery of information in a more natural way for the human being and the obtaining of optimal notifications. However, problems were evidenced such as: the influence of noise in the environment when communicating with the assistant, the vocalization of words, low tones of voice and accents typical of the language, which can be improved in possible future works focused on advanced voice processing techniques, which allow to increase the security level of the system and avoid possible spoofing.

Keywords: alexa, voice assistant, industrial security, human machine interface, internet of things.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Los asistentes por voz son dispositivos diseñados y fabricados por diferentes empresas reconocidas a nivel mundial como Google, Amazon, Apple, Microsoft, entre otros, cuya base de funcionamiento es el uso de la inteligencia artificial y el procesamiento de voz para la ejecución de tareas específicas como respuesta a ciertas expresiones dictadas por una persona. Como explica (Tae Kook, 2020) las actividades que realiza un asistente de voz son: el reconocimiento de los comandos de voz efectuados por un usuario, procesar la información captada por el micrófono del dispositivo, comprender el requerimiento realizado y por último dar una respuesta en función a los datos encontrados en la nube. Esta conexión con la nube permite una integración con el Internet de las Cosas (IoT), donde ahora la persona puede establecer una comunicación con diferentes dispositivos y objetos que se encuentren conectados, recibir y enviar información que les permita ejecutar tareas. Es por esta razón que, en los últimos años, el desarrollo de los asistentes de voz ha tenido un crecimiento notorio debido a su alto grado de utilización y su variedad de aplicaciones en diferentes ámbitos de la sociedad.

La Industria 4.0 se caracteriza por la introducción de nuevas tecnologías digitales en los procesos de producción, haciendo amplio uso de tecnologías de la información para alcanzar fábricas inteligentes, con altos niveles de eficiencia y con sistemas totalmente integrados (Rozo-García, 2020). Dentro de las tecnologías que son los pilares fundamentales de la cuarta revolución industrial se encuentran: la inteligencia artificial y el internet de las cosas (Verbo, 2021). Por un lado, la Inteligencia Artificial trata acerca de la utilización de algoritmos computacionales para dotar de capacidades de aprendizaje, razonamiento y adaptación a ciertas máquinas o equipos, con el objetivo de que puedan responder y tomar decisiones en base a las diferentes situaciones que se puedan presentar. Mientras que el IoT busca la interconectividad o comunicación continua entre todos los dispositivos y equipos de la planta

de producción (Flores et al., 2018), esto permite obtener información del comportamiento de todos los componentes del sistema y de cómo interactúan entre sí en todo momento, lo cual, puede ser aprovechado para abordar estrategias que mejoren el rendimiento de la producción al obtener: indicadores de producción, calidad y el estado de los equipos (Motta et al., 2019).

Debido a las nuevas necesidades industriales, hoy en día se busca una alta interacción entre el nivel físico y el nivel digital o sistemas computacionales, lo cual se logra mediante los sistemas ciber físicos industriales (ICPS). Una de las características relevantes de los ICPS es la integración de sistemas informáticos con la producción, para lo cual se necesita la adquisición de datos de sensores y actuadores para conocer el estado actual, realizar procesos de aprendizaje y tomar decisiones para procesos de mejora (Colombo et al., 2014). No obstante, la interacción entre el nivel físico y el nivel digital visto desde el enfoque del operador en planta hace notar la necesidad de la mejora de las interfaces entre las máquinas y el humano (HMI), las HMI tradicionales están quedando limitadas en sus funciones de control y visualización a causa del mayor alcance que ofrecen las nuevas tecnologías para la comunicación e interacción entre los humanos y los equipos. Una comunicación que se efectúe de forma más natural y propia de los seres humanos como es la voz, permite que la interacción entre estas dos partes se lleve de una manera más colaborativa, eficiente e intuitiva, permitiendo crear un entorno industrial interactivo entre el hombre y las diferentes máquinas, dispositivos y equipos.

Justificación e Importancia

El desarrollo de este proyecto contribuye al acercamiento de la utilización de tecnologías de la industria 4.0 como lo es, en este caso, el internet de las cosas y los asistentes de voz de una manera integrada, al otorgar un valor agregado al manejo de la seguridad industrial. En la actualidad, no existe gran cantidad de aplicaciones específicas de asistentes por voz dentro del ámbito industrial, las cuales demuestren los alcances y las ventajas que pueden ser obtenidas por medio de la utilización de los mismos.

Mediante el desarrollo de este proyecto se mostrará que la aplicación de los asistentes de voz dentro del campo de la seguridad industrial es posible e implementable, otorgando a los usuarios una forma de acceso a información relevante junto con la capacidad de la manipulación de máquinas, equipos o dispositivos de una manera fácil y amigable con la simple utilización de comandos de voz, al lograr ahorrar esfuerzos y tiempo al tener información siempre que se la necesite, posibilitando al usuario la fácil adquisición de la misma, para la evaluación del desempeño y sobre todo al garantizar la seguridad industrial para posteriormente, tomar decisiones y evitar paros en la producción o eventos que perjudiquen al sistema, beneficiando directamente a la productividad.

Esta propuesta es un nuevo método de interacción humano máquina que permite al usuario comunicarse de una manera más natural, directa y comprensible con el sistema, dando un valor agregado a los sistemas de seguridad en la industria. De esta manera se puede ayudar a omitir las limitaciones que se encuentran dentro de las clásicas interfaces humano máquina de la industria, donde la comunicación o la información puede verse sesgada por la capacidad visual y cognitiva del usuario o la forma de presentación de la información en pantallas. De este modo, al ser un método intuitivo mediante comandos por voz se asegura una interacción más fluida, accesible y entendible para el usuario.

Alcance del Proyecto

En el presente proyecto se plantea desarrollar un sistema de seguridad industrial en base a un asistente de voz, para lo cual se diseñará el hardware correspondiente compatible con el asistente seleccionado, que en este caso es Alexa. Dentro de este proyecto se busca adquirir información sobre tres parámetros de funcionamiento de un motor y permitir el inicio de su operación con un nivel de acceso determinado, garantizando la seguridad y el acceso a la información de valor en el momento que sea requerido por el usuario o cuando se presenten eventos anormales en el funcionamiento. Este

motor se encuentra en el Laboratorio de Accionamientos Industriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, lugar donde se desarrollará el proyecto de investigación planteado.

Para este propósito se creará una *skill* en la plataforma de programación propia de Alexa para enlazar hardware de seguridad industrial al asistente de voz, de esta forma se permitirá el acceso a la información del funcionamiento del motor, como enviar órdenes para el inicio de su operación. Para la adquisición de la información de interés, se seleccionarán sensores, dispositivos y una placa microcontroladora que tenga conexión a la red y que sean compatibles con Alexa. Este sistema de seguridad se caracterizará por permitir:

- Arranque del motor.
- Obtener información sobre la corriente en la línea durante la operación del motor.
- Obtener información sobre la temperatura durante la operación del motor.
- Obtener información sobre el nivel de vibración producido por el motor.

Arranque del motor. - Para ejecutar el arranque del motor se plantea generar un nivel de acceso en el que se solicite una contraseña al usuario, con la finalidad de que solo personal determinado pueda dar inicio a la operación del motor, de esta forma se puede garantizar un nivel de seguridad en el área de trabajo. Dependiendo de la necesidad del usuario, este podrá solicitar un arranque en sentido horario o antihorario del motor. Para esto se utilizará un dispositivo que permita el encendido automático del motor y el cambio del sentido de giro del mismo.

Corriente en el motor. - Para la adquisición de la información sobre la corriente del motor, se utilizará un sensor de corriente conectado a una placa microcontroladora que permita la conexión a la red y que sea compatible con Alexa. El conocimiento de este parámetro de funcionamiento concede al operario la capacidad de monitorizar la corriente consumida por el motor en cualquier momento de su operación.

Temperatura del motor. - Para la adquisición de la información sobre la temperatura del motor, se utilizará un sensor de temperatura compatible con Alexa. El conocimiento de este parámetro de funcionamiento permitirá identificar situaciones normales y anormales en la operación del motor, el análisis de este valor se realizará mediante programación en la *skill* a desarrollar, donde si excede cierto nivel de temperatura generará una notificación para informar al usuario de una posible falla.

Nivel de vibración. - Para la adquisición de la información sobre la vibración producida por el motor, se utilizará un sensor de vibración que sea compatible con Alexa. Este parámetro de funcionamiento permitirá identificar cuando se produzca un fallo en la operación del motor, el análisis de este valor se realizará mediante programación en la *skill* a desarrollar, donde si excede cierto umbral generará una notificación para informar al usuario.

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un sistema de seguridad industrial para un motor eléctrico basado en el asistente de voz Alexa, que permita la monitorización de parámetros de su funcionamiento.

Objetivos Específicos

- Plantear una nueva forma de interacción entre humano - máquina, por medio del uso de asistente de voz para alcanzar un entorno industrial más natural y colaborativo.
- Implementar hardware que permita la adquisición de los parámetros de funcionamiento del motor para informar al usuario interesado en los mismos.
- Implementar un algoritmo de programación que permita la ejecución de determinadas actividades sobre el motor, a partir de comandos de voz dictadas por el usuario.

Capítulo II

Marco teórico

Introducción

El presente proyecto de investigación, propone desarrollar un sistema de seguridad industrial basado en el asistente de voz Alexa, para el control del encendido y cambio de giro de un motor trifásico, como el monitoreo de 3 variables importantes en el funcionamiento, por lo que, es importante relacionarse con la temática que aborda este trabajo.

En este segundo capítulo se describe el estado del arte que incluye trabajos, estudios e investigaciones que se han desarrollado en el área industrial y que utilicen asistentes de voz para realizar tareas en específico, con el propósito de comparar la aplicación, los modelos y los resultados alcanzados. Se analizan los problemas y el impacto que puede tener esta nueva tecnología en las industrias. Finalmente, se realiza una revisión de los conceptos principales del asistente de voz Alexa para comprender su principio de funcionamiento y las formas de programación de una *skill*.

Estado del Arte

En los últimos años, el interés en los asistentes de voz ha ido en aumento debido a su funcionalidad, alcance en sus aplicaciones y facilidad de uso. Hoy no es extraño encontrar asistentes de voz o asistentes inteligentes en un dispositivo móvil, en un hogar, en una oficina o en una página web, los cuales permiten solventar inquietudes, realizar tareas o controlar dispositivos conectados a internet. Cada vez existen nuevas empresas enfocadas en el desarrollo de asistentes inteligentes, ya que han visto el éxito alcanzado por Alexa, Siri, Google Assistant o Cortana, buscando dar una mejor experiencia al usuario e intentando crear nuevas aplicaciones. Al ser un tema novedoso, las personas están enfocadas en su uso, existiendo una escasez de investigación académica en esta temática (Perez Garcia et al., 2018). Por lo que, es relevante buscar hasta qué punto se puede llegar con los asistentes activados por

voz y la inteligencia artificial, que campos y nuevas aplicaciones se puede encontrar y los beneficios que se pueden obtener.

Gran parte de las aplicaciones desarrolladas con los asistentes virtuales están enfocadas en la parte social y de servicio. De las reducidas investigaciones desarrolladas y estudios realizados, estos centran su análisis en aspectos generales de los asistentes de voz o en aplicaciones para el hogar, no existiendo investigaciones de la aplicación de asistentes de voz en el área industrial (Afanasev et al., 2019). La cuarta revolución industrial o más conocida como Industria 4.0 busca crear entornos de producción altamente automatizados basados en el uso de nuevas tecnologías, alta conectividad inalámbrica y en la red, integración de entornos IT y OT, lo que permite mejorar las diferentes actividades asignadas a los operadores en los procesos de producción (Serras et al., 2020).

La forma de interacción entre los dispositivos, equipos e información en la planta de producción con el operador han mejorado gracias a la evolución de las interfaces humano máquina (HMI), donde las acciones de control, obtención de datos e información del estado de un proceso cada vez se vuelve más exigente. En un inicio toda relación con una máquina o proceso se realizaba desde grandes tableros de control, llenos de luces, botones, manómetros y demás indicadores que permitían el control y monitoreo de un proceso productivo, hoy en día se tienen gran oferta de interfaces HMI programables, donde su diseño responde a las necesidades existentes de la industria, permitiendo una interacción amigable de los operarios y de los procesos. Pero el operador debe seguir ingresando parámetros y comandos de manera manual para el funcionamiento de un equipo.

Una de las tecnologías de la Industria 4.0, como es la Inteligencia Artificial, permite pensar en una nueva forma de la interacción entre los humanos y las máquinas dentro de un entorno industrial, ya que una de sus aplicaciones es el desarrollo de los asistentes de voz inteligentes, donde comandos dictados de manera oral por un usuario puede ser reconocidos, comprendidos y procesados para poder dar una respuesta dependiendo de lo solicitado (Ángel et al., 2020). La interacción verbal entre un

operador y una máquina, dispositivo, equipo o robot en el área industrial permitirá un entorno más colaborativo y familiar, ya que una comunicación más natural y propia de los seres humanos permitirá interacciones más eficientes y comprensibles. La aplicación de un asistente inteligente en la industria es una potencial alternativa a las tradicionales HMI, permite pensar en las mejoras de las capacidades colaborativas e interacción entre el hombre y los equipos en planta y los beneficios que tendrían al aplicarlos en el análisis, control y monitoreo de cualquier proceso en una industria (Ángel et al., 2020).

A pesar de las potenciales ventajas que ofrece la aplicación de asistentes virtuales en la industria, estas se ven limitadas por una serie de factores que afectan directamente al proceso de reconocimiento de comandos de voz y su procesamiento. En el estudio realizado en (Barrios et al., 2018), se determinó que el habla y las características propias de la voz son diferentes en cada persona, puede ser el caso de que las personas hablen lentamente donde el proceso de reconocimiento de la voz sea total o puede ser el caso que la persona hable con muchas pausas o muy rápido puede hacer que el asistente no reconozca fácilmente lo que en verdad quiere la persona, un vocabulario extenso puede ser otra dificultad debido a que si no se entrena correctamente puede darse confusión de palabras o no se pueda entender lo solicitado, el ruido del ambiente es un factor fundamental que determina el desempeño de un asistente de voz y este ruido puede ser causado por el mismo usuario, por máquinas, música o demás.

Actualmente, los asistentes de voz se encuentran en fase inicial de su ingreso al mundo industrial, pensar que los operarios pueden tener una rápida obtención de información solo desde una solicitud verbal, teniendo siempre sus dos manos libres y concentrado en las actividades que debe realizar promete un incremento de los niveles de productividad (Agility Effect, 2019). En el artículo, "La voz no ha entrado en las fábricas" de *Agility Effect* se ha determinado que las principales limitaciones son: el ruido de fondo existente en un ambiente industrial, el cual dificulta el reconocimiento de los comandos de voz dictados por el operador, otro problema es el aprendizaje de un lenguaje técnico en

los algoritmos de inteligencia artificial cuyo aprendizaje se basa en el entrenamiento y la voz no es un dato estructurado como lo son las imágenes, lo que puede dificultar el manejo de la información y una de las limitaciones más importantes es la externalización de los datos que se manejan en planta ya que el trabajo en la nube puede representar un alto nivel de riesgo si no se piensa en sistemas robustos de ciberseguridad (Agility Effect, 2019).

A pesar de que las normativas regulan que el ruido dentro de un ambiente industrial debe encontrarse entre 70 y 90 dB, este ruido causa interferencias y problemas en los micrófonos de los asistentes de voz, la solución es el uso de auriculares acústicos que incluyen cancelación del ruido pero esto puede resultar incómodo para el operario y puede llegar a ser un problema en el caso de situaciones de emergencia o accidentes, otro problema puede ser la recepción y orden de múltiples solicitudes realizadas por varios operarios, pero una de las principales problemáticas es la suplantación de identidad y la fuga de información relacionada con el proceso de producción por lo que, para el trabajo de los asistentes de voz sea seguro se debe implementar sistemas de autenticación ya sea con parámetros biométricos de la voz o con otras tecnologías (Afanasev et al., 2019).

Las variaciones y los diferentes idiomas alrededor del mundo son parte de otra problemática, personas cuyo idioma no es su propia lengua y su forma de hablar no correcta o fluida causan que los asistentes de voz no puedan reconocer los comandos de voz deseados (Pramod et al., 2020). En este caso, los algoritmos de inteligencia artificial deben programarse para diferentes idiomas dependiendo de la realidad propia de la empresa, caso contrario los asistentes no trabajarán de manera adecuada.

Como tal, no se han encontrado investigaciones y trabajos desarrollados de asistentes de voz aplicados a la seguridad industrial. A continuación, se detalla información relevante sobre aplicaciones e investigaciones realizadas de asistentes inteligentes y de voz en diferentes actividades realizadas dentro del ámbito industrial.

Impacto de asistentes de voz en la industria

Los asistentes de voz o asistentes virtuales, es un interfaz humano máquina que ofrece varias ventajas debido a su funcionalidad, alcance y debido a que la mejor forma de comunicación para un humano es la verbal. En la industria, el desarrollo de estas aplicaciones está incrementando la tendencia a eliminar pantallas, teclados, permitiendo que el operador tenga sus dos manos libres y pueda hacer más cosas a la vez mientras da órdenes al sistema de producción (Rodal, 2021). El reto hoy en día es el desarrollo de equipos, dispositivos y máquinas capaces de reconocer y comprender correctamente los comandos de voz y que puedan entregar una respuesta hablada mediante sintetizadores de voz, pero esto requiere una mayor complejidad en el entrenamiento de los algoritmos de inteligencia artificial.

Debido a la pandemia del COVID 19, las grandes empresas se vieron en la necesidad de usar los asistentes inteligentes en aplicaciones básicas como chatbots y en conversaciones de voz por teléfono con clientes. O en aplicaciones ya enfocadas en las industrias como recoger pedidos, realizar tareas de logística, generar órdenes de producción, análisis de datos, pero como se puede apreciar en el área de planificación de la producción mas no directamente en el proceso productivo (Rodal, 2021). Mediante el uso de los asistentes inteligentes se tiene una disponibilidad de todo el día y a toda hora, se incrementa el número de usuarios finales atendidos, se tiene un acompañamiento de los operarios en el área de trabajo, se puede utilizar directamente en el entrenamiento de los operarios en diferentes tareas.

Pero la seguridad es un factor importante a tomar en cuenta en la industria, se debe garantizar un reconocimiento unívoco del personal y operarios, ya que el acceso a diferentes funciones debe depender del rol del mismo dentro de la empresa, se recomienda el uso de servicios con otras tecnologías para dicho reconocimiento ya que los parámetros biométricos de la voz no garantiza la seguridad, además que con el tiempo o enfermedades, las cuerdas vocales, la respiración, la lengua o dientes sufren modificaciones y esto a su vez hace que la voz de la persona se altere y no sea la misma (Rodal, 2021).

Asistentes de voz en procesos industriales

Dentro del ámbito industrial, el área donde se han realizado investigaciones, avances y estudios de la aplicación de asistentes de voz es en la línea de producción como tal. En el trabajo realizado por (Mondal et al., 2020) se implementa un asistente de voz con ayuda del Internet de las Cosas para replicar un proceso industrial en el que se debe controlar en tiempo real dos variables: temperatura y humedad, y se lo hace con ayuda de un microcontrolador ESP 8266. En este prototipo se busca el control del proceso con un conjunto de sensores y actuadores en tiempo real mediante un servidor MQTT debido a sus ventajas de seguridad, sencillez, ligereza y menor consumo de energía de los dispositivos IOT. El funcionamiento de este sistema es que cada dispositivo cuenta con un identificador para emitir ordenes sobre ellos los cuales son recopiladas en el Asistente de voz, los valores e información de los dispositivos se almacenarán en documentos de Google que pueden servir para posterior análisis de la organización y por último en el caso de que se genere una alarma en el funcionamiento o una situación de alerta se tiene una función que permite realizar llamadas al usuario que esté utilizando el servicio. En este estudio se realizaron pruebas con diferentes dispositivos para realizar pruebas de latencia con redes 3G y 4G, para verificar los cambios que se tienen en el funcionamiento, al detectar que el tiempo de respuesta del servidor se ve afectado de una red a otra. En relación al prototipo se verificó su funcionamiento, se comprendió el alcance y las características innovativas que ofrece el IoT en la industria.

En otro estudio realizado por (Afanasev et al., 2019) se crea un prototipo de módulo de asistente de voz utilizando Yandex (asistente de voz comercial) y una Raspberry Pi integrado a un sistema de arquitectura modular. Este sistema cuenta con un gemelo digital de los dispositivos físicos para simular los procesos internos de la planta para luego comparar la información simulada con la recopilada por los dispositivos reales, esto se realiza con el objetivo de detectar anomalías. El asistente de voz es encargado de conectarse con el sistema cyber físico de la planta, descargar los datos del

gemelo digital y enviarlos a un operador, de igual manera, el asistente de voz permitirá analizar los rangos aceptables de operación de los equipos, máquinas y sensores, para generar alertas al operador, entrega información sobre el estado actual de los parámetros de los equipos y una función innovadora es que el operador pueda solicitar una lista de todos los módulos o equipos que se encuentren cercanos a él y que se encuentren fuera de su vista. En este caso todo se realiza con códigos identificadores de los dispositivos para un mejor manejo de la información.

