



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

### CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

“Desarrollo de Sistema de Seguridad Industrial en base a Asistente de Voz”

**AUTORES:**

Sr. AYALA PICO JAIME LUCIANO  
Sr. LÓPEZ CASTRO BRIAN ANDRÉS

**TUTOR:** ING. AYALA TACO JAIME PAÚL, PhD.

**SANGOLQUÍ - 2023**





- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. ESTADO DEL ARTE**
- 3. DISEÑO DE SISTEMA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL CON ALEXA**
- 4. PRUEBAS Y RESULTADOS**
- 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



# INTRODUCCIÓN



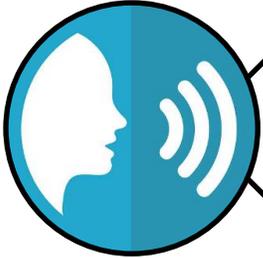


## OBJETIVO GENERAL

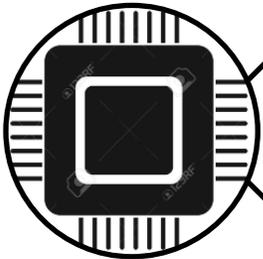
Desarrollar un sistema de seguridad industrial para un motor eléctrico basado en el asistente de voz Alexa, que permita la monitorización de parámetros de su funcionamiento.



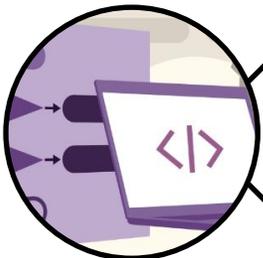
## OBJETIVOS ESPECÍFICOS



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.

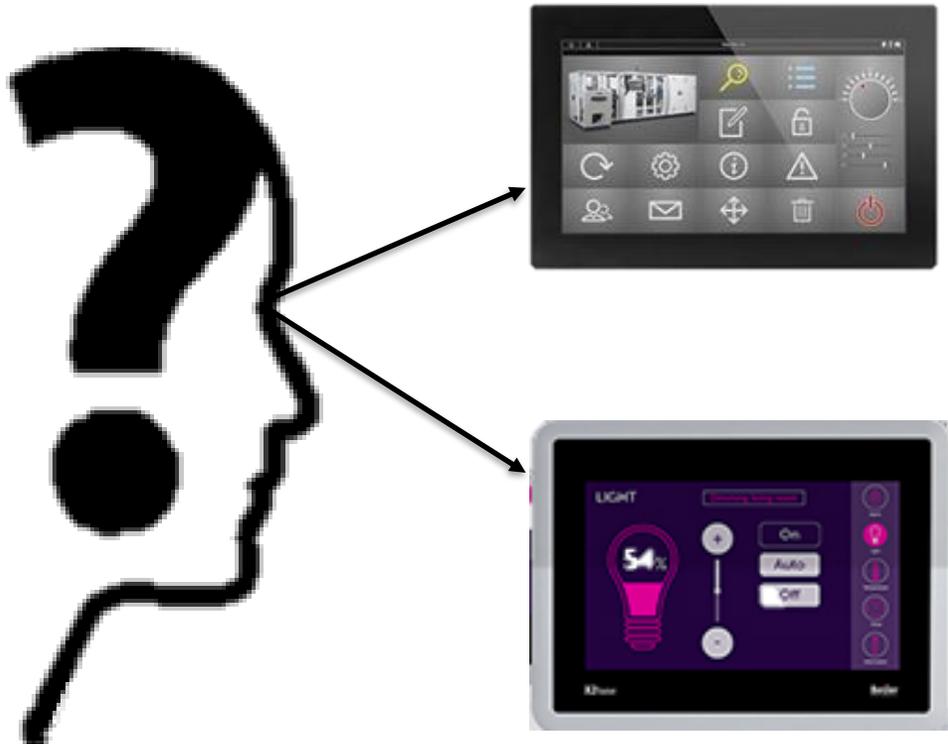


Implementar hardware que permita la adquisición de los parámetros de funcionamiento del motor para informar al usuario interesado en los mismos..



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.

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



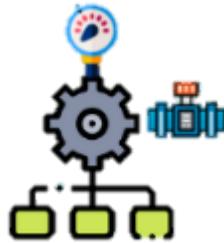
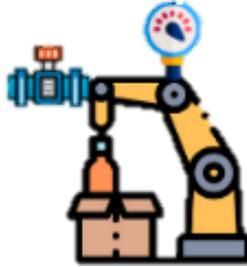
La Interacción entre el nivel físico y el nivel digital, hace notar la necesidad de la mejora de las interfaces entre las máquinas y el humano

Funciones de HMI tradicionales están quedando limitadas en funciones de control, monitorización o visualización.