En los estudios realizados en (Guachun- Arias & Serpa-Andrade, 2022) se propone una aplicación de un ambiente IoT para el control de un proceso industrial por medio de la utilización de comandos de voz con un asistente de voz, el estudio está comprendido por 3 partes, la primera es un estado de arte de la utilización de asistentes de voz en la industria donde se concluye que la implementación de comandos de voz en las industrias puede aumentar el rendimiento de las compañías, sin embargo, también se nota como la presencia de ruido puede ser perjudicial para este tipo de automatización. La segunda parte trata acerca de una propuesta donde el asistente de voz (Alexa) estará conectado a un Raspberry PI el cual a su vez se encuentra conectado a un PLC para poder realizar el control de la velocidad de un motor mediante un variador de frecuencia, por último, la tercera parte trata de los resultados de la aplicación de la propuesta, en esta parte se concluyó como las *skills* de Alexa no tienen limitaciones ya que puede usarse perfectamente en industrias para el control de variables o dispositivos, de igual manera, se concluyó como los asistentes de voz se encuentran limitados por el ruido de los ambientes industriales donde puedan ser instalados, sin embargo, esto puede solucionarse utilizando dispositivos que puedan cancelar ruido como audífonos. El ambiente IoT con asistentes de voz puede ser utilizado en diferentes áreas de automatización como control de tanques, control de bandas transportadoras, entre otros. Incluso es posible integrarlos en procesos ya implementados.

En el trabajo de (Diamantarás, 2019) se presenta la aplicación de una interfaz de usuario de voz basado en la plataforma de Amazon Alexa. Este tiene una comunicación con un PLC por medio de una

tarjeta microcontroladora (Raspberry Pi) con la que se conecta por medio de Modbus. En este estudio se determina como los sistemas con asistentes de voz son perfectos para realizar la consulta de estado o producción de una máquina. Para el desarrollo de este sistema se generó un cuadro eléctrico a modo de maqueta para poder montar el PLC, Raspberry Pi, luces piloto y algunos dispositivos para probar el funcionamiento y control de la aplicación. Se utilizó la plataforma de *Alexa Developer* para generar el código de manejo de comandos de voz y conexión con Raspberry Pi. Las variables que pueden ser consultadas y controladas con el sistema son: producción del sistema semanal, el estado de entradas del PLC y activación de salida del PLC. Este proyecto permite aumentar el rendimiento de la comunicación con cualquier sistema automatizado que involucre la utilización de un PLC.

En el estudio de (Vicente-Samper et al., 2019) se presenta la utilización de un asistente de voz (Alexa) para la interacción con un brazo robótico industrial mediante una base de datos en la nube. Dentro del estado del arte se menciona como estos sistemas no solo pueden recibir y enviar información si no también que pueden tener respuestas y comportamiento adaptable mediante la utilización de una base de datos. En este trabajo se utiliza un *Alexa Skill Kit* (ASK) el cual es una herramienta para el desarrollo de funcionalidades con Alexa, además se utilizó la opción de programación URCap para el robot UR3e, que permite emplear una técnica de comunicación que consiste en invocar un archivo de Python el cual está alojado en la nube utilizando DynamoDB. La conexión realizada fue mediante el *Amazon Web Services* (AWS), donde los comandos de voz fueron enviados a un ASK para el procesamiento de los mismos y la decisión de que acciones tomar, luego estas acciones son pasadas a AWS lambda para finalmente modificar las tablas de bases de datos en AWS DynamoDB el cual se encuentra conectado con el robot UR3e. Se crearon tablas de datos en DynamoDB y dependiendo de los comandos de voz estos datos pueden ser modificados para ejecutar diferentes movimientos. La tarea que el robot logró ejecutar mediante dichos comandos es el ensamble de piezas de un celular. De manera similar en el trabajo de (Jungbluth et al., 2018) se presenta la utilización de un asistente virtual

para el control de un brazo robot KUKA, la conexión fue realizada de la siguiente manera: se utilizó un *Alexa speaker* el cual digitaliza y envía los comandos de voz a los servicios de voz de Amazon (AWS). Dentro de AWS primero se recibe los comandos dictados por el usuario mediante el servicio de voz de Amazon (AVS) donde se procesa y se desarrolla la aplicación de Alexa, se envía esta información al servicio lambda de Amazon (ALS), el cual permite el procesamiento de datos y envío de la información al servicio de IoT, este se conecta a una Raspberry Pi para finalmente mediante protocolo MQTT conectarse con el robot. Los resultados mostraron como el usuario podía trabajar colaborativamente con el robot al poder pedir mediante un comando de voz una herramienta y el robot lograba dar la misma, de igual manera, podía realizar movimientos básicos. Se concluyó que, a pesar de utilizar servicios de cancelación de ruido, los asistentes de voz llegarán a un límite dentro del ruido que puede generarse en la industria lo cual puede llegar a ser un problema, se determinó también que la comunicación humano- robot es más natural y eficiente de esta manera mostrando ser de bastante utilidad. Uno de los problemas encontrados es la mala interpretación de operaciones por Alexa y también la necesidad de una conexión estable constante para poder ejecutar los servicios de AWS. Hasta hace poco la integración de asistentes de voz con robots no era factible debido a cuestiones de seguridad, pero recientemente con la utilización de robots colaborativos nuevas aplicaciones son posibles. La utilización de asistentes de voz en la industria es necesario para apuntar hacia una industria colaborativa.

Asistentes de voz en mantenimiento

En esta temática, en el trabajo realizado por (Serras et al., 2020) se ha creado un asistente de voz con realidad aumentada que permita dar una ayuda y guía a los operarios para realizar el mantenimiento del efector final de un robot. La arquitectura de este sistema se encuentra conformado por unas gafas de realidad aumentada encargados de desplegar objetos digitales sobre la escena real del robot, se utilizó Speech Google Api para convertir los comandos de voz en texto y que puedan ser

entendidos por el sistema, el entrenamiento y programación fue realizado con reglas expertas para alcanzar una eficiente interacción entre el operador y el asistente.

Para verificar el funcionamiento del asistente, se realizaron pruebas con personal sin experiencia en el área industrial con el objetivo de verificar su nivel de satisfacción tanto con el diseño realizado como la experiencia con las actividades de mantenimiento encargadas. El robot y las herramientas para su mantenimiento se las ubicó en la mesa de trabajo, el elemento sobre el cual se va a realizar el mantenimiento es un *gripper* con tres dedos acoplado en el extremo del robot, en primer lugar el asistente realiza una presentación del autómeta con el que se va a trabajar mientras el operario se familiariza con el entorno, el cual puede realizar sus preguntas en cualquier momento y toda la guía se realizará con ayuda de las gafas de realidad aumentada para hacer la actividad de mantenimiento mucho más fácil, al permitir al usuario tener sus manos libres y más confianza en manipular los objetos. Como resultados se pudo apreciar que 9 de los 10 usuarios lograron finalizar sus tareas con éxito, todos lo recomendaron como una forma eficiente de entrenar a nuevos usuarios sin experiencia industrial, se realizaron recomendaciones que la velocidad del entrenamiento se adapte a las características y perfil de los usuarios, por último, tomar en cuenta las palabras de activación del sistema que pueden ser un problema debido al ruido del entorno y demás características.

En el artículo realizado por (Longo & Padovano, 2020) se habla acerca de la aceptación e implementación de asistentes de voz en la industria y específicamente en la integración con el operador 4.0. Se realiza un prototipo de un asistente de voz en el mantenimiento de una fresadora, la interacción de este asistente fue mediante el uso de un dispositivo móvil donde el asistente se comunicaba con el operador, mostrando información valiosa como videos e imágenes para el proceso de mantenimiento, como resultado del estudio se encontró como los asistentes de voz en la industria ya son un concepto lo suficientemente maduro como para que este sea investigado con más profundidad dentro de la Fábrica Social e Inteligente. En los resultados de este estudio se determinó problemas que pueden ocurrir con

los asistentes de voz en la industria, como son: tiempos de calibración junto con tiempos de puesta en marcha muy largos y una resistencia ideológica de los operadores donde estos no se ven motivados a la utilización de los mismos, no obstante, se demuestra que estos sistemas podrían ya empezar a mejorar el rendimiento en las industrias.

Asistentes de voz en control de calidad

Como se ha descrito anteriormente, la aplicación de asistentes de voz dentro de un proceso industrial permite que las actividades laborales de un operador sean asistidas de manera eficiente y puedan ser realizadas automáticamente. El control de calidad de productos es una parte esencial dentro de una línea de producción, ya que permite encontrar errores en los productos fabricados y de esta manera verificar que los mismos puedan cumplir con sus especificaciones básicas. En este contexto, en la propuesta realizada por (Ángel et al., 2020) se realiza el desarrollo de un asistente inteligente para un proceso básico de control de calidad de piezas de colores realizado por un brazo robótico. En este prototipo se han aplicado tres tecnologías: asistente de voz, visión artificial e internet de las cosas. Este asistente busca apoyar a un operador previamente identificado facialmente, en la ejecución de tareas como: iniciar o detener el proceso, generación de notificaciones audibles en el caso de existir errores en los colores de las piezas esperadas y elaboración de informes sobre indicadores del proceso como cantidad de piezas clasificadas totales y por color.

En este caso se utilizó visión artificial para garantizar cierto nivel de seguridad para permitir el acceso al funcionamiento del sistema, además permite el reconocimiento de colores y objetos para su clasificación y contabilización. Para el reconocimiento de voz y respuesta, utilizaron las librerías de Google *Text to Speech* basadas en redes neuronales de aprendizaje profundo. Por último, el internet de las cosas permite el intercambio de datos con los dispositivos conectados a la red y con su servidor alojado en una Raspberry Pi. Una vez puesto en marcha se verificó la recreación de un entorno de

Industria 4.0, mejorando la interacción entre los equipos y operadores, la creación de un entorno colaborativo, la flexibilidad y escalabilidad que permiten en nuevas aplicaciones.

Asistente de voz Alexa

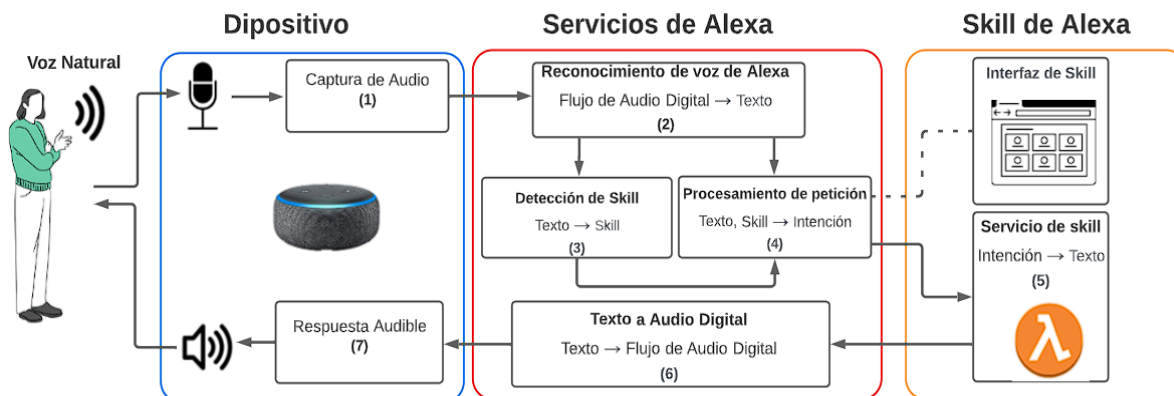
Alexa es un servicio o asistente de voz basado en el manejo de datos que se encuentran en la nube, con Alexa es posible desarrollar experiencias de voz natural, lo cual ofrece a los usuarios una interacción más intuitiva con la tecnología. Este asistente virtual es capaz de: interacciones de voz, reproducción musical, hacer listas, establecer alarmas, transmitir podcast, reproducir audiolibros, proveer información del clima, tráfico, deportes, noticias, etc. Alexa interactúa con los usuarios mediante un altavoz inteligente el cual escucha al usuario cuando la palabra clave “Alexa” es pronunciada, una vez que Alexa se encuentra escuchando entonces reconoce comandos de voz, conocidos como intenciones del usuario, con lo que preparará una respuesta adecuada al pedido y lo reproduce con una voz sintética en el parlante.

Canal de procesamiento de Alexa

Es importante comprender como es el funcionamiento del asistente de voz Alexa, es decir conocer cuál es el procesamiento realizado para que el dispositivo electrónico pueda recoger la intención de un usuario y dar respuesta a la misma. En la Figura 1, se muestra el canal de procesamiento de los datos a recibir y a enviar, como los elementos necesarios para que funcione adecuadamente.

Figura 1

Canal de procesamiento de Alexa



Nota. La figura muestra el canal de procesamiento. Tomado de *Creación e implementación de una skill de Alexa para laboratorios farmacéutico*, por Navarro, A., 2020, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

Captura del audio: Con ayuda de cualquier dispositivo Echo o Alexa, se realiza la grabación de audio de la voz de un usuario una vez que este haya dicho la palabra de activación correspondiente. A este audio se lo digitaliza para posteriormente encriptarlo y enviarlo a la nube. Cabe mencionar que el dispositivo solo es una interfaz la que recibe las peticiones y reproduce las respuestas, todo el procesamiento de Alexa se lo hace en la nube.

Reconocimiento de voz alexa: Con las librerías de *Speech to Text* correspondientes, el audio que fue captado por el dispositivo se lo reconoce y transforma en una cadena de texto.

Reconocimiento de skill: La cadena de texto es analizada y se realiza la activación de la aplicación o *skill* según la petición inicial.

Procesamiento de peticiones: En esta parte, entra en funcionamiento el reconocimiento de intenciones de la *skill* que fue activada, es decir se obtiene la petición del servicio y todos los parámetros respectivos para poder dar una respuesta adecuada a lo solicitado.

Respuesta en texto: Una vez con todos los parámetros de la petición realizada, se accede al servicio de la *skill*, el cual es el encargado de dar una respuesta conveniente según todos los datos recibidos. Por lo general, esta fase entrega una respuesta en texto para que sea transmitida al usuario.

Transformación de texto a audio digital: En este caso se utiliza las librerías de *Text to Speech* propias de Alexa, para transformar la cadena de texto entregada como respuesta en un audio digital.

Respuesta audible: El dispositivo echo o Alexa reproduce este audio al usuario como respuesta a su petición, y de ser el caso espera un tiempo prudente para receptor una respuesta por parte del usuario y nuevamente realizar el proceso descrito.

Alexa skills

Las *skills* son aplicaciones o funciones que se pueden agregar al asistente de voz Alexa y que permiten realizar diferentes acciones sobre dispositivos inteligentes o ayuda a realizar tareas cotidianas de la vida como reproducción de música, ingreso de recordatorios, realizar compras en línea entre las más utilizadas. Estas *skills* son creadas desde la necesidad de un usuario final y dependen del modo de interacción, las capacidades y características (Alexa Developer Console, 2022). Técnicamente una *skill* de Alexa busca dar solución a peticiones específicas, pero esto se logra gracias a:

Interfaz de skill: Es la parte de configuración general, en la que se declara a los comandos de voz a los cuales dará una respuesta y como esta se puede relacionar con demás dispositivos o servicios disponibles en el entorno o en la red.

Servicio de skill: Una vez creada la *skill*, se encuentra lista para ser activada desde cualquier asistente de voz Alexa, esta responderá una vez detectada la palabra de activación y la intención a la que se busca dar una respuesta.

La programación de cada una de las *skills* debe realizarse tomando en cuenta que la interacción entre el asistente de voz y el usuario debe ser intuitivo, fácil de manejar y natural (Navarro, 2020). Se debe pensar en posibles formas de realizar una misma solicitud y el uso de formas comprensibles para

responder a los usuarios, esto con el objetivo de poder dar respuesta ante cualquier escenario que se pueda presentar, ya que, no se va a tener un solo usuario que utilice la *skill*.

Amazon Alexa permite el desarrollo de diferentes tipos de *skills*, donde en su página oficial se puede ingresar a *Alexa Skills Kit*, donde se da una lista de las posibles *skills* que pueden ser desarrolladas desde la consola de programación propia de Alexa. Entre las más comunes y desarrolladas se encuentra (Alexa Developer Console, 2022):

Tabla 1

Skills de Alexa más comunes

Skill	Descripción
Custom skill	Permiten dar respuesta a cualquier inquietud o pregunta que tenga el usuario final. Permite programación de cualquier experiencia como juegos, salud, compras, educación y estado físico.
Connected Vehicle Skills	Permite realizar el control y monitorización de los vehículos mientras están en casa o si se encuentran en un viaje.
Video Skills & Audio Skills	Permite que el usuario final pueda controlar dispositivos de reproducción de video, música o radios según sus deseos o necesidades.
Smart Home Skills	Permite el control de dispositivos inteligentes conectados al Internet y que sean compatibles con Alexa, ya sean sensores o actuadores, siendo estos dispositivos de seguridad o domótica.
List Skills	Permite configurar el contenido de listas de creadas por el usuario, permitiendo agregar, eliminar, actualizar elementos.

Nota. La tabla muestra los tipos de *skill*. Tomado de *Index of Skill Types*, por Alexa Developer Documentation, 2022.

Programación por bloques en VoiceFlow

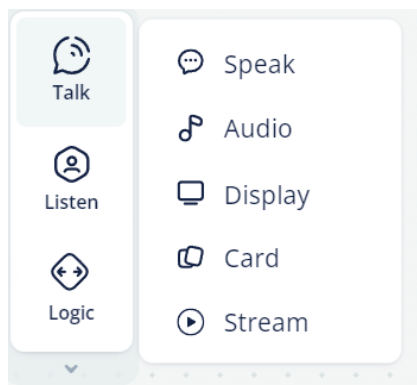
Esta programación está orientada a realizar el desarrollo de una *skill* de una manera más fácil que la presentada en la programación textual mediante el manejo de bloques de programación, estos bloques ejecutan líneas de código específicas, por lo tanto, el usuario solo debe colocar los bloques, configurarlos según sus propósitos y finalmente conectarlos entre sí. *Voiceflow* es una plataforma que es utilizada para este propósito, esta cuenta principalmente de las siguientes categorías de bloques para su programación:

- **Bloques de respuesta hablada (*Talk*):** Este tipo de bloques es utilizado para que Alexa pueda dar una respuesta a comandos de voz o información obtenida, esto puede ser mediante una respuesta con un texto el cual es transformado en un audio, se puede reproducir un audio específico o una canción, es posible mostrar una imagen o un video el incluso realizar la transmisión de otros archivos multimedia.

En la Figura 2 se puede apreciar las opciones del bloque de respuesta hablada.

Figura 2

Opciones de bloques de respuesta hablada



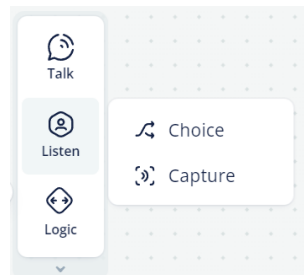
Nota. Tomado de *Interfaz de desarrollo Voiceflow*, por Voiceflow, 2022.

- **Bloques de escucha (*Listen*):** Estos bloques se encargan de procesar las peticiones de voz realizadas por el usuario, esto lo realiza mediante la identificación de comandos o palabras claves guardadas en la base de datos, estos bloques están básicamente conformados por un bloque de decisiones en el cual dependiendo de la intención del usuario se desarrollará una actividad, de igual manera, se

tiene otro bloque el cual tienen el objetivo de capturar la o grabar la información que el usuario quiera proporcionar como un nombre, una dirección de correo, una anotación, etc. En la Figura 3 se puede observar los bloques de escucha:

Figura 3

Bloques de escucha

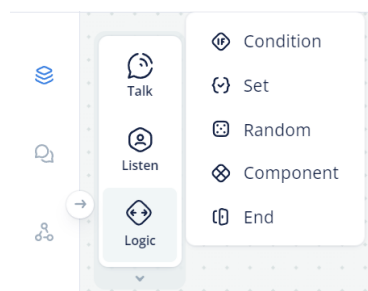


Nota. Tomado de Interfaz de desarrollo Voiceflow, por Voiceflow, 2022.

- **Bloques de lógica:** Son útiles para realizar la lógica de programación de la aplicación de Alexa, estos contienen operaciones lógicas de programación como: bucles, condiciones, establecer variables, consultar variables, finalizar un código, etc. En la Figura 4 se puede observar las opciones a escoger en los bloques de lógica.

Figura 4

Bloques de lógica



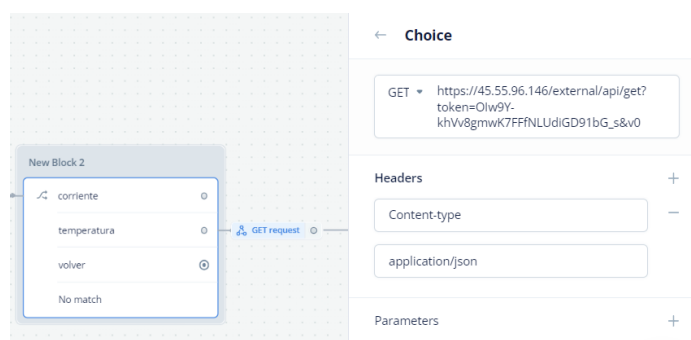
Nota. Tomado de Interfaz de desarrollo Voiceflow, por Voiceflow, 2022.

- **Servicios API:** Algo interesante a remarcar es los servicios API que contiene *Voiceflow*, mediante estos es posible el acceso y manipulación a variables o dispositivos externos. Las API manejan un código

URL el cual determina el acceso a ciertas variables, dentro de *Voiceflow* es posible colocar este URL para posteriormente guardar el valor encontrado dentro de una variable en *Voiceflow*. La configuración de esta API puede realizarse en los bloques de escucha con el bloque “*choice*”, al configurar la API se agrega automáticamente un bloque llamado “*GET request*” como puede observarse en la Figura 5.

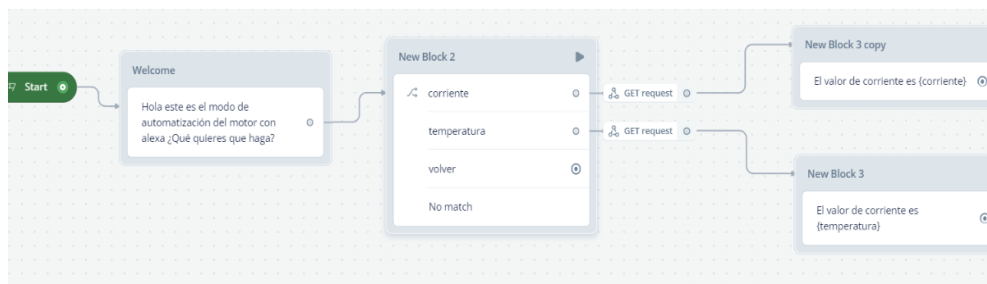
Figura 5

Configuración de API en Voiceflow



Nota. Programación por bloques para una aplicación básica que otorga información de variables de un sistema.

En la Figura 6 se puede observar una aplicación básica utilizando los bloques principales explicados. Primero se tiene en “*start*” el inicio de la aplicación, este será activado cuando se mencione una palabra clave a Alexa, luego se pasa a un bloque de respuesta hablada donde Alexa da la bienvenida a la aplicación y pregunta el siguiente paso que en este caso será pedir información de una variable, luego se pasa a un bloque de escucha de intención donde dependiendo del comando dado se buscará la variable pedida mediante la utilización de una API, el bloque “*GET request*” es la configuración de la API, donde finalmente se guardará la información pedida en una variable de *Voiceflow* para posteriormente comunicarla mediante un bloque de respuesta.

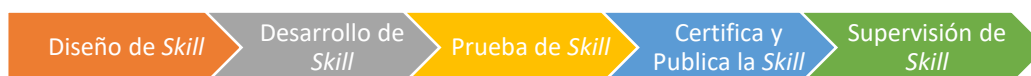
Figura 6**Aplicación básica de Voiceflow**

Nota. Programación por bloques para una aplicación básica que otorga información de variables de un sistema.

La facilidad brindada al usuario para el desarrollo de aplicaciones se encuentra limitada, ya que, a pesar de proporcionar varias formas de configuración de bloques, no se podrá obtener una personalización de código tan específica como la que puede obtenerse dentro de la programación textual, por lo tanto, el enfoque o acercamiento correcto para el desarrollo de aplicaciones de Alexa puede ser una combinación de los dos tipos de programación.

Programación Textual

El diseño y programación de una *skill* se puede realizar desde *Alexa Developer Console*, en cuanto al lenguaje de programación se puede seleccionar entre Node js, JavaScript o Python, permitiendo al diseñador adaptarse de acuerdo a sus conocimientos.

Figura 7**Creación de una skill en Alexa Developer Console**

Nota. La figura muestra la creación de *skill*. Tomado de *Design your Skill*, por Alexa Developer Documentation, 2022.

Diseño de skill: Como primer paso se realiza el diseño del modelo de la interacción de voz, en donde se definen las palabras y frases que van a ser identificadas, reconocidas y procesadas por el dispositivo para que realicen las tareas o actividades para la cual está siendo creada la *skill*. Con esto se refiere a la elaboración de las posibles solicitudes y respuestas que se desean tener.

Desarrollo de skill: El kit de desarrollo de Alexa contiene una serie de bibliotecas y herramientas que permite el desarrollo de las *skills*. En este punto se desarrolla el código de programación lo cual se puede realizar desde la consola de programación propia de Alexa o un editor de código como Visual Studio. En esta parte, dependiendo del tipo de skill que se esté diseñando se utilizan servicios externos como: servicios en la nube de Amazon (AWS), almacenamiento de datos (DinamoDB).

La programación en este punto se realiza de manera textual, en base al diseño realizado inicialmente y según la aplicación que se desee dar al sistema.

Figura 8

Ejemplo 1 Código de Programación

```
const GetFactIntentHandler = {
  canHandle(handlerInput) {
    return handlerInput.requestEnvelope.request.type === 'IntentRequest'
      && (handlerInput.requestEnvelope.request.intent.name === 'GetFactIntent'
        || handlerInput.requestEnvelope.request.intent.name === 'AMAZON.YesIntent'
        || handlerInput.requestEnvelope.request.intent.name === 'AMAZON.NextIntent');
  },
  handle(handlerInput) {
    const speechText = getRandomItem(CURIOSIDADES);
    return handlerInput.responseBuilder
      .speak(speechText + getRandomItem(PREGUNTAS))
      .reprompt(getRandomItem(PREGUNTAS))
      .getResponse();
  }
};
```

Nota. En el código se muestra 4 tipos de intenciones dadas por el usuario y sus respectivas respuestas.

En la Figura 8, se aprecia una función, que busca dar respuesta ante peticiones específicas las cuales fueron programadas inicialmente y a casos especiales en la que se responda “si” o “siguiente”. Como tal Amazon tiene intenciones propias que se acceden por medio de “AMAZON.”, que tienen algunas variaciones para comprender cuando un usuario necesita realizar una intención como afirmar algo, negar algo, avanzar o retroceder en algo, pedir ayuda o demás.

Figura 9

Ejemplo 2 Código de Programación

```

const HelpIntentHandler = {
  canHandle(handlerInput) {
    return handlerInput.requestEnvelope.request.type === 'IntentRequest'
      && handlerInput.requestEnvelope.request.intent.name === 'AMAZON.HelpIntent';
  },
  handle(handlerInput) {
    const speechText = 'Puedes pedirme una curiosidad. Cómo te puedo ayudar?';

    return handlerInput.responseBuilder
      .speak(speechText)
      .reprompt(speechText)
      .getResponse();
  }
};

```

Nota. La figura muestra la programación de una respuesta personalizada ante una petición.

En la Figura 8 y Figura 9, se puede apreciar la estructura de una función en la que inicialmente se define la parte del ingreso de las peticiones y la respuesta ante dicha entrada. Tanto para lo que se espera escuchar desde el dispositivo, *request.intent*, como para las respuestas que se desean dar, *.speak*, al ser una interacción entre un usuario final y el dispositivo, se espera una respuesta que es capturada con la función *getResponse()*. De esta manera se puede crear un modelo de interacción según los requisitos y necesidades, por lo que se debe realizar una familiarización con el entorno de desarrollo y el lenguaje de programación a utilizar.

Prueba de skill: La verificación y depuración de lo programado tiene como objetivo determinar si existen inconsistencias o errores en la fase de diseño y desarrollo de la *skill*. Este proceso es diferente dependiendo del tipo de *skill* que se encuentre desarrollando. De manera general, se debe probar la palabra de activación que se ha definido para que el dispositivo pueda reconocer una orden, se debe realizar pruebas con las declaraciones de los pedidos programados y sus respectivas variaciones, es decir se debe verificar todo el proceso de interacción entre el usuario y el dispositivo.

Certificación y publicación de la skill: Una vez creada, desarrollada y probada la *skill* diseñada, para que pueda ser publicada y encuentre lista para ser distribuida para los demás usuarios, se debe cumplir un proceso en el que se garantice el cumplimiento de la política de Amazon, seguridad,

funcionalidad y permita tener una experiencia agradable al usuario. Aprobado y certificada la *skill*, esta puede ser publicada en la tienda de Amazon para que demás personas puedan utilizarla.

Supervisión de skill: Distribuida la *skill* a usuarios de Amazon, el desarrollador puede realizar un seguimiento sobre las estadísticas propias de la *skill*, para ver como los usuarios están interactuando o relacionándose con la *skill*. Una *skill* puede generar ingresos al desarrollador si se encuentra debidamente monetizadas, en este caso se entregan balances sobre las ganancias obtenidas en periodos de tiempo determinados.

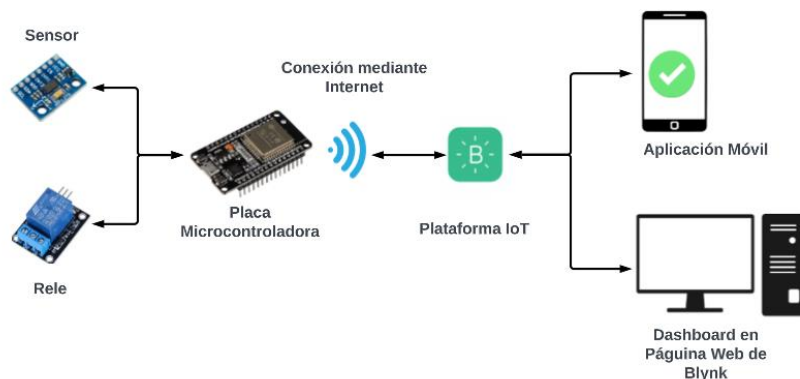
Plataformas auxiliares en la programación de skills de Alexa

Blynk

Blynk es una plataforma de IoT utilizada para la administración y conexión de hardware al internet. *Blynk* tiene la característica de poder integrar dispositivos inteligentes y también dispositivos compatibles con Arduino, otorgando la habilidad de controlar y observar los datos entregados por estos dispositivos de una manera remota a través del internet. Esto es posible gracias a la utilización de un servidor en la nube el cual gestiona los datos y luego se encarga de presentarlos. Para utilizar *Blynk* se requieren 3 cosas: un celular inteligente, una placa microcontroladora para conectar interactuar con el hardware y una conexión a internet para conectar la placa a la plataforma, en la Figura 10 se puede observar un esquema del funcionamiento de *Blynk*. Adicionalmente, los dispositivos conectados a la plataforma pueden ser visualizados y controlados mediante la aplicación móvil de *Blynk* o también se puede hacer directamente dentro de la página web de la plataforma.

Figura 10

Esquema de Funcionamiento de Blynk IoT



Nota. La figura muestra el esquema de conexión de dispositivos controlados por Arduino con la plataforma de *Blynk IoT*.

Node Red

Node Red es una plataforma de programación por bloques y textual, basada en el flujo y transmisión de datos e información. Su funcionamiento trata de una serie de bloques llamados nodos, donde cada uno tienen una función específica, estos nodos se encuentran conectados entre sí para realizar una o varias acciones en conjunto (Node Red Inc., 2023). A cada uno de los nodos se realiza la configuración o programación respectiva para que trabaje con los datos en su entrada y envíe nuevos datos a su salida, pero en la interfaz de programación cada nodo se ve como una caja negra, lo que facilita y ayuda a tener una interpretación rápida y general del proceso que se está realizando.

Esta herramienta brinda la facilidad de comunicación entre hardware y diferentes servicios de terceros en la nube de una manera muy rápida y segura, sin tener un amplio conocimiento en protocolos de comunicación o altos lenguajes de programación. *Node Red* ofrece la facilidad para el desarrollo de proyectos o prototipos relacionados con el internet de las cosas, es decir se puede trabajar con dispositivos inteligentes conectados a internet para activarlos, desactivarlos, leer o escribir datos dependiendo de la aplicación en la que se utilice (Hernández, 2018).

Vulnerabilidades del asistente de voz Alexa

Con el incremento de la popularidad de la utilización de dispositivos que sean activados por medio de la voz, también se incrementa la conciencia respecto a su privacidad y el posible ataque de hackers o software malicioso. En estudios como el presentado en (Leong, 2017) se comenta como existen los siguientes ataques potenciales:

- Intervención de dispositivo en información: Los fabricantes tienen libertad para poder construir un hardware como ellos deseen, lo cual permite a los desarrolladores poder intervenir en los dispositivos para poder espiar al usuario, donde el filtrado de información confidencial es notorio.
- Intervención de dispositivo en acciones: De igual manera una intervención puede hacer que dispositivos o rutinas sean activadas o desactivadas, lo cual se ha puesto especial notoriedad en las consecuencias dentro de las industrias.
- Acceso no autorizado a transacciones: El desarrollador puede realizar intervenciones dentro de una *skill* de Alexa para realizar un manejo no autorizado de transacciones de cuentas bancarias que se encuentren asociadas al usuario.

Estos son posibles escenarios a encontrar respecto a las vulnerabilidades de Alexa, sin embargo, en (Leong, 2017) se concluye como la plataforma de Alexa es segura, el peligro puede encontrarse dentro de la utilización de aplicaciones de terceros como las que se utilizan para manejar una interfaz de programación de aplicaciones (API).

Capítulo III

Diseño del sistema de seguridad Industrial con Alexa

Introducción

El presente capítulo trata acerca del diseño realizado para el proyecto de sistema de seguridad industrial, el mismo contempla dos partes. La primera trata acerca de la selección, detalles y configuración de todo el hardware y la parte física del proyecto. Los dispositivos a ser utilizados tanto en la parte de control como en la parte de potencia del sistema son presentados en este espacio. La segunda parte trata acerca del diseño del software utilizado para realizar la integración de dispositivos y obtener los objetivos planteados con el sistema de seguridad industrial con asistente de voz, en esta parte se presenta todo lo que corresponde al: procesamiento de señales, configuración de dispositivos, la programación de la *skill* y el IoT utilizado en el sistema.

Especificaciones técnicas de sensores y dispositivos inteligentes

A continuación, se describen las características técnicas fundamentales sobre el funcionamiento de cada uno de los sensores y dispositivos inteligentes necesarios para realizar el encendido y apagado del motor, medición de la corriente en cada una de las líneas, medición de la temperatura en el área del motor y la vibración del mismo. Resaltando sus características fundamentales y su operación.

Cabe mencionar que los dispositivos con los que se trabaja en el sistema son desarrollados o compatibles con la aplicación *Tuya Smart*, la cual permite realizar la gestión, monitoreo y control de los mismos desde la aplicación móvil o desde la plataforma IoT en la nube.

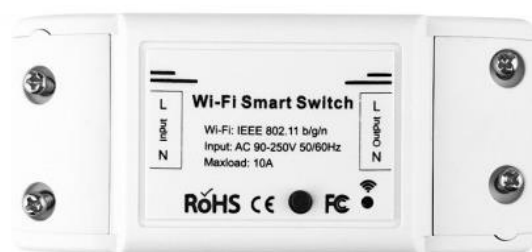
Relé Inteligente

Este dispositivo inteligente desarrollado por *Tuya Smart* es utilizado para realizar el encendido horario/antihorario y el apagado del motor. Una de las características fundamentales de este interruptor (Figura 11) es su compatibilidad con los asistentes inteligentes: Amazon Alexa y *Google Home*, para realizar el control por voz de los mismos. Su operación se la puede realizar de manera local

mediante un botón para su activación y desactivación, mientras que la operación remota se la puede realizar desde la aplicación móvil de *Tuya Smart*, con asistentes de voz o desde la plataforma en la nube de *Tuya Smart*. En la Tabla 2, se describe las características principales de este dispositivo.

Figura 11

WiFi Relé Inteligente



Nota. Relé Inteligente con conexión WiFi, dispositivo desarrollado por *Tuya Smart*. Tomado de *Interruptor Smart Switch Básico WIFI Tuya Smart*, por Zona Segura Tech, 2022.

Tabla 2

Características del Relé Inteligente

Característica	Descripción
Voltaje de Operación	90 - 250 VAC
Frecuencia de Operación	50 - 60 Hz
Temperatura	-20°C a 60°C
Potencia de la Carga	2000 W
Máxima Corriente	10 A
WiFi	2.4 GHz - IEEE 802.11
Compatibilidad	Amazon Alexa, Google Home e IFTTT

Nota: Información de *Interruptor Smart Switch Básico WIFI Tuya Smart*. Tomado de *Interruptor Smart Switch Básico WIFI Tuya Smart*, por Zona Segura Tech, 2022.

Sensor de Corriente (Módulo ACS712)

Dentro de los dispositivos inteligentes compatibles con Alexa, no existen sensores que permitan medir el valor de la corriente consumida por una carga. Por lo que la solución planteada para obtener el valor de corriente en cada una de las líneas es utilizar el módulo ACS712 (Figura 12) junto con la placa microcontroladora ESP32, mediante la cual se envía los valores medidos a *Blynk* (plataforma online para el desarrollo de aplicaciones) para que se pueda acceder a ellos con la plataforma *VoiceFlow*, donde se programa la *skill* de este sistema.

Este es un sensor de corriente cuyo principio de funcionamiento es el efecto hall, donde a su salida se tiene un valor de voltaje de 0 V - 5 V proporcional al campo magnético producido por la corriente de la línea que detecta en su entrada. Debido a la aplicación en la que se trabaja se ha seleccionado el modelo **ACS712ELCTR-05B-T** que mide hasta una corriente de ± 5 A. Este sensor permite la medición de corriente en DC y AC, al medir valores instantáneos de corriente cuando se trabaja en corriente alterna se identifica los valores pico para una posterior transformación a un valor eficaz, esto se explica de mejor manera en el procesamiento de la señal de corriente. En la Tabla 3, se describe las características principales de este módulo.

Figura 12

Módulo Sensor de Corriente



Nota: Sensor de corriente de 5 A. Tomado de *Módulo ACS712ELCTR-05B-T*, por Allegro MicroSystems, 2023.

Tabla 3*Características del Módulo ACS712ELCTR-05B-T*

Característica	Descripción
Alimentación	4.5 a 5.5 VDC
Corriente consumida	10 mA
Rango de Medida	± 5 A
Corriente de Medida	AC-DC
Salida de Voltaje sin corriente	Valimentación/2
Sensibilidad	185 mV/A
Resistencia interna	1.2 m Ω
Aislamiento	2.1 Kv rms en terminales del elemento conductor
Picos de Corriente	Soporta picos máximos de hasta 5 veces corriente nominal
Tiempo de respuesta	5 us
Rango de Error	1.5% (25°C)
Medida del módulo	31 mm x 14 mm

Nota. Información de Módulo ACS712ELCTR-05B-T. Tomado de Módulo ACS712ELCTR-05B-T, por Allegro Microsystems, 2023.

Sensor Acelerómetro (Módulo ADXL345)

En los dispositivos inteligentes ofertados y compatibles con Alexa, existe un sensor de vibración cuyo principio de funcionamiento son dos filamentos separados, que al existir una vibración hacen contacto y se detecta el movimiento, pero al no ser un dispositivo para aplicaciones industriales, debido a su sensibilidad y datos entregados no fue considerado como parte de la solución. Se optó por utilizar el módulo ADXL345 (Figura 13), mediante el cual se va a analizar los movimientos en tres ejes. Al superar una tolerancia específica, el módulo mostrará que el motor opera en condiciones anormales. Este

elemento al igual que el módulo de corriente, trabaja junto con la placa microcontroladora ESP32, para enviar la información a *Blynk* y poder acceder a ella desde la plataforma *VoiceFlow*.

Este módulo es un acelerómetro de tres ejes cuya sensibilidad puede ser modificada por software. Su principio de funcionamiento es el medir la aceleración estática de la gravedad en aplicaciones donde se trabaje con inclinaciones o la aceleración dinámica para aplicaciones de vibración, movimiento o impacto. En la Tabla 4, se muestra un resumen de las características principales de este módulo.

Figura 13

Módulo Acelerómetro



Nota. Acelerómetro de 3 ejes. Tomado de *Módulo ADXL345*, por Analog Devices, 2023.

Tabla 4

Características del Módulo ADXL345

Característica	Descripción
Alimentación	3 a 5 VDC
Corriente consumida en medición	23 μ A
Corriente consumida en standby	0.1 μ A
Sensibilidad movimiento	4mg/LBS
Sensibilidad inclinación	0.25°
Grados de Libertad	3 ejes
Sensibilidad seleccionable	\pm 2g,4g,8g,16g
Bits de Resolución	13 bits
Medida del módulo	28 mm x 14 mm

Nota: Información de ADXL345. Tomado de *Módulo ADXL345*, por Analog Devices, 2023.

Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura y humedad escogido para la solución es un sensor inteligente desarrollado por *Tuya Smart* y compatible con asistentes de voz como Amazon Alexa y Google

Home. Mediante este sensor mostrado en la Figura 14, se podrá monitorear la temperatura del área cercana al motor, su revisión se puede realizar desde la aplicación móvil de *Tuya Smart* como desde la Plataforma IoT en la nube, desde la cual se pueden obtener los datos de interés. Este sensor incluye una alarma sonora cuando la temperatura o la humedad excede un valor establecido dentro de la aplicación. En la Tabla 5, se muestra las características principales de este dispositivo.

Figura 14

Sensor Inteligente de Temperatura y Humedad



Nota. Tomado de *Sensor de Temperatura y Humedad*, por Tuya Smart, 2023.