Nuevas tecnologías de la Industria 4,0 ofrecen nuevas capacidades de comunicación e interacción entre humanos y equipos

IoT permite la interconectividad, comunicación continua entre todos los dispositivos y equipos de planta y conocimiento del estado en todo momento del proceso

# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA



El uso integrado de el internet de las cosas y los asistentes de voz, otorgan un valor agregado al manejo de la seguridad industrial.

Acceso a información, control de equipos o máquinas, monitoreo de parámetros se realiza de manera fácil, amigable y mediante comandos de voz.

Nuevo método de interacción humano máquina que permite una comunicación más natural, intuitiva, directa y comprensible.

Omitir limitaciones de las interfaces humano máquina tradicionales, permite una interacción más fluida, accesible y entendible.

# ESTADO DEL ARTE





# APLICACIONES ASISTENTES DE VOZ EN LA INDUSTRIA

Funcionalidad, alcance y facilidad de uso.

Reducidas investigaciones de la aplicación de asistentes de voz en el área industrial (Afanasev et al., 2019).

Asistentes de voz en industria tiene limitaciones por una serie de factores que afectan directamente al proceso de reconocimiento de comandos de voz.

## Impacto en la Industria

- Tendencia a eliminar pantallas, teclados, permitiendo que el operador tenga sus dos manos libres y pueda hacer más cosas mientras da órdenes al sistema de producción (Rodal, 2021)
- Desarrollo de chatbots y conversaciones en teléfono para planificación y logística
- Seguridad necesaria: reconocimiento de operarios, accesos a funciones y uso de nuevas tecnologías.



# APLICACIONES ASISTENTE DE VOZ EN LA INDUSTRIA

## Procesos Industriales

- Control de temperatura y humedad, asistente de voz basado en ESP8266 (Mondal et al., 2020).
- Prototipo asistente de voz industrial utilizando Yandex y Raspberry Pi para conectarse a CPS, consulta de datos, análisis de información, estado actual del proceso. (Afanasev et al., 2019)
- Control de velocidad de un motor mediante Alexa y Raspberry Pi, limitaciones de ruido (Guachun-Arias & Serpa-Andrade, 2022)
- Asistente de voz con Alexa para consulta de reportes, estado de entradas y salidas de PLC. (Diamantaras, 2019))
- Interacción de un brazo robótico industrial con Alexa, mediante base de datos en la nube (Vicente-Samper et al., 2019)

## Mantenimiento

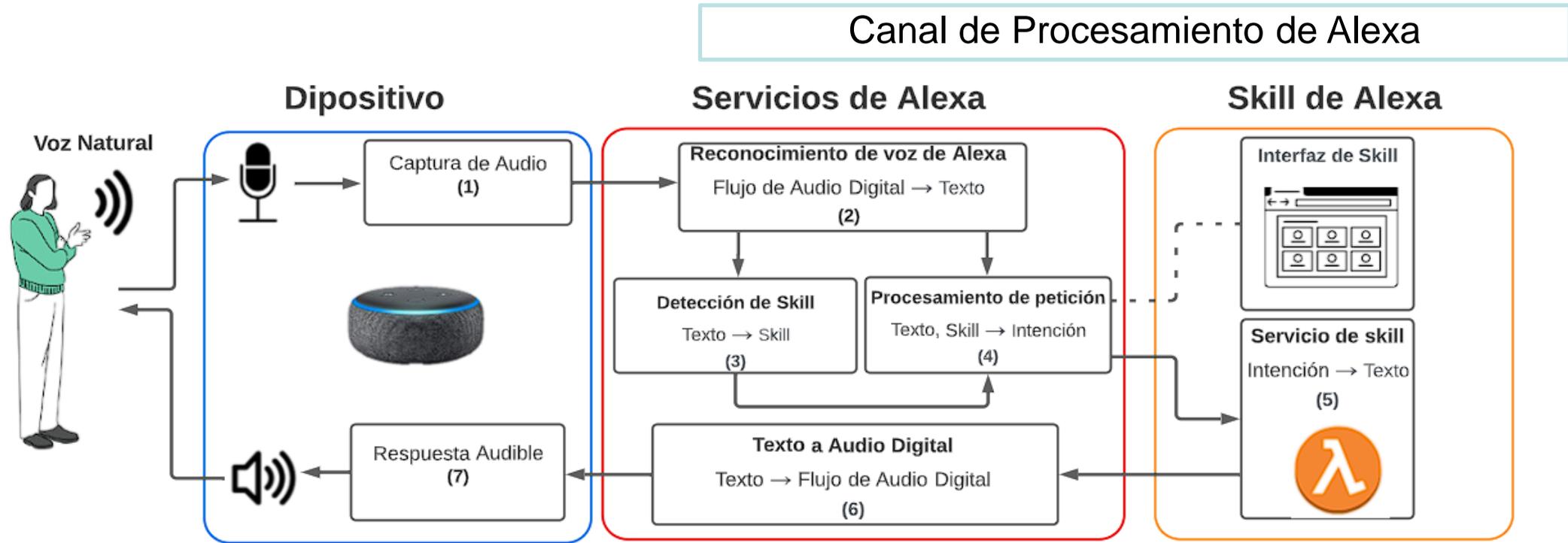
- Integración asistente de voz y realidad aumentada para mantenimiento de efector final de robot (Serras et al., 2020)
- Asistente de voz para mantenimiento y calibración de fresadora (Longo & Padovano, 2020)