Tabla 5

Características del Sensor de Temperatura y Humedad

Característica	Descripción
Alimentación	3 V
Baterías	2 pilas AAA
Corriente en reposo	30 uA
Protocolo	WiFi, Bluetooth
Frecuencia WiFi	2.4 GHz

Característica	Descripción
Rango de Operación Temperatura	-10°C +50°C
Rango de Operación Humedad	10% a 90%
Dimensión	5cm x 5cm x 3cm

Nota. Información del dispositivo inteligente de *Tuya Smart*. Tomado de *Sensor de Temperatura y Humedad*, por Tuya Smart, 2023.

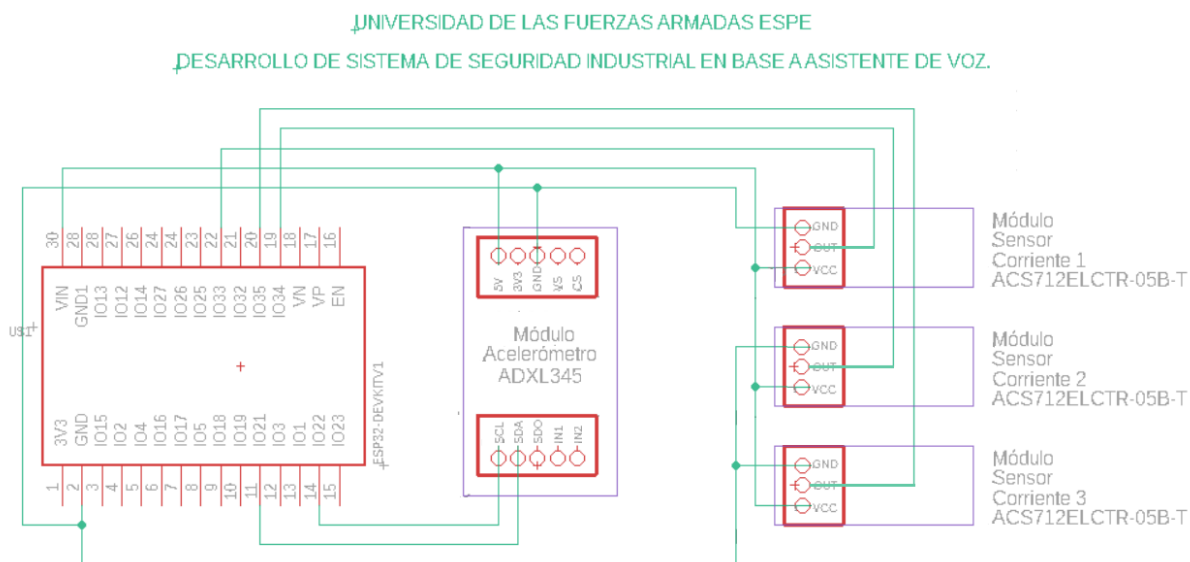
Diseño de la placa

Una vez que se comprobó el funcionamiento de cada uno de los sensores, se diseñó el circuito en una placa PCB para ubicar la tarjeta ESP32, el módulo acelerómetro ADXL345 y los 3 módulos ACS712ELCTR-05B-T para medir la corriente de cada una de las líneas que alimenta el motor. No se añadió ningún componente adicional en la placa ya que cada uno de los módulos tienen el acondicionamiento necesario para obtener las señales. El esquemático del circuito se muestra en la Figura 15.

Figura

15

Esquemático del Circuito del Sistema

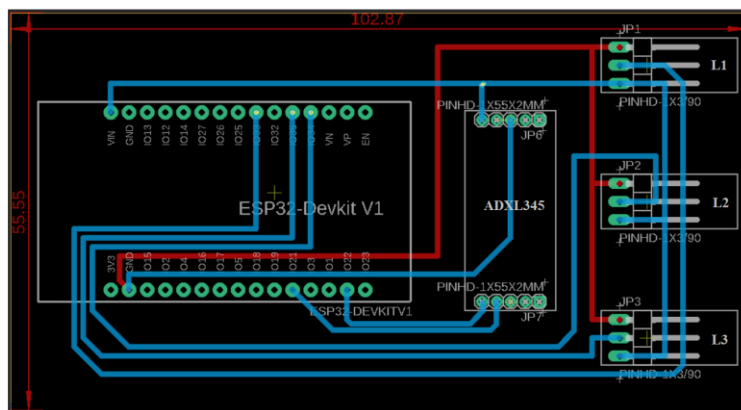


Nota. Circuito del sistema realizado en Fusión 360, el cual se implementará en la placa PCB.

La placa tiene una dimensión de 55.55 mm de ancho y 102.87 mm de largo, fue diseñada en el software de Fusion 360 y se la muestra en la Figura 16.

Figura 16

Diseño de la placa PCB del sistema

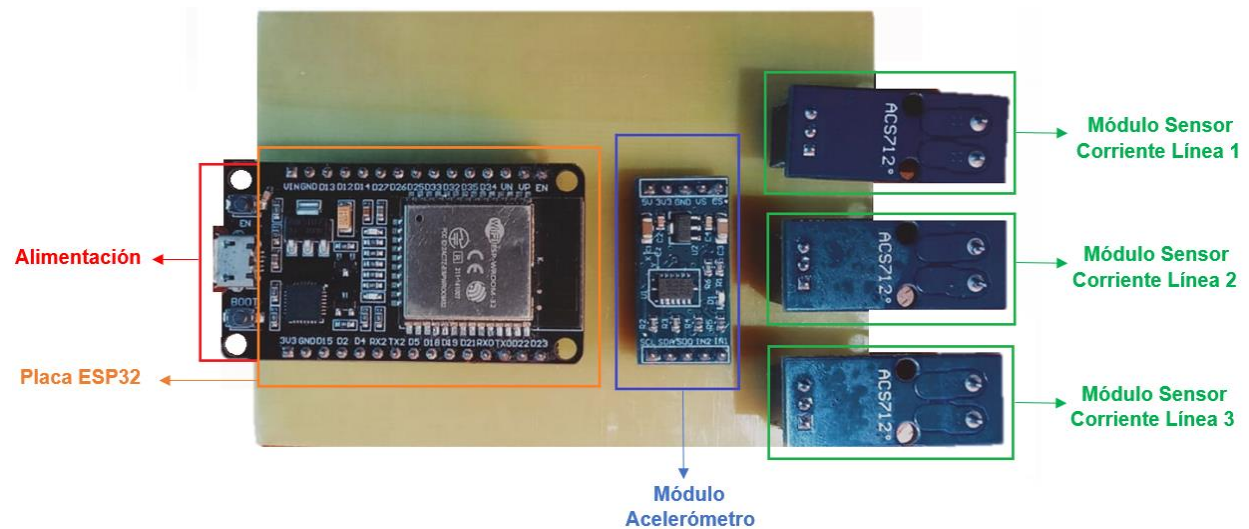


Nota. Placa PCB diseñada para el circuito de monitoreo de las variables de corriente y vibración.

Se tiene una sola fuente de alimentación para todo el circuito, que es la alimentación necesaria para la placa ESP32 que se hará con un cargador USB que entrega 5 V y máximo 2 A. La polarización de los módulos de corriente y acelerómetro es de 5V, los mismos que se obtendrán del pin Vin de la placa microcontroladora. En la Figura 17, se muestra la placa PCB con la tarjeta y los sensores colocados. Se continuó con el diseño de la carcasa para la placa.

Figura 17

Hardware del Sistema

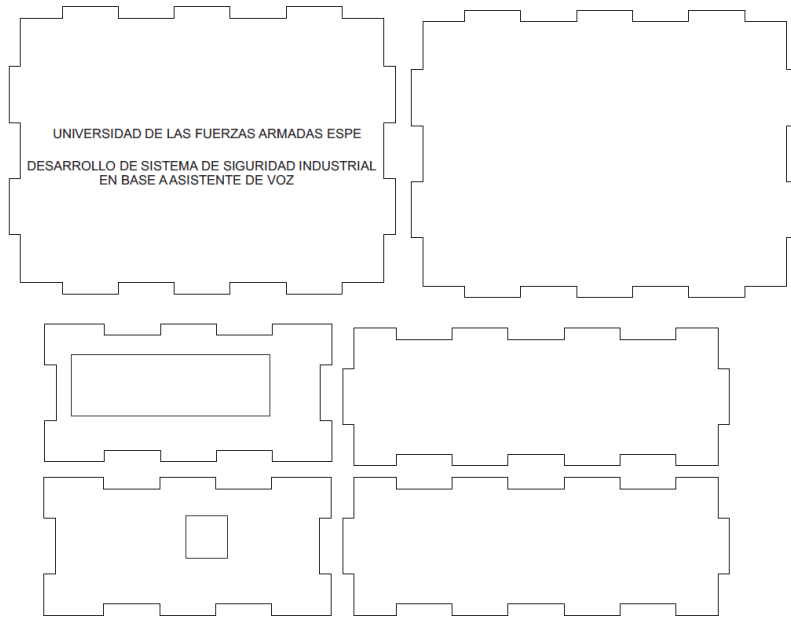


Nota. Resultado final de la implementación del hardware diseñado.

Diseño del dispositivo físico

La carcasa del dispositivo fue diseñada por medio del software Core Draw, el material seleccionado para su corte fue acrílico debido a sus propiedades de resistencia a la temperatura y a impactos. Esta caja fue diseñada para que contenga en su interior la placa del Circuito PCB mostrado en la Figura 17, las dimensiones de la caja son 7.6 cm de ancho, 10.2 cm de largo y 3.6 cm de alto.

En una cara lateral cuenta con una ventana para la salida de los 3 módulos sensores de corriente, mientras que, en la cara contraria se tiene una ventana para el ingreso de alimentación para la placa ESP 32. En la tapa superior se grabó el nombre del tema del proyecto desarrollado y de la universidad. El diseño realizado de la caja se puede observar en la Figura 18.

Figura 18*Plano Caja de la Placa*

Nota. Diferentes vistas de la caja para el hardware del sistema.

En el interior de la caja se tiene un solo compartimento para colocar la placa. Se tiene una tapa superior que deja a la caja como un sistema, en la que se encuentra impresa el título del proyecto. En la Figura 19 se aprecia la caja diseñada.

Figura 19

Caja del sistema



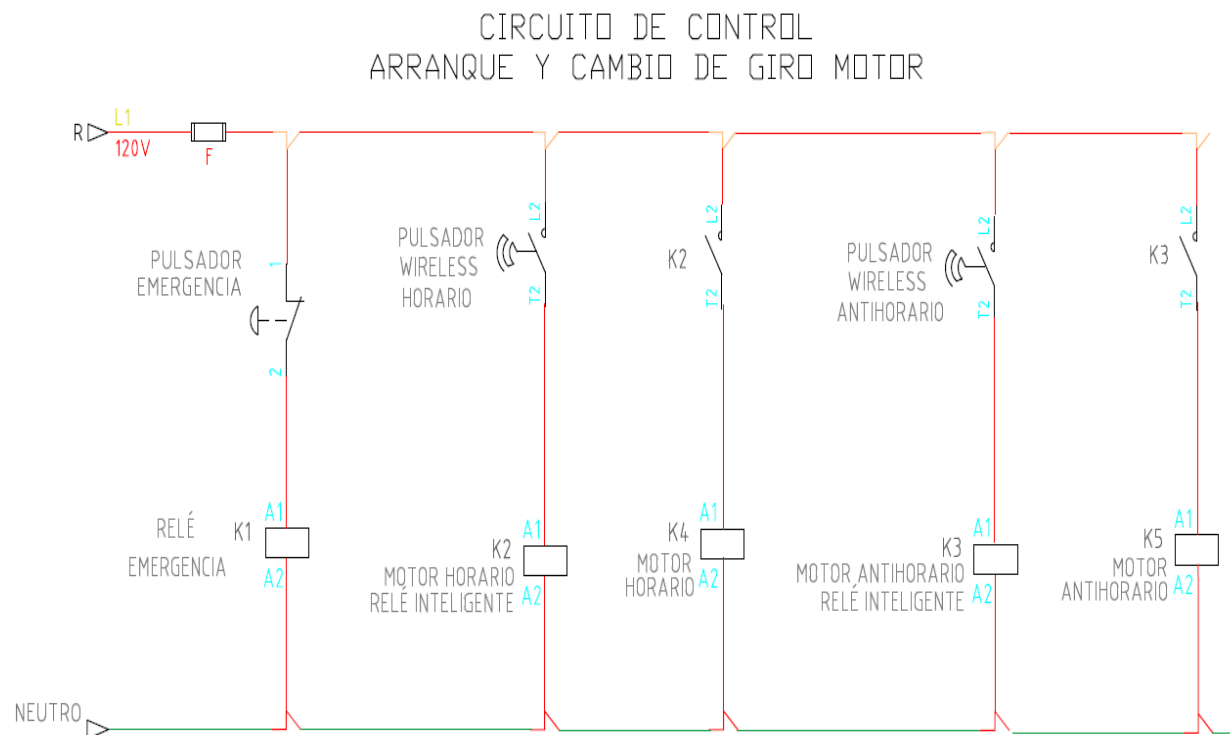
Nota. Caja del sistema colocada sobre el motor.

Circuito de Control y Fuerza del Motor

Los dispositivos que realizan el control del encendido en sentido horario y antihorario, como el apagado del motor son los relés inteligentes (*smart switch*) descritos anteriormente. Cada uno de los relés inteligentes energizan la bobina de un relé mecánico respectivamente, esto con el objetivo de garantizar que los dispositivos de control no se conecten directamente con el motor, garantizando una protección a los relés inteligentes por sobrecargas de energía. El diagrama eléctrico del circuito de control se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Diagrama Eléctrico del Circuito de Control



Nota. El diagrama presenta el circuito para el funcionamiento del motor.

El pulsador normalmente cerrado de paro de emergencia, hace que la bobina del relé de emergencia (K1) se encuentre energizado en todo momento hasta que el operador lo active ante una situación de peligro. Al pulsar la zeta de emergencia, los contactos del relé quedan abiertos dejando sin alimentación a las 3 líneas del circuito de fuerza y al circuito de control, provocando que el motor se apague y los relés inteligentes que lo controlan reinicien su estado.

Se trabaja con un motor marca Baldor modelo MM3545, para el circuito de fuerza mostrado en la Figura 21 se hizo el cálculo de las protecciones, en base a los datos obtenidos de la placa técnica del motor. Cabe aclarar que estos dimensionamientos se realizan considerando un funcionamiento del motor en vacío.

Corriente nominal del motor

$$|In = \frac{p}{\sqrt{3} \times V \times n \times fp} \quad (1)$$

$$In = \frac{750}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.80 \times 0.80}$$

$$In = 3.1 \text{ A}$$

Conductor: Se dimensiona el conductor a utilizar al 125% de la corriente nominal.

$$I = 1.25 \times 3.1 \text{ A}$$

$$I = 3.88 \text{ A}$$

Por lo que según la NEC 310.15, el conductor a utilizar es 14 AWG

Fusible: La corriente de protección para el fusible se calcula con la ecuación (2)

$$I_F = k \times In \quad (2)$$

donde k es la constante de protección la cual se toma en el rango de 1.8 a 2.1

$$I_F = 2.1 \times 3.1 \text{ A}$$

$$I_F = 6.51 \text{ A}$$

El fusible comercial a utilizar que se encuentra próximo a los 6.51 A es de 8 A.

Disyuntor: La corriente para el cálculo del disyuntor se realiza con la ecuación (3)

$$I_P = C \times In \quad (3)$$

donde C es la constante de protección la cual se toma un valor entre 2 y 3

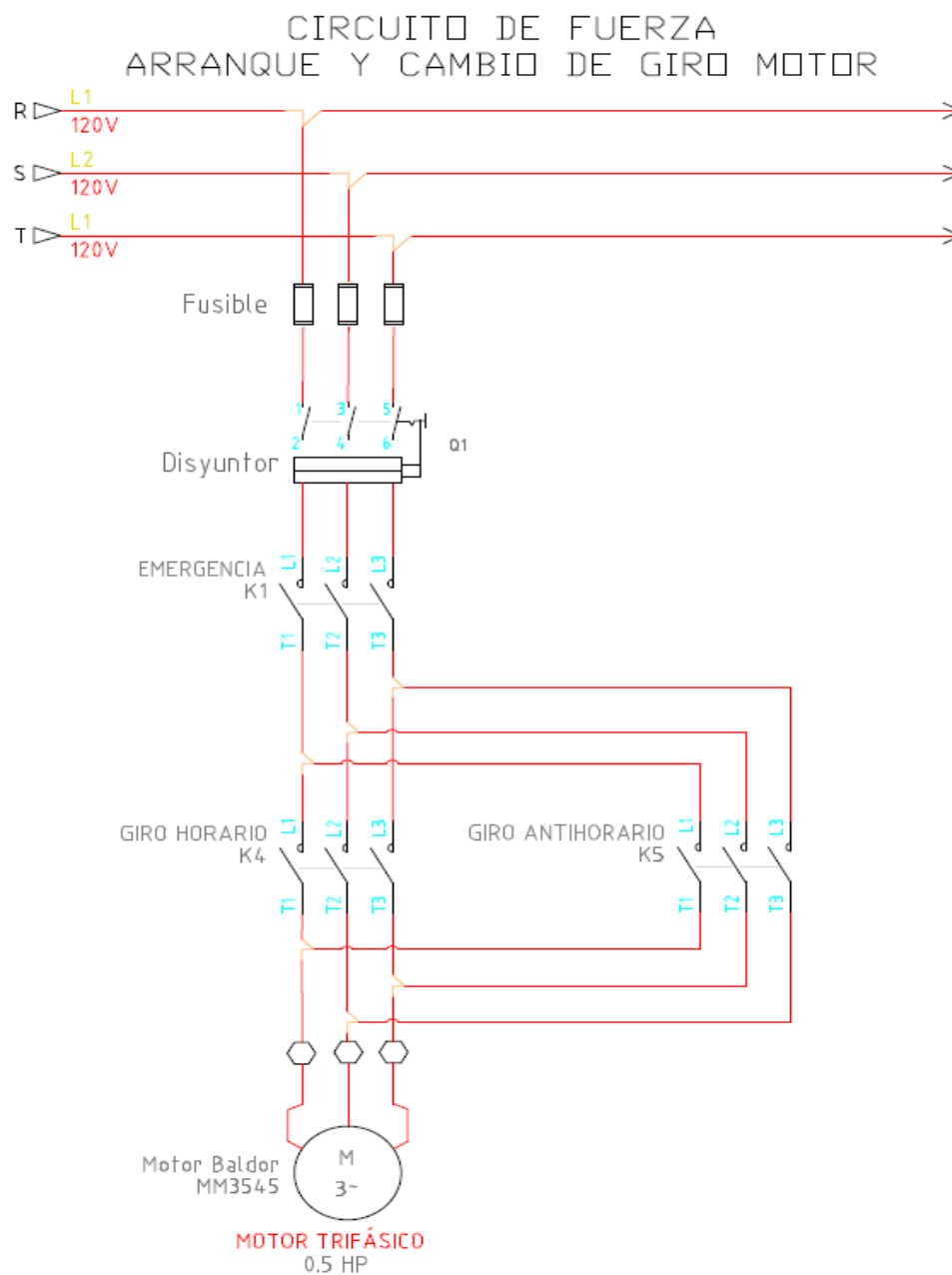
$$I_P = 3 \times 3.1 \text{ A}$$

$$I_P = 9.3 \text{ A}$$

El disyuntor a utilizar es de 10 Amperios.

Figura 21

Diagrama Eléctrico del Circuito de Fuerza del Motor



Nota. Circuito de fuerza para el motor, siguiendo la simbología eléctrica de la norma IEC.

Software para la Aplicación

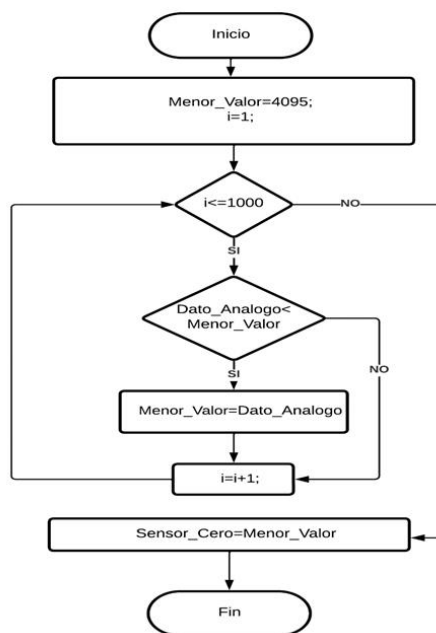
Para la adquisición de los valores de corriente y nivel de vibración del motor se realizó un programa en el entorno de desarrollo integrado de Arduino, que tiene compatibilidad para el desarrollo de software para la placa microcontroladora ESP32. En primer lugar, se toman datos para inicializar el sistema y posteriormente realizar los cálculos respectivos, adquirir los valores y enviar esta información al servidor de *Blynk* para almacenar y poder acceder a ellos desde la *skill* de Alexa. Mientras que, para el sensor de temperatura y los relés inteligentes, se implementó un sistema en *Node Red*, para poder leer y escribir a los dispositivos accediendo a los servicios en la nube de la plataforma IoT de *Tuya Smart*.

Procesamiento de la señal de corriente

Para el procesamiento de la señal de corriente, primero, se realiza una configuración de inicio para el sensor. Este puede observarse en la Figura 22. En este proceso de configuración de inicio se determina cual es el valor inicial del sensor, es decir, el valor que el sensor entrega cuando se está midiendo 0 amperios con el mismo, esto se realiza al escoger el menor valor de la toma de 1000 datos donde el resultado es un valor análogo. Es necesario conocer el valor análogo del sensor a los 0 amperios para así poder realizar una resta al valor que se medirá cuando el motor esté encendido, ya que la respuesta del sensor varía desde -5 A hasta + 5 A, es decir, el valor digital de 0 para -5 A y valor digital de 4095 para 5 A, esta característica hace que el valor de 0 A no se encuentre en el valor 0 analógico, por lo tanto, para determinar una medición adecuada es necesario saber en qué valor analógico se encuentra el valor de 0 A ya que este puede variar de sensor a sensor.

Figura 22

Diagrama de Flujo Setup Sensor de Corriente



Nota. Este algoritmo es la configuración de inicio de los sensores de corriente, solo se ejecuta una vez, hay que notar que este algoritmo se ejecuta para cada uno de los sensores de corriente del sistema.

Continuando con el procesamiento de la señal, una vez se ha realizado la configuración inicial del sensor de corriente, ya se puede realizar una medición de los datos de corriente entregados por el motor. Para esto se utiliza la función *Sensor Corriente* que es presentada en la Figura 23, aquí se inicia con la captura de 1000 valores análogos, de los cuales se calcula un promedio para obtener una medición final, luego el valor promediado es restado del valor análogo del sensor en 0 amperios, continuando, se multiplica el valor restado por la resolución del ESP32 que en este caso es 0.805 , con esto se transforma la señal análoga en señal digital, luego se divide la señal digital para 185, este valor es utilizado para convertir voltaje en amperios y es dado por el *Datasheet* del sensor que en este caso es el ACS712_05B, finalmente, hay que tomar en cuenta que lo que ha medido el sensor es una corriente pico pero la corriente que nos interesa es la eficaz, por lo tanto, se divide el resultado para 1.4 o $\sqrt{2}$. Una vez se tiene la corriente eficaz esta es enviada al servidor de *Blynk* para poder visualizarla, además,

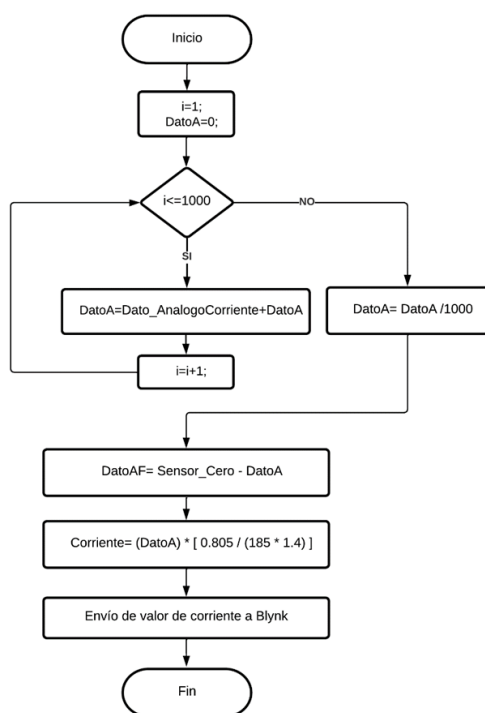
se controla si el valor obtenido se encuentra dentro de un umbral adecuado el cual se encuentra en valores menores a 2 amperios, caso contrario se envía una notificación a Alexa para informar al usuario acerca de un comportamiento fuera de lo normal en la corriente del motor. Cabe recalcar que este proceso se realiza 3 veces para las 3 líneas de alimentación del motor. Para la frecuencia de muestreo se utiliza el teorema de Nyquist con la frecuencia de la alimentación del sistema la cual es 60 Hz, a continuación, en la ecuación 4 se puede observar la obtención de este valor:

$$F_m = 60 \text{ Hz} \times 2 = 120 \text{ Hz} \rightarrow T_m = \frac{1}{120 \text{ Hz}} = 8.3 \text{ ms} \quad (4)$$

Utilizando el teorema de Nyquist se ha obtenido que la frecuencia de muestreo debe de ser igual o mayor a 120 Hz, por lo tanto, los datos de corriente deben ser obtenidos por lo menos cada 8.3 ms, en este caso se ha seleccionado 5 ms lo cual corresponde a 200 Hz y cumple con el teorema.

Figura 23

Diagrama de Flujo programación del cálculo de la corriente en la línea



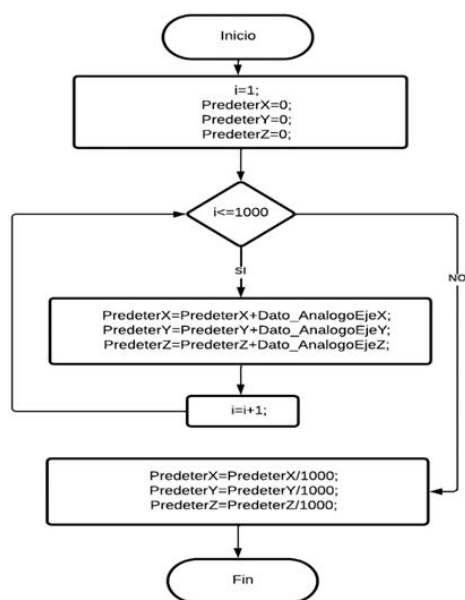
Nota. Este algoritmo se realiza para las 3 líneas de corriente del motor y se ejecuta en bucle cada 5 ms.

Procesamiento de la señal del acelerómetro

Para la obtención de la señal de vibración se empleó la librería del sensor ADXL345. Este primero necesita una configuración inicial, tal y como ocurrió con el sensor de corriente, ya que es necesario tener un valor normal o predeterminado de vibración inicial para poder dar referencia de cuando se tiene un cambio brusco en las vibraciones. Por lo tanto, en la configuración inicial del acelerómetro se toman 1000 valores y se promedia un valor tanto para el eje Y como el X y el Z, esto se puede observar en el diagrama de la Figura 24:

Figura 24

Diagrama de Flujo configuración inicial de Acelerómetro



Nota. Este algoritmo es la configuración de inicio del sensor de vibración, hay que tomar en cuenta que este solo se ejecuta una vez cuando el ESP32 es encendido.

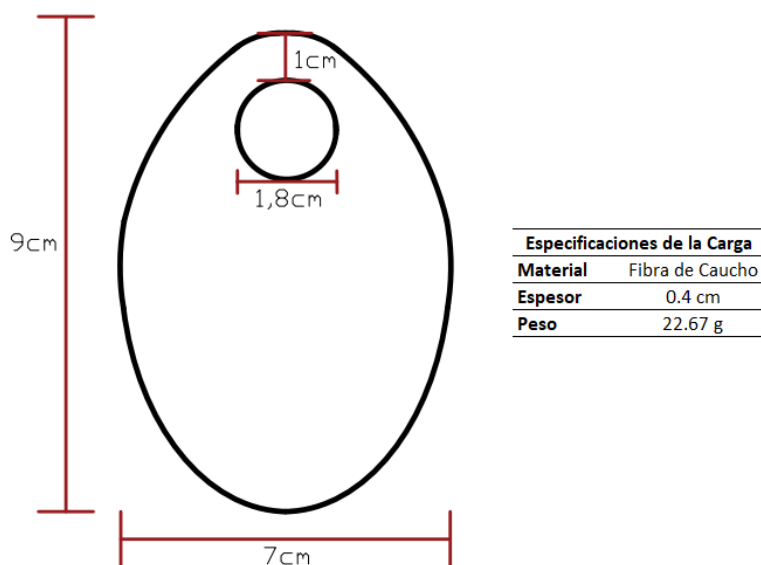
Una vez se tienen los valores predeterminados de funcionamiento normal, entonces se puede realizar un análisis de los valores tomados para determinar cuándo se tiene un comportamiento anómalo. La función *Sensor Vibración* es presentada en la Figura 26, esta función realiza un análisis del comportamiento de las vibraciones del motor, si estas sobrepasan un umbral en cualquiera de los ejes

durante un tiempo de falla de 6 segundos, entonces, envía una notificación al usuario. Para esto se empieza a tomar el valor de vibración en el eje que se esté analizando, luego se realiza una comparación para verificar si el valor de cualquier eje se encuentra fuera del valor normal de vibración. En este proyecto se ha colocado el valor de ± 1 del valor predeterminado como un valor de vibración fuera de lo normal, a continuación, se especifica como se llegó a escoger este valor.

Para poder determinar cuál es el valor normal de vibración del motor se han utilizado los datos predeterminados de vibración obtenidos cuando el motor se encuentra apagado como referencia, luego se ha tomado datos de vibración cuando el motor está funcionando en vacío y cuando este tiene una carga hecha del material de fibra de caucho en forma de leva que representaría una carga normal. El diseño de esta carga es presentado en la Figura 25.

Figura 25

Diseño de carga de fibra de Caucho



Nota. La pieza diseñada cuenta con una forma de leva, haciendo que esta sea una carga desigual para producir vibraciones notorias.

La pieza diseñada debido a su peso, material y forma logra representar una carga que produce vibraciones en el motor, pero no afecta la integridad del mismo. Con esta información se ha determinado que las vibraciones normales se encuentran dentro del rango máximo de un ± 1 del valor predeterminado, en la Tabla 6 se pueden observar los valores obtenidos y detalles del estudio realizado para determinar este umbral. En esta se puede notar como la mayor diferencia obtenida con la carga de fibra de caucho es de 0.89 y la mínima es de -0.83, tomando estos valores se define un umbral de ± 1 para que el sistema no detecte las vibraciones con la carga normal como un valor de vibración anormal.

Tabla 6

Datos de vibración para determinación de umbral

Determinación de Umbral												
Nº	Sin carga			Diferencia con Predeterminado			Cargas de Fibra de Caucho			Diferencia con Predeterminado		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0,24	0,04	11,95	-0,26	-0,01	0,05	0,63	0,77	11,14	0,13	0,72	-0,76
2	0,2	0,07	11,89	-0,3	0,02	-0,01	-0,31	-0,78	11,96	-0,81	-0,83	0,06
3	0,16	0,03	11,85	-0,34	-0,02	-0,05	0,51	0,94	11,57	0,01	0,89	-0,33
4	0,18	0,06	11,89	-0,32	0,01	-0,01	0,2	-0,55	11,65	-0,3	-0,6	-0,25
5	0,14	0,05	11,91	-0,36	0	0,01	0,01	0,63	12,04	-0,49	0,58	0,14
Mayor				-0,26	0,02	0,05				0,13	0,89	0,14
Menor				-0,36	-0,02	-0,05				-0,81	-0,83	-0,76

Nota. Cada una de las medidas obtenidas en esta tabla son el promedio obtenido de 50 datos, los datos predeterminados con el motor sin movimiento son: X=0.50, Y=0.05, Z=11.90. Al final de la tabla se encuentra la diferencia mayor y menor encontrada respecto a los datos predeterminados donde la mayor diferencia es 0.89 y -0,83, por lo tanto, se escoge un umbral de ± 1 .

Si las vibraciones no se encuentran fuera de lo normal, entonces se vuelve a obtener el valor de vibración del eje para empezar otra vez el proceso, caso contrario, un contador de falla empieza a incrementarse cada vez que el valor obtenido del eje se encuentre fuera del umbral de funcionamiento.

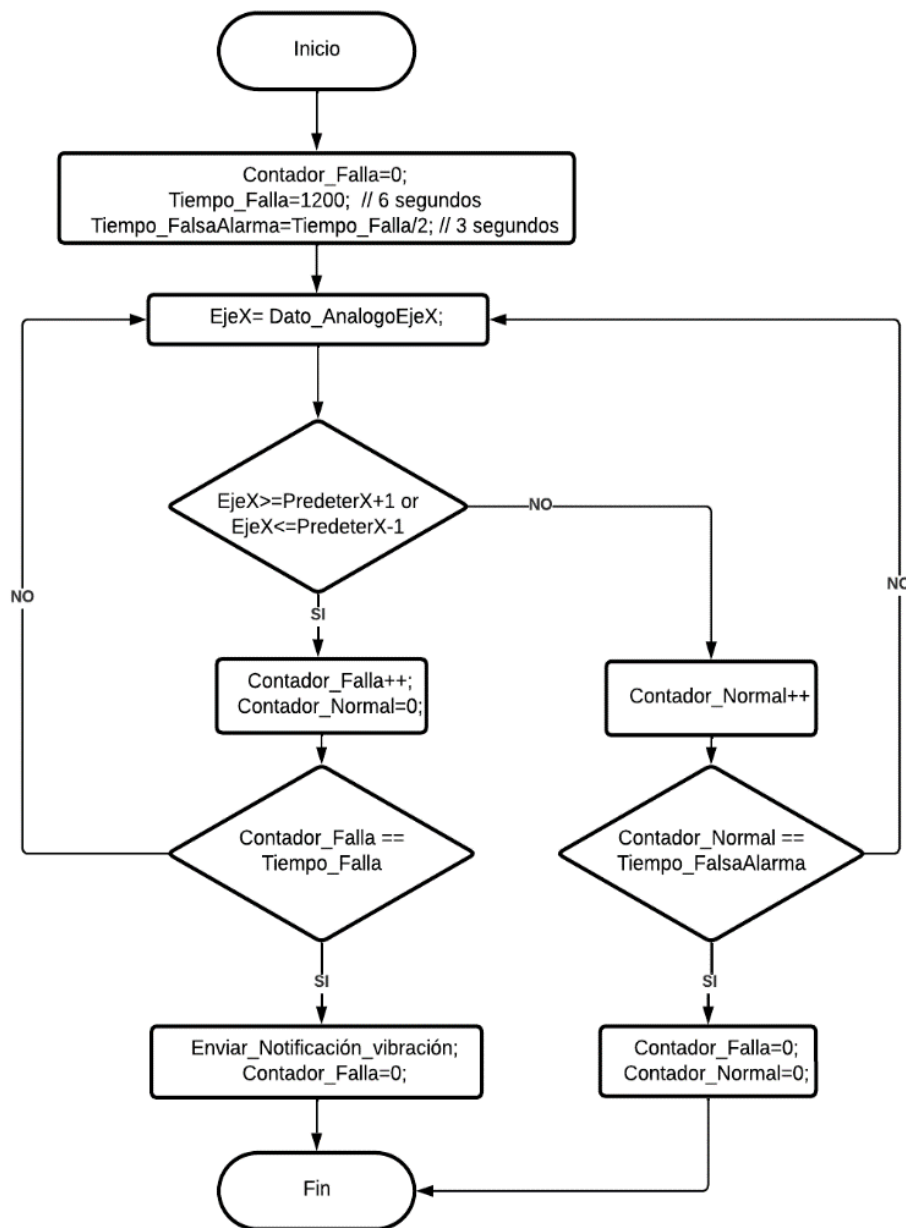
Esto es utilizado para asegurarse que la vibración anormal ha persistido durante cierto tiempo, ya que, al tener perturbación dentro de la vibración del motor, esta será constante y durante un tiempo relativamente largo, caso contrario, en eventos como el arranque del motor y el cambio de giro, también se generarán vibraciones que son falsos positivos, pero estas tienen la característica de ser durante un corto tiempo, regresando después a su estado predeterminado. Por lo tanto, si el contador de falla logra ser igual o mayor al tiempo de falla entonces el sistema envía una notificación al usuario.

Sin embargo, existe otro contador, el cual es incrementado cada que se obtiene una medición en condiciones normales, este es utilizado exactamente para poder determinar si las vibraciones volvieron a un estado normal luego de una vibración anormal para así determinar si se tiene una falsa alarma. Si este contador logra ser igual al tiempo de falsa alarma entonces tanto el contador de falla y el contador de falsa alarma son reiniciados, debido a que el sistema no se encuentra dentro de un caso de vibración anormal. El tiempo de falla necesario para establecer que en realidad se tiene una vibración anormal en el motor es de 6 segundos y el tiempo de falsa alarma es de 3 segundos. De esta manera es posible determinar cuándo se tienen vibraciones anormales y cuando se tienen vibraciones que son una falsa alarma.

El tiempo de muestreo necesario para el sensor de vibración se determinó mediante el teorema de Nyquist aplicado a la frecuencia dada por las revoluciones por minuto del motor, este valor se encuentra en la placa del motor donde se observa un valor de 3450 rpm, el cual transformándolo en frecuencia son 60 Hz, por lo tanto, se tiene el mismo procedimiento que se realizó en los sensores de corriente, determinando así que es necesario un tiempo de muestreo de 5 ms.

Figura 26

Diagrama de Flujo programación Nivel del Vibración



Nota. Este algoritmo se ejecutará para cada uno de los ejes del sensor cada 5 ms, hay que tomar en cuenta que el tiempo de falla se ha colocado en 1200 debido al tener un muestreo de 5 ms es necesario que el algoritmo se ejecute 1200 veces para alcanzar 6 segundos.

Acceso a dispositivos inteligentes de Tuya Smart mediante su plataforma IoT

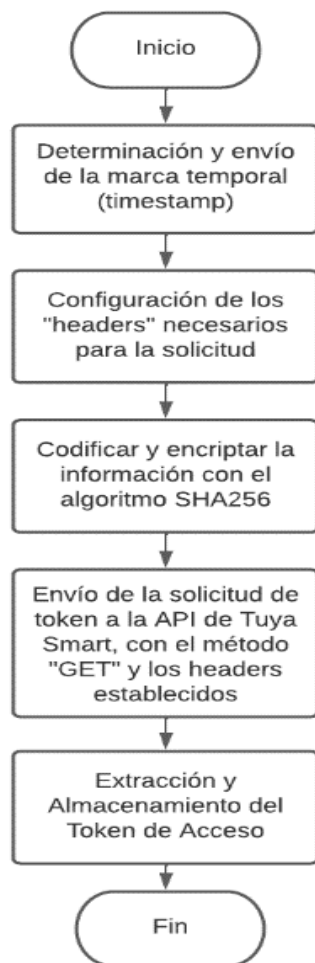
Tuya Smart dispone de una plataforma de desarrollo IoT que permite la implementación de aplicaciones inteligentes en base a diferentes servicios en la nube, según el escenario inteligente en el que se lo aplique. Tiene servicios para análisis de datos, mantenimiento y gestión de dispositivos, almacenamiento de datos, servicios de detección, hogares o vehículos inteligentes y demás, permitiendo el desarrollo de hardware inteligente para que el avance tecnológico tenga una mayor cobertura en el mundo (Tuya Developer, 2022). Para el caso de la aplicación a desarrollar se realiza la gestión e interacción con dispositivos inteligentes, en este caso para enviar solicitudes para encender o apagar relés inteligentes, como la lectura de los datos adquiridos por el sensor de temperatura.

Para poder hacer uso de los servicios en la nube, se debe crear un proyecto para desarrollarlo en la plataforma. Cada proyecto tiene claves de autenticación que son: ID del cliente, clave secreta de acceso y código del proyecto, que son parámetros privados e intransferibles ya que con esto se permite el acceso y manejo de los diferentes dispositivos vinculados al proyecto. Los dispositivos reconocidos son los desarrollados por *Tuya Smart* y *Smart Life*, los cuales tienen un ID específico para su gestión y pueden ser configurados para tener permisos de lectura y/o escritura sobre ellos.

La solicitud de interacción y control de los dispositivos inteligentes tiene una estructura específica definida por el fabricante de los dispositivos, en la cual es necesaria la obtención de un token de acceso para realizar cualquiera de las tareas, este tiene un tiempo de expiración de 2 horas. El manejo de las solicitudes para la interacción con los relés inteligentes y sensor de temperatura se realizó mediante programación en *Node Red*. Siguiendo el diagrama de flujo mostrado en la Figura 27, se realizó la generación del token de acceso.

Figura 27

Diagrama de Flujo para Obtención de Token



Nota. La solicitud de nuevo un token de acceso, se ejecutará de manera automática en Node Red cada 2 horas debido a su tiempo de expiración.

Uno de los pasos fundamentales para tener éxito en la obtención del token de acceso, es configurar adecuadamente los encabezados (*headers*) para establecer la comunicación. Por lo que se debe configurar los siguientes datos:

- **Timestamp:** Es la marca de tiempo transcurrida desde el 1 de enero de 1970 hasta el tiempo actual, por lo que se debe actualizar necesariamente para tener validez en la solicitud.
- **Url:** Dependiendo de la acción que se desee realizar con la API de *Tuya Smart* la solicitud URL varía, como se puede apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7*Url de las solicitudes utilizadas*

Solicitud	URL
Token de acceso	https://openapi.tuyaus.com/v1.0/token?grant_type=1
Estado de un dispositivo	https://openapi.tuyaus.com /v1.0/iot-03/devices/"+device_id+"/status
Control de un dispositivo	https://openapi.tuyaus.com/v1.0/iot-03/devices/"+device_id+"/commands

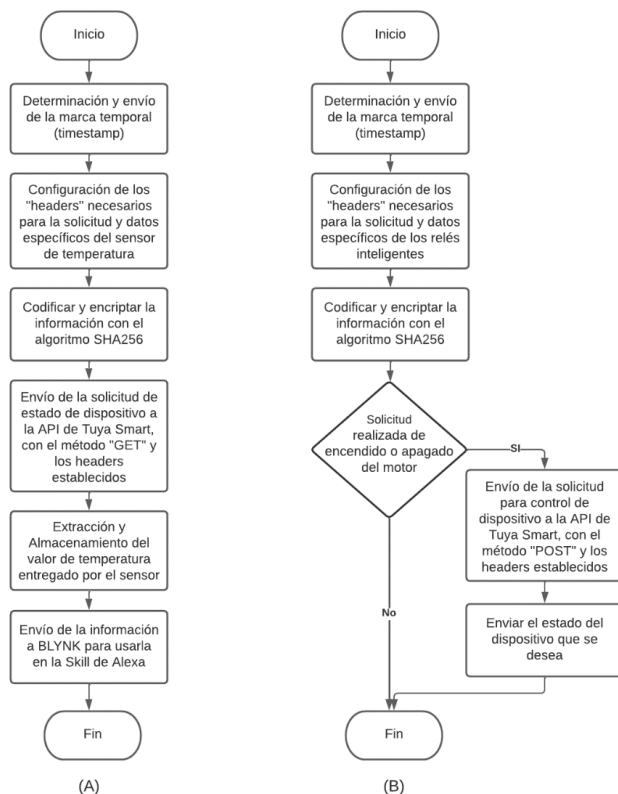
Nota. Composición de las solicitudes URL, según la acción que se desea realizar.

- **Claves de autorización:** Las claves de autorización son el ID del cliente y la clave de acceso del proyecto creado en la plataforma IoT de *Tuya Smart*.
- **Firma de validación:** La firma de validación es una cadena de caracteres conformada por el: Id del cliente, token de acceso, marca de tiempo, método de la solicitud deseada (*get/post*) y "e3b0c44298fc1c149afbf4c8996fb92427ae41e4649b934ca495991b7852b855" (cadena de caracteres y números, fija y propia de la firma).

Una vez almacenado el token de acceso, se puede realizar diferentes tareas con los dispositivos como ver su estado, monitorear su funcionamiento y controlarlos. En la Figura 28 se muestran dos diagramas de flujo que describen la programación realizada en *Node Red* para: (A) obtener datos del sensor de temperatura y (B) control de relés inteligentes.

Figura 28

Diagrama de Flujo para lectura del sensor de temperatura (A) y control de relé inteligente (B)



Nota. La lectura del sensor de temperatura se ejecuta automáticamente cada minuto, mientras que la ejecución de la solicitud de control de los relés inteligentes se ejecuta cada milisegundo.

Obtención del valor de temperatura del Sensor Inteligente

Como resultado de la solicitud para conocer el estado del sensor de temperatura inteligente (Figura 28 A), es un objeto que contiene 15 parámetros de funcionamiento del sensor, siendo estos: temperatura, humedad, límites mínimos y máximos de temperatura/humedades aceptables, sensibilidad de los sensores, tiempo de los reportes a realizar y alarmas de temperatura/humedad. Cada uno de estos parámetros tiene un nombre específico y un valor determinado, un ejemplo de la parametrización de este sensor se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8*Parametrización del Sensor Inteligente de Temperatura*

Parámetro	Tipo	Valor
<i>va_temperature</i>	Entero	22.1 °C
<i>va_humidity</i>	Entero	42%
<i>battery_state</i>	Enumeración	85%
<i>temp_unit_convert</i>	Enumeración	Celsius
<i>maxtemp_set</i>	Entero	60
<i>mintemp_set</i>	Entero	0
<i>maxhum_set</i>	Entero	100
<i>minhum_set</i>	Entero	0
<i>temp_alarm</i>	Enumeración	40 °C
<i>hum_alarm</i>	Enumeración	50 %
<i>temp_periodic_report</i>	Entero	1 min
<i>hum_periodic_report</i>	Entero	1 min
<i>temp_sensitivity</i>	Entero	0.3 °C
<i>hum_sensitivity</i>	Entero	3 %
<i>switch</i>	boolean	True

Nota. Ejemplo de los parámetros de funcionamiento del sensor inteligente de temperatura, en condiciones ambientales del laboratorio.

La variable temperatura del sensor, se encuentra en la posición [0] del objeto recibido como respuesta. Este valor es almacenado en una variable global de la programación realizada en *Node Red*, el mismo es enviado a la aplicación creada en el servidor de *Blynk* para que pueda accederse desde la *skill* de Alexa.

Encendido y Apagado de Relé Inteligente

En el caso de los relés inteligentes, son dispositivos a los cuales se les va a realizar una modificación del estado en el que se encuentren. Estos dispositivos tienen dos parámetros: *code* (nombre del relé) y *value* (estado del dispositivo: true/false), dependiendo del pedido que realice el

usuario al asistente de voz se encenderá o apagará uno u otro relé. Cuando se solicite el encendido horario o antihorario del motor, se realizan dos solicitudes en la programación realizada en *Node Red*: en primer lugar, se apaga el relé del sentido contrario al solicitado, se espera 3 segundos y posteriormente el encendido del relé correspondiente al sentido de giro solicitado. Este tiempo de 3 segundos que se incluye en la programación, es para evitar posibles cortocircuitos al realizar un cambio de giro.

Cabe mencionar que solo en el caso de que exista una solicitud por parte del usuario al asistente de voz de encender o apagar el motor, se realiza la ejecución de las solicitudes correspondientes. Si no existe dicho requerimiento del usuario, esta solicitud no se ejecuta y los estados de los relés inteligentes no se verán modificados.

Esquema de Conexión del Sistema

La característica del sistema a ser desarrollado es el Internet de las cosas, por lo tanto, todos los dispositivos utilizados deben ser de alguna manera integrados en un servidor en la nube para la manipulación de sus datos. En la Figura 29 se puede observar el esquema de conexión de los dispositivos utilizados, a continuación, se explica paso a paso de izquierda a derecha en la Figura 29 como se debe conectar el sistema.

Los dispositivos inteligentes de *Tuya Smart* (Relés Inteligentes y el sensor de temperatura) son conectados al sistema mediante la utilización de *Tuya Smart Platform* donde se tiene una dirección API para cada uno de los dispositivos, la cual es obtenida por *Node Red* para la manipulación de los datos de los mismos, la dirección API de *Tuya Smart Platform* cuenta con la característica de tener un token el cual expira cada 2 horas, por lo tanto, se utiliza *Node Red* para refrescar el token y realizar la petición de la API de una manera automática.

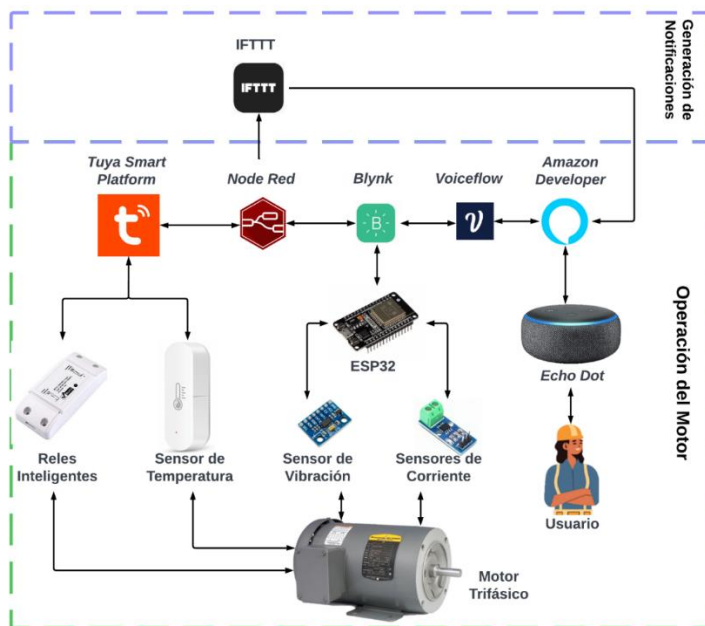
El sensor de corriente y el sensor de vibración son dispositivos controlados por Arduino, los cuales mediante el microcontrolador ESP32 son conectados con *Blynk*, este a su vez se conecta con

Node Red por medio de la API de *Blynk* para integrar el sistema y unir los dispositivos inteligentes de *Tuya Smart* con los dispositivos controlados por Arduino. Una vez se tienen todos los dispositivos conectados e integrados en la nube de *Blynk*, entonces se envía la información a *Voiceflow* mediante una dirección API generada por *Blynk* para cada uno de los dispositivos.

En *Voiceflow* se realiza la programación de las conversaciones y el manejo de dispositivos según las órdenes del usuario, por lo tanto, se puede afirmar que en *Voiceflow* es donde se desarrolla la *skill* de Alexa. Se opta por *Voiceflow* debido a que el sistema requiere acciones y una conversación sofisticada con el usuario, lo cual si se realizara directamente en la plataforma de Amazon sería más complicado de desarrollar, en cambio en *Voiceflow* se cuenta con la característica de programación por bloques, lo cual facilita el desarrollo y entendimiento de la *skill*. Esta *skill* es conectada con *Amazon Developer*, ya que este interpreta los comandos dados por el usuario para que la *skill* pueda saber cómo comportarse o que acciones tomar. Por último, *Amazon Developer* recibe los comandos del usuario mediante la utilización del *Echo Dot*, el cual escucha la voz del usuario y envía la información para que esta pueda ser procesada. De esta manera, se logra integrar dispositivos inteligentes con dispositivos controlados por Arduino para el monitoreo y control de un motor trifásico mediante el asistente de voz Alexa.

Figura 29

Esquema de conexión entre dispositivos



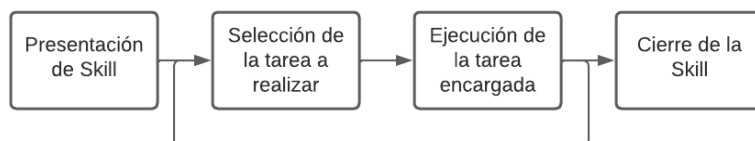
Nota. Los dispositivos inteligentes son integrados mediante Tuya Smart Platform y los dispositivos de Arduino se integran mediante Blynk, conectando todo a Voiceflow donde se manejan los datos y se generan las conversaciones con Alexa, finalmente, IFTTT es utilizado para activar las notificaciones dentro de Amazon Developer.

Skill en VoiceFlow

En esta sección se describe el diseño y programación de la *skill* para la aplicación de seguridad industrial en la plataforma de *VoiceFlow*, la misma que se transfiere a la plataforma de desarrollo propia de Amazon y permite su uso en el dispositivo de Alexa.

Funciones de la Skill Diseñada

La *skill* de Alexa es la encargada de realizar la interacción entre el usuario y los dispositivos que permitirán el control y monitoreo del motor. Esta *skill* funciona siguiendo el diagrama mostrado en la Figura 30:

Figura 30*Funcionamiento general de la skill*

Nota. La skill se compone de cuatro fases principales en su funcionamiento.

Dentro de las posibles tareas a realizar, se han establecido 11 situaciones o peticiones que el usuario puede solicitar al asistente de voz. En cada una de las peticiones se han programado diferentes variaciones de como el usuario puede solicitar realizar una de las acciones, para que pueda ser reconocido por el sistema y se pueda ejecutar la acción correspondiente. A continuación, se describen cada una de ellas:

- **Encender motor horario:** Encargada de que el motor se encienda en sentido horario.
- **Encender motor antihorario:** Encargada de que el motor se encienda en sentido antihorario.
- **Apagar motor:** Encargada de apagar el motor.
- **Corriente línea 1:** Encargada de dar a conocer la corriente rms en la línea 1.
- **Corriente línea 2:** Encargada de dar a conocer la corriente rms en la línea 2.
- **Corriente línea 3:** Encargada de dar a conocer la corriente rms en la línea 3.
- **Temperatura del motor:** Encargada de dar a conocer la temperatura en el área cercana a donde se encuentra ubicado el motor.
- **Vibración del motor:** Encargada de dar a conocer si se excede o no el valor normal de vibración, que representa un funcionamiento normal del mismo.
- **Solicitud de ayuda:** En esta función el asistente se encarga de explicar al usuario todas las tareas que puede realizar, para informarle en el caso de que desconozca.

- **Solicitud de no hacer nada:** Puede ser que el usuario no quiera realizar ninguna acción, o posterior a realizar una ya desee cerrar la *skill*, en este caso se identifica dicho pedido y se concluye con la ejecución de la misma.
- **Solicitud no identificada:** En el caso que el asistente de voz no pueda reconocer lo expresado por el usuario, esta función es encargada de solicitar que nuevamente realice su pedido por problemas existentes.

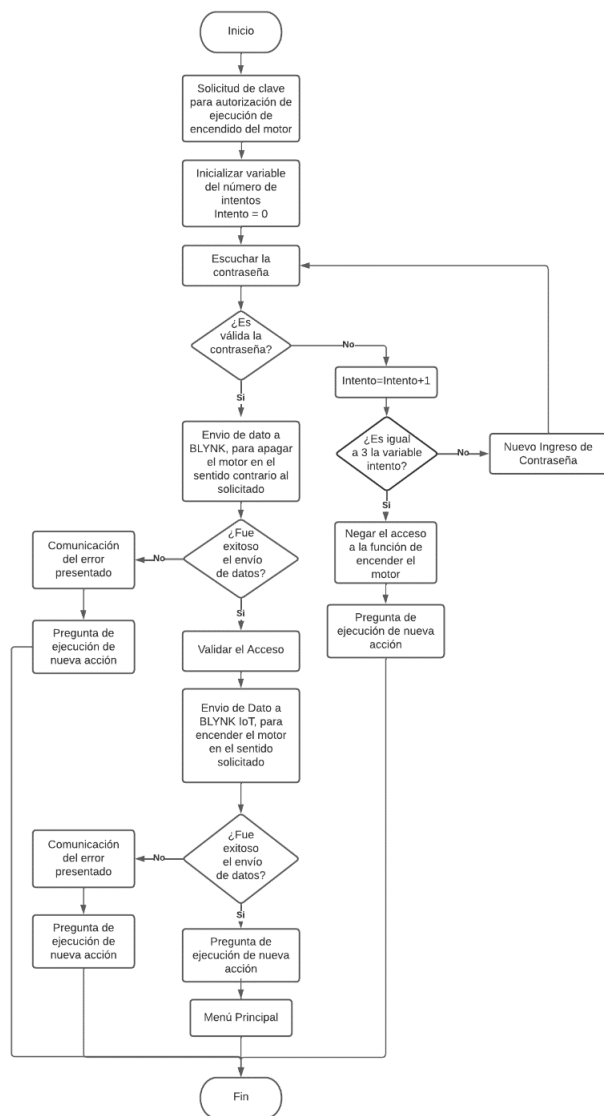
Nivel de Acceso y Encendido del Motor

El arranque del motor en sentido horario o antihorario se realizará solo si el usuario valida su identificación al asistente de voz, mediante una contraseña que solo el personal autorizado de la industria o usuarios con cierto nivel de privilegios en el área de trabajo conozcan. El que se pueda activar o cambiar el sentido de giro de un motor, sin que exista una validación respectiva representa un potencial peligro, ya que puede ser un usuario externo al área de trabajo y no conoce sobre los riesgos que conlleva el proceso y que puede causar accidentes en planta. Al considerar esta situación, en la programación de la *skill* el usuario tiene 3 intentos de ingresar la contraseña correcta para que se pueda encender el motor, caso contrario se niega el acceso a esta función de la *skill*.

En la Figura 31, se muestra un diagrama de flujo que detalla la programación de la *skill* para comprobar la validez de un usuario y el encendido del motor.

Figura 31

Diagrama de Flujo de la Función Encender Motor



Nota. Diagrama de flujo que muestra variables, validaciones, envío de datos y solicitudes para encender o apagar el motor.

Para apagar el motor, no se requiere ningún permiso especial de nivel de acceso debido a que puede presentarse una situación de emergencia en la cual se necesite que el motor se apague rápidamente. Por lo que, para la ejecución de esta tarea, se envían dos solicitudes con el método *update*

hacia *Blynk*, estableciendo en 0 las variables virtuales creadas en esta plataforma para el encendido y apagado del motor, de esta manera se indica que se debe apagar el motor.

Los valores que se envían a *Blynk* son utilizados por el programa realizado en *Node Red*, dependiendo de la solicitud pedida por el usuario, se realiza la escritura de los dispositivos en la Plataforma IoT de *Tuya Smart* para que se encienda o apague el motor según corresponda.

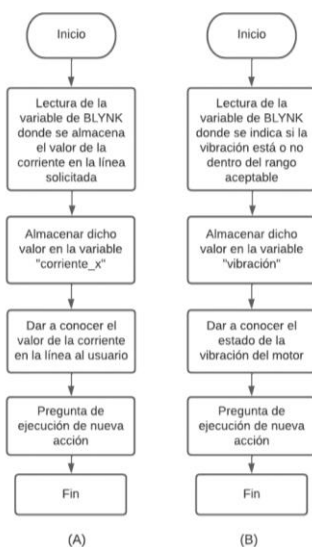
Monitoreo de Corriente temperatura y Vibración

Como se ha descrito en las secciones anteriores, los valores medidos por los módulos sensores de corriente y el módulo del acelerómetro son enviados a *Blynk* por medio de la placa ESP32, estos valores estarán actualizándose cada 5 ms, mostrando de esta manera el funcionamiento real del motor. En el caso de que el usuario necesite conocer uno de estos parámetros, él debe realizar la petición correspondiente al asistente de voz. Cuando una de estas peticiones sea identificada, en la *skill*, se realiza una lectura a las variables del *Blynk* para obtener los valores correspondientes. Esto se almacena en variables creadas dentro de la *skill*, para que posteriormente estos valores se den a conocer al usuario. En el caso del monitoreo de la corriente, la *skill* menciona el valor en amperios que se ha medido en la línea correspondiente. Mientras que, en la vibración el asistente de voz comunica si el motor está operando dentro de rangos normales y aceptables de vibración o se están presentado situaciones anormales.

La programación de estas dos funciones es muy similar, su diagrama de flujo en la Figura 32.

Figura 32

Diagrama de Flujo para monitoreo de: corriente (A) y vibración (B)



Nota. Diagrama de flujo que muestra variables y envío de solicitudes de lectura de datos de corriente o vibración.

Generación de Notificaciones

Las alarmas o notificaciones dentro de un sistema de seguridad industrial son de vital importancia para el usuario ya que con esto se puede tener una noción de condiciones anormales en el Motor. Alexa posee la habilidad de generar notificaciones que aparecen en el celular del usuario o también pueden ser dichas por Alexa, por lo tanto, se puede utilizar esta herramienta para dar notificación al usuario respecto a comportamientos anómalos en las variables monitoreadas del motor.

Para realizar esto, es necesario generar una rutina en Alexa, estas requieren una configuración de dos partes, la primera es el conocido como *trigger* o la activación de la rutina, esta es activada por el comportamiento de los dispositivos relacionados con Alexa y la segunda parte es la acción a realizar con la rutina, por lo tanto, cuando exista un comportamiento fuera de lo normal en las variables de temperatura, vibración y corriente del motor se debe activar un *trigger* o un dispositivo para que se realice la acción de la rutina la cual será dar la notificación al usuario.

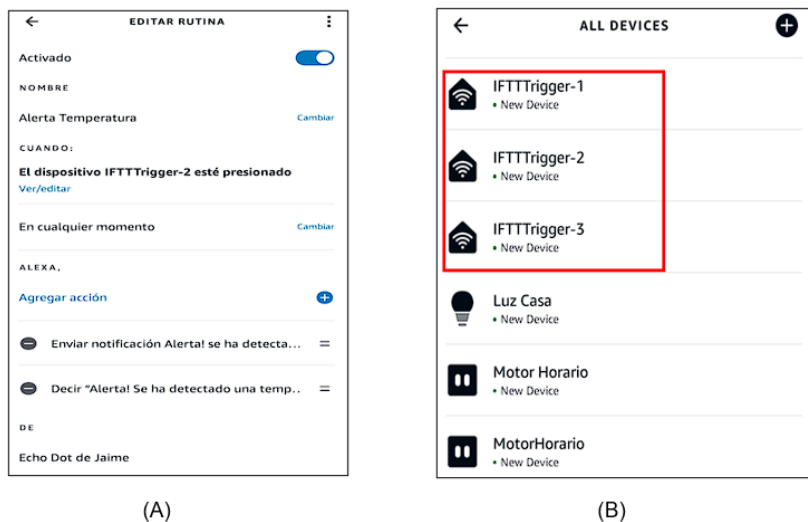
Para poder dar indicación o un *trigger* de un comportamiento anómalo en el motor es necesario crear 3 botones virtuales de IFTTT para las 3 variables del motor, los cuales se activarán cuando se tenga una petición WEB. Esto se realiza debido a que algunos dispositivos relacionados con la obtención de las variables del motor no son inteligentes y no pueden ser conectados directamente como dispositivos dentro de Alexa. Dentro de *Node Red* es posible realizar una petición web a IFTTT para activar los botones virtuales cuando ocurran condiciones anormales en el motor, continuando, mediante el uso de la *skill IFTTTtrigger* es posible detectar como un dispositivo *SmartHome* a los botones creados con IFTTT como se puede observar en la Figura 33 en (B).

Una vez se tienen los botones virtuales funcionando y conectados como dispositivos *Smart Home* dentro de Alexa, entonces, ya se puede generar una rutina, en la Figura 33 en (A) se puede observar la configuración de una rutina de alerta, dentro de esta se ha configurado a la activación de un botón virtual como el *trigger* de esta rutina, la acción de la misma es enviar una notificación al teléfono del usuario mediante internet y hacer que Alexa se comuniqué mediante sonido o voz al usuario. En la Figura 34 se puede observar el diagrama de flujo de la programación de esta rutina.

De igual manera que en la conexión entre la plataforma *Tuya Smart* y *Blynk*, para el control y monitoreo de los dispositivos inteligentes, se hace uso de *Node Red* para la lectura de los datos de los dispositivos inteligentes y sensores que se encuentran *Blynk*, su análisis y la ejecución de las solicitudes a IFTTT para que se ejecuten las alarmas respectivas

Figura 33

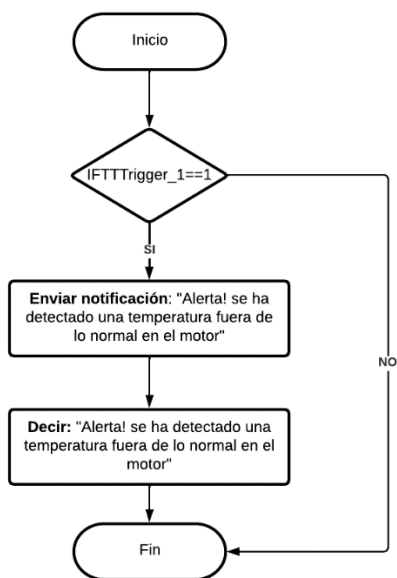
Generación de Alertas: Configuración de rutina en Alexa (A) y Botones virtuales de IFTTT reconocidos como dispositivo SmartHome (B)



Nota. Configuración de notificaciones dentro de Alexa App.

Figura 34

Diagrama de Flujo para rutina de notificación con IFTTT



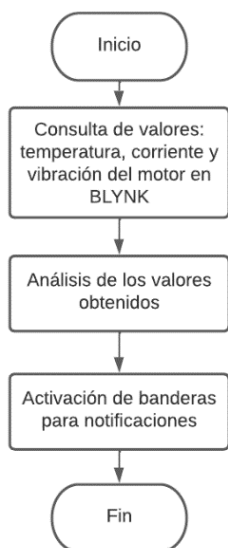
Nota. Este diagrama de flujo se repite para las rutinas de notificación de vibración fuera de lo normal y para la notificación de corrientes fuera de lo normal, lo único que cambia es el texto que Alexa utiliza

para a notificación. Además, hay que tomar en cuenta que se tienen 3 IFTTTriggers donde: IFTTTrigger_1 es para la notificación de temperatura, IFTTTrigger_2 es para la notificación de vibración e IFTTTrigger_3 es para la notificación de corriente.

En la Figura 35, se muestra el diagrama de flujo del proceso realizado para consulta y análisis de datos para la generación de una alarma, tanto para vibración, temperatura y corriente. En primer lugar, se realiza una consulta mediante una solicitud de tipo *GET* a la plataforma de *Blynk*, señalando las variables necesarias para conocer sus valores de corriente en las líneas o la temperatura, o el estado de la vibración del motor. Estos valores se los almacena y actualiza constantemente en el programa, con los cuales se realiza un pequeño análisis: en el caso de la corriente se compara si el valor es mayor a 5 amperios, la temperatura se compara si es superior a 40°C y para la vibración se identifica si existe o no vibración anormal en el motor. Si estas comparaciones dan como respuesta un resultado afirmativo, se procede a realizar una activación de una variable que sirve como bandera para activar una notificación en el Alexa.

Figura 35

Diagrama de Flujo para consulta y análisis de valores previo a generación de notificaciones

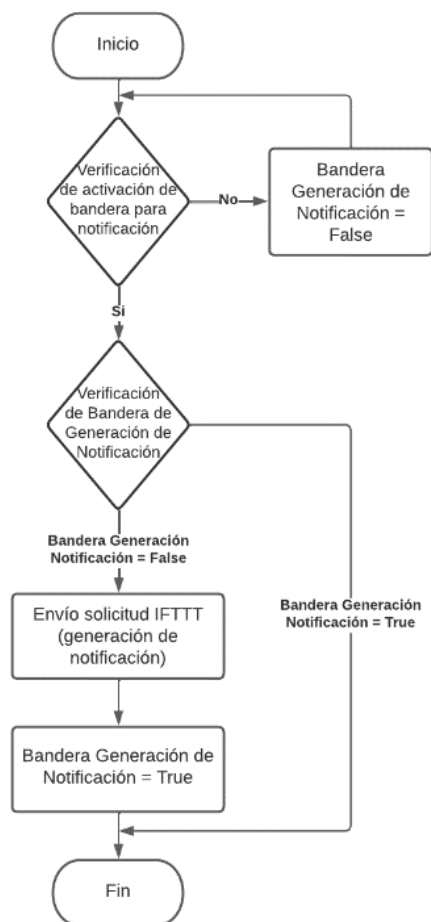


Nota. Se realiza un análisis de las variables de corriente, temperatura y vibración, de ser el caso se activan banderas para el envío de las notificaciones.

Una vez activada la bandera respectiva, se realizó otro proceso para la generación de las notificaciones. En la Figura 36, se muestra un diagrama de flujo que describe este proceso, el cual inicia con la verificación del estado de la bandera, en el caso de que no se haya activado establece la variable de la generación de la notificación en falso (ya que no se ha realizado la solicitud respectiva a IFTTT), en el caso de que la bandera se haya activado realiza una segunda verificación para ver si ya se ha realizado el envío de la solicitud a IFTTT para generar una notificación, si aún no se lo ha hecho, se realiza el envío de esta solicitud para que se realice la notificación tanto en el dispositivo móvil del operador como una notificación hablada por el dispositivo Alexa.

Figura 36

Diagrama de flujo generación de notificaciones



Nota. Diagrama de flujo que muestra la verificación de banderas necesarias para el envío de las notificaciones al dispositivo Alexa.

Capítulo IV

Pruebas y resultados

Introducción

Una vez realizado el diseño e implementación del sistema de seguridad industrial con Alexa, se procedió a realizar una serie de pruebas para verificar: el funcionamiento de la *skill*, módulos, sensores y dispositivos utilizados en el proyecto. Las pruebas de funcionamiento tienen como propósito comprobar y comparar la identificación de los comandos de voz y las peticiones según las funcionalidades que se ofrece en la *skill*, dentro de un entorno en el cual se incluyan y excluyan perturbaciones producto de ruidos o sonidos cercanos al asistente de voz. Adicionalmente, con el fin de validar los valores medidos por los módulos y sensores se realizaron mediciones de corriente y temperatura con un amperímetro y termómetro respectivamente, para realizar comparaciones y un análisis de los mismos. Mientras que, para verificar las vibraciones en el motor se fue variando la carga en el eje. De esta manera, se busca validar el funcionamiento total del sistema para mostrar el potencial de esta aplicación.

Pruebas de funcionamiento de skill

Pruebas sin perturbaciones

Al igual que en los estudios revisados en el marco teórico, es importante determinar la efectividad del reconocimiento de los comandos de voz utilizados para la *skill* desarrollada, por lo tanto, se han realizado 20 pruebas con dos usuarios para cada una de las interacciones posibles las cuales son 11. En la Tabla 9 se puede observar la descripción de estas interacciones.

Tabla 9

Descripción de pruebas a realizar con interacciones disponibles

Prueba	Descripción
Palabra de activación	Esta prueba se utiliza para comprobar la activación de la Skill desarrollada mediante la utilización de la frase "Seguridad Industrial" o la palabra "Baldor".

Prueba	Descripción
Encender Motor Horario	Prueba utilizada para evaluar el reconocimiento y ejecución de comando utilizado para encender motor en sentido horario.
Encender Motor Anti Horario	Prueba utilizada para evaluar el reconocimiento y ejecución de comando utilizado para encender motor en sentido anti horario.
Petición de clave	Comprobación de reconocimiento de palabra clave utilizada para activar motor y el proceso a realizar si se utiliza una palabra diferente a la clave establecida.
Apagar Motor	Prueba realizada para comprobar el reconocimiento y ejecución del comando para apagar motor.
Corriente Línea 1	Prueba realizada para comprobar el reconocimiento y ejecución del comando para preguntar la corriente 1.
Corriente Línea 2	Prueba realizada para comprobar el reconocimiento y ejecución del comando para preguntar la corriente 2.
Corriente Línea 3	Prueba realizada para comprobar el reconocimiento y ejecución del comando para preguntar la corriente 3.
Temperatura	Prueba realizada para comprobar el reconocimiento y ejecución del comando para preguntar la temperatura.
Vibración	Prueba realizada para comprobar el reconocimiento y ejecución del comando para preguntar la vibración del motor.
Ayuda	Prueba realizada para comprobar el reconocimiento y ejecución del comando para obtener información de la <i>skill</i> .

Nota. Las pruebas presentadas en esta tabla son utilizadas para comprobar el adecuado reconocimiento de voz de los comandos para ejecutar todas las posibles acciones la *skill* desarrollada puede utilizar.

Al observar la Tabla 10 se puede notar las 20 pruebas realizadas para cada una de las acciones de la *skill* desarrollada, a continuación, se presenta la nomenclatura a ser utilizada en las tablas para definir el resultado de las pruebas:

- **A:** Prueba aprobada
- **X:** Prueba fallida

Al final de la Tabla 10 se presenta la efectividad de la prueba dentro del reconocimiento de voz, en este caso para las pruebas en condiciones normales no industriales, de laboratorio, se ha obtenido una eficiencia total de 97.27% para el usuario 1, dentro de estas pruebas cabe resaltar como se ha encontrado errores en el reconocimiento del comando de encender el motor en sentido anti horario y al momento de decir la contraseña.

En la Tabla 11 se presentan las pruebas realizadas para el usuario 2, donde se ha obtenido una eficiencia total del 94.55%, de igual manera, en estas pruebas cabe notar como se han obtenido fallos en el reconocimiento del comando de encender motor antihorario y la contraseña, además, se tiene una pequeña novedad donde no se ha reconocido el comando de la corriente de la línea 1, el resto de pruebas al igual que en lo realizado con el usuario 1, se ha obtenido un 100% de reconocimiento de los comandos.

Comparando los resultados el usuario 1 con el usuario 2, es claro notar como el problema radica dentro del reconocimiento del comando de encender motor en sentido anti horario y la contraseña. Sin embargo, esto puede ser atribuido a la vocalización y tono de voz del usuario ya que el usuario 1 ha utilizado un tono de voz alto, mientras que el usuario 2 ha utilizado un tono de voz normal. Con estos resultados se ha determinado lo siguiente:

- Una vocalización y tono adecuado de voz hace que sea más probable que Alexa logre reconocer los comandos.
- *Voiceflow* está basado en el idioma inglés y puede trabajar de una manera idónea con frases en español, sin embargo, la *skill* puede tener problemas en detectar palabras que tengan un acento diferente en español como lo fue en este caso la palabra contraseña “Baldor”.
- Los fallos con el encendido del motor anti horario fueron debido a que la palabra “anti” no era reconocido y Alexa toma el comando como encender motor horario, esto significa que las frases similares también influyen dentro del reconocimiento de comandos.

Pruebas en Condiciones Normales Usuario 2																						
Prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Efectivid	
Encender Motor Horario	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Encender Motor Anti																						
Horario	A	A	X	A	A	X	A	A	X	A	X	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	75%
Contraseña	A	X	A	A	X	A	A	A	X	A	A	A	X	A	A	X	A	A	A	A	X	70%
Apagar Motor	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Corriente Línea 1	A	A	A	A	A	A	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	95%
Corriente Línea 2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Corriente Línea 3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Temperatura	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Vibración	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Ayuda	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Promedio																					94,55%	

Nota. Las pruebas realizadas con el usuario 2 demostraron de igual manera problemas con el reconocimiento del comando de motor anti horario y la contraseña.

Pruebas con perturbaciones

Al igual que en la subsección anterior se realizan pruebas del funcionamiento de la *skill* para verificar el reconocimiento de los comandos de voz dictados por el usuario, pero en este caso se incluyeron perturbaciones, agregando sonidos reproducidos por dos teléfonos celulares en el área cercana al asistente de voz dentro del laboratorio donde se realizaron las pruebas. Los audios que se utilizaron fueron de conversaciones entre personas y sonidos de una industria metalúrgica, esto con el objetivo de simular un entorno industrial en el que existen diferentes máquinas encendidas y varios operadores los cuales pueden interactuar cerca del usuario que utilice el asistente de voz. El nivel de decibelios generado por estas perturbaciones fue de 84 dB, siendo el valor en condiciones normales 12 dB, este valor fue tomado mediante la aplicación móvil *Sound Meter*.

Las pruebas se realizaron con las diferentes solicitudes que puede pedir el usuario al asistente de voz y que fueron programadas en la *skill*, estas son: encender el motor en sentido horario o antihorario, apagar el motor, la clave para encender el motor, conocimiento del valor de corriente en cualquiera de las líneas de alimentación, la temperatura en el área cercana en la que se encuentra el motor, solicitud de ayuda y la palabra de activación de la *skill*.

Tabla 12

Resultados de pruebas de funcionamiento de la skill incluyendo perturbaciones de sonido.

Pruebas con Perturbaciones																					
Prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	Efectividad
Palabra de activación	A	A	A	A	A	X	A	X	A	A	A	A	A	A	X	A	A	A	A	A	85,00%
Encender Motor Horario	A	X	X	X	X	A	A	A	A	X	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	70,00%
Encender Motor Anti Horario	A	A	X	A	X	X	A	A	A	A	X	A	X	A	A	A	A	X	A	X	65,00%
Petición de clave	A	X	A	X	A	A	X	X	A	X	X	A	X	A	A	A	A	A	A	A	65,00%
Apagar Motor	A	A	A	A	A	A	X	X	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	A	A	85,00%
Corriente Línea 1	A	A	A	X	A	X	A	A	A	A	X	X	A	A	A	A	A	A	A	A	80,00%
Corriente Línea 2	X	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	X	A	A	A	A	A	X	A	A	80,00%
Corriente Línea 3	A	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	A	90,00%
Temperatura	A	A	A	X	A	A	X	A	A	A	X	X	A	A	A	A	A	X	A	A	75,00%
Vibración	A	X	X	A	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	A	80,00%
Ayuda	X	A	A	A	A	X	A	A	A	X	A	A	A	A	A	X	A	A	A	A	80,00%
Promedio																				77,73%	

Nota. La letra A significa prueba aprobada, mientras que X es un reconocimiento erróneo de la solicitud realizada por el usuario.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de funcionamiento realizada, en la cual se aprecia una reducción notoria de la efectividad en el reconocimiento de los comandos de voz dictados por un usuario. En las pruebas realizadas en la sección 4.2.1, cuyos resultados se muestran en la Tabla 10 y Tabla 11, la menor efectividad alcanzada fue de 94.55%. Mientras que, al introducir los audios cerca del asistente de voz esta efectividad se reduce en un 16.81%. El problema que tiene el

asistente de voz es no lograr identificar adecuadamente la petición que ha dictado el usuario, una vez que se detecta la palabra “Alexa” el micrófono del dispositivo empieza a captar el audio, a causa que en el entorno cercano existen más voces humanas el micrófono también detecta estas palabras y ya no solo las del usuario. Además, el ruido de las máquinas de una industria metalúrgica hace que el audio captado por el micrófono se vea alterado y causa errores en la detección.

Como se muestra en la Tabla 12 los menores porcentajes de efectividad se tiene en el encendido del motor, debido a que no se puede identificar el sentido de giro al cual se desea encender o se enciende en un sentido erróneo, ocurren tres escenarios: el motor no se enciende y el asistente pide se repita la petición realizada, se solicita al asistente que el motor se encienda en sentido horario y este termina encendiéndose en sentido antihorario y viceversa. Otro porcentaje bajo de efectividad es el reconocimiento de la clave para encender el motor, pero comparando con los resultados obtenidos con las pruebas de funcionamiento sin perturbaciones se verifica que la contraseña mantiene un bajo porcentaje de reconocimiento, entre 65% y 85%. Cabe señalar que la contraseña debe tener cierta dificultad para que garantice un nivel de seguridad adecuada para ejecutar esta acción. Esta dificultad puede hacer que el asistente de voz tenga problemas en el reconocimiento de ciertas palabras por los acentos, idioma o perturbaciones del entorno, los cuales son factores que se debe tener en cuenta para la programación de la *skill*.

Pruebas de funcionamiento utilizando audífonos

Las perturbaciones de ruido al momento de hablar con Alexa es un problema constante que se ha presentado varias veces en la bibliografía revisada en el marco teórico, por lo tanto, con ambición de solución a este problema se ha realizado pruebas de los comandos de la *skill* desarrollada utilizando audífonos alámbricos para la comunicación con Alexa. En la Tabla 13 se puede observar un porcentaje de efectividad mayor a los encontrados en las tablas que fueron analizadas previamente. Cabe notar

como a pesar de tener una forma de comunicación donde se reduce el ruido, los fallos dentro del reconocimiento de la contraseña.

Tabla 13

Resultado de pruebas realizadas con Audífonos conectados a Alexa

Pruebas con Audífonos																						
Prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Efectividad	
Palabra de activación	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%
Encender Motor Horario	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	95%
Encender Motor Anti																						
Horario	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	A	A	A	A	A	A	X	A	90%	
Contraseña	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	A	A	A	90%	
Apagar Motor	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
Corriente Línea 1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
Corriente Línea 2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
Corriente Línea 3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
Temperatura	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
Vibración	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
Ayuda	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
																				Promedio	97,73%	

Nota. Las pruebas realizadas con audífonos demostraron una eficiencia superior, no obstante, problemas encontrados en previas experiencias se mantienen, pero con una menor frecuencia.

Pruebas de corriente

Para poder verificar el correcto funcionamiento de los sensores de corriente se utilizó un multímetro colocado en serie con los sensores para así obtener un valor de corriente con el cual poder comparar los obtenidos por el sensor ACS712, esto se realizó en las 3 líneas del motor. En la Tabla 14 se presentan los resultados de la prueba, cabe notar como los errores obtenidos en las 3 líneas no sobrepasan el 5% de error lo cual es adecuado.

Tabla 14*Resultado de pruebas de corriente*

Pruebas de Corriente						
Prueba	1	2	3	4	5	Error Total por Línea
Corriente Sensor Línea 1	1,64	1,66	1,67	1,65	1,68	
Multímetro Línea 1	1,7	1,74	1,72	1,71	1,76	3,8%
Error Línea 1	3,5%	4,6%	2,9%	3,5%	4,5%	
Corriente Sensor Línea 2	1,61	1,62	1,65	1,6	1,65	
Multímetro Línea 2	1,59	1,6	1,62	1,59	1,63	1,2%
Error Línea 2	1,3%	1,3%	1,9%	0,6%	1,2%	
Corriente Sensor Línea 3	1,63	1,76	1,79	1,79	1,77	
Multímetro Línea 3	1,58	1,70	1,72	1,74	1,71	3,4%
Error Línea 3	3,2%	3,5%	4,1%	2,9%	3,5%	
					Promedio	2,8%

Nota. Los valores presentados en la tabla fueron obtenidos con el motor funcionando en vacío. El promedio total de error obtenido por los sensores de corriente respecto a los valores obtenidos con el multímetro es menor al 5%, lo cual indica una medición aceptable para los propósitos de este proyecto, el error presentado por el sensor es atribuible al código de calibración del sensor.

Pruebas de vibración

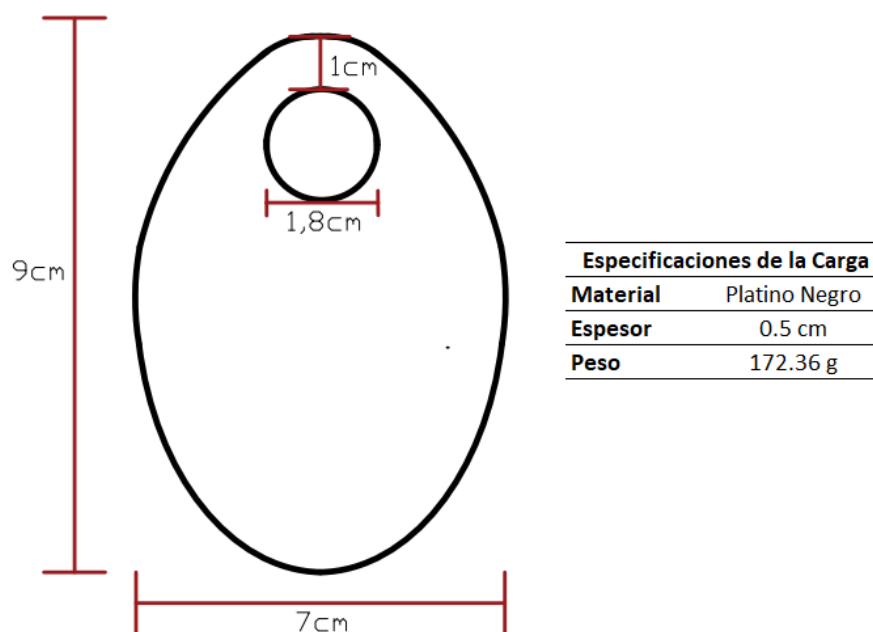
Para poder verificar el correcto funcionamiento de la detección de vibraciones es necesario realizar experiencias donde se tenga diferentes cargas para poder observar el aumento en las vibraciones del motor y de igual manera poder comprobar si las notificaciones del mismo son activadas cuando se sobrepasa el umbral establecido, por lo tanto, se ha realizado lo siguiente:

- Se realizaron pruebas utilizando dos unidades de la pieza de fibra de caucho diseñada en la sección 3.6.2, esto hace que las piezas sumen un total de 45.35 gramos.

- Se realizaron pruebas con una nueva pieza que está hecha del material platino negro, esto con el fin de tener una carga que pueda otorgar vibraciones excesivas y comprobar el aumento de vibraciones en el sensor, el plano de diseño de esta nueva pieza se puede observar en la Figura 37.

Figura 37

Diseño de pieza de Platino Negro



Nota. La pieza diseñada cuenta con una forma de leva, haciendo que esta sea una carga desigual para producir vibraciones notorias.

En la Tabla 15 se pueden observar los resultados de vibración obtenidos con el motor utilizando de carga las dos piezas de fibra de caucho y el motor utilizando la pieza de platino negro, además se ha realizado una comparación con los valores predeterminados del sensor de vibración para poder comprobar el aumento en el cambio en las vibraciones.

Tabla 15

Datos de vibración para diferentes cargas en el motor.

Pruebas con Diferentes Cargas en el Motor												
Nº	Cargas de Fibra de Caucho			Diferencia con Predeterminado			Carga de Platino Negro			Diferencia con Predeterminado		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	1	7,77	1,57	13,65	7,27	1,52	1,75	0,27	-4,64	16,55	-0,23	-4,69
2	-4,98	1,37	11,69	-5,48	1,32	-0,21	49,46	6,39	-1,1	48,96	6,34	-13,00
3	9,06	2,35	13,89	8,56	2,3	1,99	-4,2	-9,57	3,61	-4,7	-9,62	-8,29
4	5,06	-2,79	12,59	4,56	-2,84	0,69	32,28	34,95	12,36	31,78	34,9	0,46
5	-6,55	-2,94	8,2	-7,05	-2,99	-3,7	13,22	-3,04	-2,24	12,72	-3,09	-14,14
Mayor				8,56	2,30	1,99				48,96	34,90	4,65
Menor				-7,05	-2,99	-3,70				-4,70	-9,62	14,14

Nota. Cada una de las medidas obtenidas en esta tabla son el promedio obtenido de 50 datos, los datos predeterminados con el motor sin movimiento son: X=0.50, Y=0.05, Z=11.90. Al final de la tabla se encuentra la diferencia mayor y menor encontrada respecto a los datos predeterminados.

Al analizar la Tabla 15 se puede observar como las vibraciones aumentan al utilizar una carga de mayor peso, las vibraciones excesivas generadas por la carga de platino han presentado valores con una diferencia de máxima de hasta +48,96 respecto al valor predeterminado en el eje X, sobrepasando por mucho el umbral de vibración, de igual manera, como era de esperarse, las dos piezas de fibra de caucho han presentado una diferencia máxima de +8,56 respecto al valor predeterminado en el eje X, haciendo

que en las dos experiencias se obtuviese notificaciones respecto a vibraciones en el motor, comprobando el correcto funcionamiento de la detección de vibraciones y notificación al usuario.

Pruebas de temperatura

Para ejecutar de esta prueba se empleó un termómetro, como un patrón de medida de temperatura, para realizar las comparaciones correspondientes con los valores adquiridos y medidos por el sensor inteligente de temperatura. La temperatura máxima que puede medir el sensor es de 50 grados centígrados, por lo que, para no poner en riesgo a los devanados del motor, al sensor, la caja del hardware del sistema, ni a los cables de conexión del motor, la temperatura se varió dentro del rango de los 20° C a los 40° C. Esta variación de la temperatura en el área cercana al motor se consiguió con ayuda de una pistola de calor, Black and Decker de 1500 W. La pistola de calor se apuntó en diferentes direcciones cercanas al motor a una distancia de 80 centímetros, con el objetivo de que se pueda alcanzar diferentes temperaturas en el área de pruebas. Se realizó 10 mediciones, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16

Resultados de las pruebas de temperatura

<i>Pruebas de Temperatura</i>			
Nº	Termometro	Sensor de Teperatura Inteligente	Error
1	21	20,9	0,48%
2	23	23,3	1,30%
3	25	25,5	2,00%
4	27	26,9	0,37%
5	29	30,4	4,83%
6	30	31,1	3,67%
7	33	32,7	0,91%
8	35	34,6	1,14%
9	37	37,5	1,35%

Pruebas de Temperatura

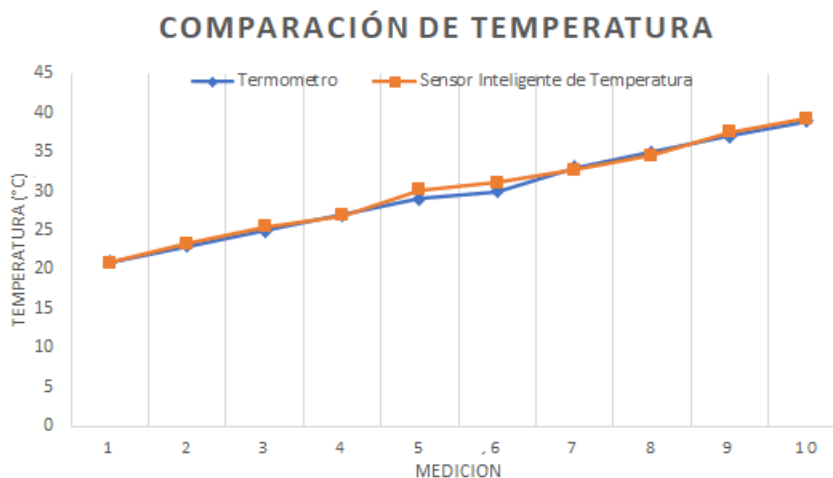
Nº	Termometro	Sensor de Teperatura Inteligente	Error
10	39	39,3	0,77%

Nota. Comparación entre valores medidos con el termómetro y valores entregados por el sensor de temperatura.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 16, se elaboró una gráfica de tendencia para que se pueda verificar el comportamiento de las mediciones realizadas la cual se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Gráfica de tendencia de valores obtenidos en la prueba de temperatura



Nota. Comparación entre valores medidos con termómetro y valores medidos por el sensor inteligente.

Tal como se puede evidenciar en la Tabla 16 y en gráficamente en la Figura 38, se puede apreciar que el comportamiento entre el termómetro y el sensor inteligente es similar. El porcentaje de error en las mediciones realizadas varía entre 0.48% (diferencia de 0.1°C).

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

En el presente trabajo se ha implementado un sistema de seguridad industrial para un motor eléctrico basado en el asistente de voz Alexa, con lo cual se ha logrado demostrar que la aplicación de asistentes de voz dentro de la seguridad industrial es posible y significa un nuevo paso dentro de las interacciones humano máquina en la industria, ya que se ha conseguido un sistema que posibilita el monitoreo de 3 variables del motor mediante Alexa, al igual que controlar el encendido del mismo, tanto en sentido horario como antihorario, además, la posibilidad de dar un cambio de giro y apagar el motor.

El sistema de seguridad industrial con Alexa, desarrollado en el presente trabajo, es una eficiente e innovadora forma de interacción entre un operador humano y las máquinas. A comparación de las interfaces HMI tradicionales, las cuales se encuentran colocadas junto al proceso y en las que se muestran variables importantes de funcionamiento en una pequeña pantalla, mediante este proyecto se muestra el potencial que se puede obtener al introducir un asistente de voz en la tarea de monitorear o controlar equipos en una industria. Obtener información del proceso en una HMI tradicional de cierta forma se convierte en una acción monótona, donde el operador se acerca y busca la variable de su interés, esta interfaz no va a cambiar su forma, diseño y puede estar sujeta a limitaciones visuales o cognitivas por parte del usuario que la maneje. Mientras que, con una interfaz en la que se incluya un asistente de voz se puede entregar la información de una manera amigable, de forma más natural y comprensible para el ser humano, ya que en su programación se pueden agregar diferentes variantes en la voz sintética y en los enunciados para la entrega de información. Se puede realizar conversaciones mucho más amenas, donde el operador pueda solicitar conocer sobre variables o una sola variable específica sin tener que buscarla en una pantalla llena de información. Además, este sistema de seguridad permite garantizar que las notificaciones ante situaciones anormales sean alertadas de

manera más eficiente al operador, ya que él no debe estar cerca de una pantalla para enterarse de estas situaciones, sino que puede estar en cualquier lado de la planta y el parlante del asistente anunciará lo que está pasando, garantizando un mayor nivel de seguridad y alerta ante cualquier situación de riesgo.

Diseño del sistema de seguridad industrial con Alexa

Dentro del campo de los procesos industriales y en específico de la seguridad industrial, existe una carencia de dispositivos que sean compatibles o puedan ser integrados con asistentes de voz tales como Alexa, debido a que este tema aún se encuentra en sus primeros pasos, por lo tanto, se ha tenido la necesidad de adaptar algunos dispositivos no inteligentes para dotarles con la característica de *IoT* con el fin de cumplir con los propósitos del proyecto. Mediante la utilización de la placa microcontroladora ESP32 y la plataforma de *Blynk* es posible realizar esta conexión, ya que se ha logrado integrar el sensor de corriente y el sensor de vibración junto con los dispositivos inteligentes de *Tuya Smart* en la nube, esa integración permite monitorear los dispositivos desde el internet, de igual manera, acceder a su información y poder manipularla. Con lo logrado en este trabajo, se demuestra que todos los dispositivos pueden ser conectados al internet y a su vez ser conectados con un asistente de voz como lo es Alexa.

Hoy en día las diferentes plataformas que permiten el desarrollo de aplicaciones con *IoT* tienen habilitado el uso y manejo de mecanismos que hacen posible la comunicación entre sí, a lo que se conoce como API, permitiendo el manejo y transferencia de información de un lugar a otro mediante solicitudes que permiten la lectura, escritura y actualización de datos en estas plataformas. Para el desarrollo de este sistema fue fundamental el uso de este mecanismo, ya que el traslado de información y datos se lo hizo entre: *VoiceFlow*, *Node Red*, *Blynk*, *Tuya Smart Platform*, *IFTTT*, mediante el uso de solicitudes *get*, *post* y *update*. Cada una de estas plataformas tienen un formato de url para realizar las solicitudes correspondientes, las cuales garantizan un nivel alto de seguridad ya que en su estructura se envían datos que solo el desarrollador o el dueño del proyecto las conoce.

La característica de la *skill* desarrollada fue las conversaciones sofisticadas con Alexa, por lo cual, se optó por *Voiceflow*, este otorga una flexibilidad de programación conveniente para la introducción y manejo tanto simple como avanzado de *skills*. Dando al desarrollador la posibilidad de concentrarse más en la aplicación de la *skill*, antes que entender la compleja programación dentro de *Amazon Developer*.

Pruebas de funcionamiento

Al realizar pruebas de verificación de reconocimiento de comandos de voz en el sistema, se encontró una eficiencia mayor al 90% con los dos usuarios de prueba, lo cual demuestra el correcto funcionamiento de la *skill* y el reconocimiento de voz. Sin embargo, se detectaron problemas que son generados por los siguientes factores: la vocalización no adecuada de palabras, un bajo tono de voz y confusión al utilizar frases similares para dos acciones diferentes como fue el caso de “encender motor horario” y “encender motor antihorario”. *Voiceflow* mostró la característica de ser una plataforma basada en el idioma inglés, por lo cual, se tuvo el problema de no poder utilizar tildes en algunas frases, esto también fue un generador de problemas ya que existe una diferencia en el acento utilizado para algunas palabras en el idioma inglés en comparación con el idioma español.

Los datos presentados dentro de las pruebas realizadas con perturbaciones afirmaron lo encontrado en el marco teórico, el asistente de voz Alexa tiene problemas al reconocer comandos de voz cuando se lo coloca en un ambiente con una alta intensidad de ruido que puede ser generado por personas conversando, máquinas trabajando, etc. La eficiencia se desplomó drásticamente en comparación con las pruebas previas, específicamente esta llegó al valor de 75,45%. No obstante, la característica de tener que levantar el tono de voz fue presente en este estudio, lo cual significa un peligro para la integridad de las cuerdas vocales del usuario al utilizar el sistema durante un periodo constante. No obstante, al realizar pruebas utilizando audífonos conectados a Alexa, se obtuvo una eficiencia del 97,73%, estos demuestran que el problema de ruido presentado en varios estudios puede ser solucionado al utilizar audífonos, de preferencia con cancelación de ruido.

Los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en la corriente del motor presentaron errores menores al 5%, lo cual es adecuado considerando el propósito de este trabajo. Con esto se puede plantear trabajos a futuro donde se utilicen métodos más sofisticados de calibración para mejorar la precisión y exactitud de los sensores. Una característica importante encontrada en estos sensores es la gran fluctuación de valores en poco tiempo, por lo tanto, es recomendable utilizar métodos estadísticos para encontrar un promedio estable del valor de corriente.

El sensor de vibración ha demostrado un comportamiento esperado logrando identificar vibraciones anormales y notificar al usuario al utilizar diferentes cargas, tanto al utilizar vibraciones sutiles como vibraciones excesivas. Cabe recalcar como debido a los propósitos de este trabajo se ha utilizado una manera simple de detección de vibraciones. Los trabajos a futuro pueden involucrar procesamientos y obtención de datos de una forma más sofisticada para una detección de vibraciones superior.

Los valores de temperatura obtenidos con el dispositivo inteligente mostraron un error de 1.68%, lo cual era de esperarse al ser un sensor comercial. Algo importante a tomar en cuenta es la limitación dada por el propio sensor donde el tiempo de actualización mínimo a poder ser escogido es de 1 min, sin embargo, debido a que la temperatura es una variable la cual crece con el tiempo, no se ha presentado problemas dentro de la identificación y notificación al usuario cuando se obtienen valores que sobrepasan el umbral establecido.

Con los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento realizadas se puede asegurar que el sistema garantiza un alto nivel de seguridad en la medición de las variables, en su operación y en la ejecución de las tareas para las cuales fue creado. Pero se debe señalar que este sistema depende directamente de la conexión y velocidad del internet a la cual se encuentren conectados el asistente y los dispositivos de control y medición. Una baja velocidad de internet puede causar retrasos en la comunicación de datos o en la ejecución de tareas solicitadas. Otra consideración a tomar en cuenta es

el ancho de banda del internet con el que se trabaja, ya que los dispositivos inteligentes y la placa microcontroladora ESP32 solo se conectan a redes de 2.4 GHz, no funcionan con redes de 5 GHz.

Trabajos Futuros y Recomendaciones

En este trabajo se ha utilizado un nivel de acceso específico para el encendido del motor a través de una clave la cual es recibida por Alexa mediante un comando de voz. Para un trabajo a futuro se podría trabajar sobre el campo de procesamiento de voz para reconocer usuarios específicos, de esta manera, se evitaría una posible suplantación de identidad.

Como resultado de las pruebas realizadas se ha determinado que, debido a la alta susceptibilidad al ruido o perturbaciones de sonido ambiental, es recomendable utilizar audífonos inalámbricos de alta calidad con cancelación de ruido para proporcionar al usuario una comodidad de movilidad y una eficiencia en la comunicación con el asistente.

En referencia a la programación de la *skill* del sistema, es recomendable basar todas las interacciones de Alexa con palabras que puedan ser vocalizadas de una manera sencilla, ya que el objetivo a ser buscado en las interacciones con un asistente de voz debe estar caracterizado por la facilidad y rapidez de comunicación con el usuario. De esta manera se evita la confusión en el reconocimiento de patrones de voz y se asegura una correcta ejecución de tareas.

En el uso de las plataformas *Iot* y sus *API*, se debe tomar en cuenta que las *URL* para las diferentes acciones a realizar sobre los datos o dispositivos, deben ser protegidas y no deberían ser reveladas a personas externas, ya que cualquier persona con ellas pueden obtener información sobre el proceso, activar o desactivar equipos; es decir puede convertirse en una amenaza para el funcionamiento normal de la planta.

Bibliografía

- Afanasev, M. Y., Fedosov, Y. v., Andreev, Y. S., Krylova, A. A., Shorokhov, S. A., Zimenko, K. v., & Kolesnikov, M. v. (2019). A concept for integration of voice assistant and modular cyber-physical production system. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2019-July*, 27–32. <https://doi.org/10.1109/INDIN41052.2019.8972015>
- Agility Effect. (2019, December 12). *La voz aún no ha entrado en las fábricas*. <https://www.theagilityeffect.com/es/article/la-voz-espera-aun-a-las-puertas-de-la-fabrica/>.
- Alexa Developer Console. (2022). *Index of Skill Types*. <https://developer.amazon.com/en-US/docs/alexa/ask-overviews/list-of-skills.html>.
- Allegro MicroSystems. (2023). *ACS712ELCTR-05B-T Datasheet*.
- Analog Devices. (2023). *Three-Axis Digital Accelerometer Preliminary Technical Data ADXL345*.
- Ángel, M., Figueroa, H., Gibran Vázquez Báez, R., Orlando, J., & Rangel, C. (2020). Propuesta de asistente virtual basado en inteligencia artificial en la integración de un brazo robótico para aplicaciones en la industria 4.0. *Research in Computing Science*, 149(8), 2020–2353.
- Barrios, K., López, J., Mendieta, S., Benavides, R., & Sáez, Y. (2018). *Sistema de reconocimiento de voz: un enlace en la comunicación hombre-máquina Voice recognition system: a link in man-machine communication* (Vol. 4).
- Colombo, A. W., Bangemann, T., Karnouskos, S., Delsing, J., Stluka, P., Harrison, R., Jammes, F., & Lastra, J. L. (2014). *Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05624-1>
- Diamantaras, I. (2019). *Interfaz de usuario de voz para sistemas de Automatización*.
- Guachun- Arias, J., & Serpa-Andrade, L. (2022). Implementation of an IoT-Based Environment to Control an Industrial Process by Voice Commands using a Virtual Assistant. *Production Management and Process Control*, 36. <https://doi.org/10.54941/ahfe1001629>
- Hernández, L. del V. (2018). *Introducción a Node-RED y Raspberry Pi con un sistema de alarma con Arduino*. https://programarfacil.com/blog/raspberry-pi/introduccion-node-red-raspberry-pi/#Antes_de_empezar_con_Node-RED.
- Jungbluth, J., Siedentopp, K., Krieger, R., Gerke, W., & Plapper, P. (2018). *Combining Virtual and Robot Assistants—A Case Study about Integrating Amazon’s Alexa as a Voice Interface in Robotics*.
- Leong, R. (2017). *Analyzing the Privacy Attack Landscape for Amazon Alexa Devices*.
- Longo, F., & Padovano, A. (2020). Voice-enabled Assistants of the Operator 4.0 in the Social Smart Factory: Prospective role and challenges for an advanced human-machine interaction. *Manufacturing Letters*, 26, 12–16. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.09.001>

- Mondal, S., Haldar, S., Das, R., & Banerjee, R. (2020). *AN EFFICIENT VOICE ASSISTANT APPROACH USING IOT*. 67–71. <https://doi.org/10.26480/cic.01.2020.67.71>
- Motta, J., Morero, H., & Ascúa, R. (2019). *Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina*.
- Node Red Inc. (2023). *About Node Red*. <https://Nodered.Org/About/>.
- Perez Garcia, D. M., Saffon Lopez, S., & Donis, H. (2018). *Everybody is talking about Virtual Assistants, but how are people really using them?*
<https://doi.org/10.14236/ewic/hci2018.96>
- Pramod, A., Raju, M., Subhash, S., Gurunath, S., & Khanapuri, J. (2020). *INTELLIGENT VOICE ASSISTANT*. <https://ssrn.com/abstract=3568721>
- Rodal, E. (2021, September 12). *Tecnologías asociadas a la voz y su impacto en la Industria*. <https://www.youtube.com/watch?v=E7FBQFP5H6M>.
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177–191. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- Serras, M., Garcia-Sardina, L., Simoes, B., Alvarez, H., & Arambarri, J. (2020). AREVA: Augmented reality voice assistant for industrial maintenance. *Procesamiento Del Lenguaje Natural*, 65, 135–138. <https://doi.org/10.26342/2020-65-21>
- Tuya Developer. (2022, November 7). *Tuya IoT Development Platform*. <https://Developer.Tuya.Com/En/Docs/Iot/Introduction-of-Tuya?Id=K914joffendwh>.
- Tuya Smart. (2023). *Tuya Smart Life Zigbee Temperature Sensor Humidity*. <https://Expo.Tuya.Com/Product/953002>.
- Vicente-Samper, J. M., Campos, I., Sanz Worrel, B., Rodríguez, A., Oñate Tevar, J. M., & Sabater-Navarro, J. M. (2019). *Ejemplo de integración de Alexa con un robot UR*. 360–365. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497169.360>
- Voiceflow. (2022). *Voiceflow Documentation*. <https://Developer.Voiceflow.Com/Docs>.
- Zona Segura Tech. (2022). *Interruptor Smart Switch Básico WIFI Tuya Smar*. <https://www.zonaseguratech.com/products/interruptor-smart-switch-basico-wifi-tuya-smart/>.

Apéndices