## Control de Calidad

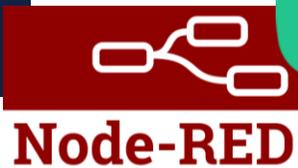
- Asistente inteligente para un proceso básico de control de calidad de piezas de colores realizado por un brazo robótico Ángel et al., 2020). Integración: visión artificial, IoT y asistente de voz



# PROCESAMIENTO ALEXA



Plataformas Auxiliares



**E S P E**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA

# DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL CON ALEXA





## FUNCIONALIDADES DE SKILL



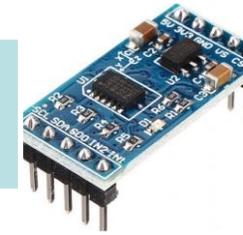
- Encender y apagar motor
- Nivel de acceso
- Cambio de giro del motor
- Monitorización de Corriente
- Monitorización de Temperatura
- Monitorización de Vibración
- Generación de Notificaciones

# MÓDULOS Y DISPOSITIVOS INTELIGENTES



Módulo ACS712 (Sensor de Corriente)

Módulo ADXL345 (Acelerómetro 3 ejes)



Sensor Inteligente de Temperatura y Humedad

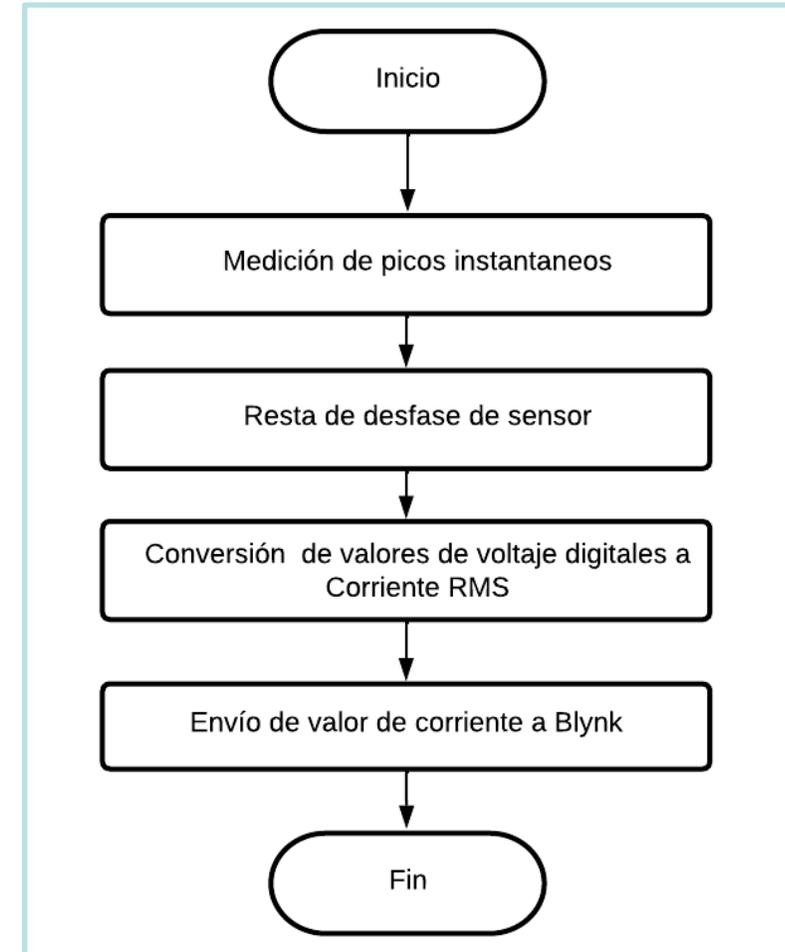
Relé Inteligente





# ADQUISICIÓN Y ENVÍO DE DATOS SENSOR DE CORRIENTE

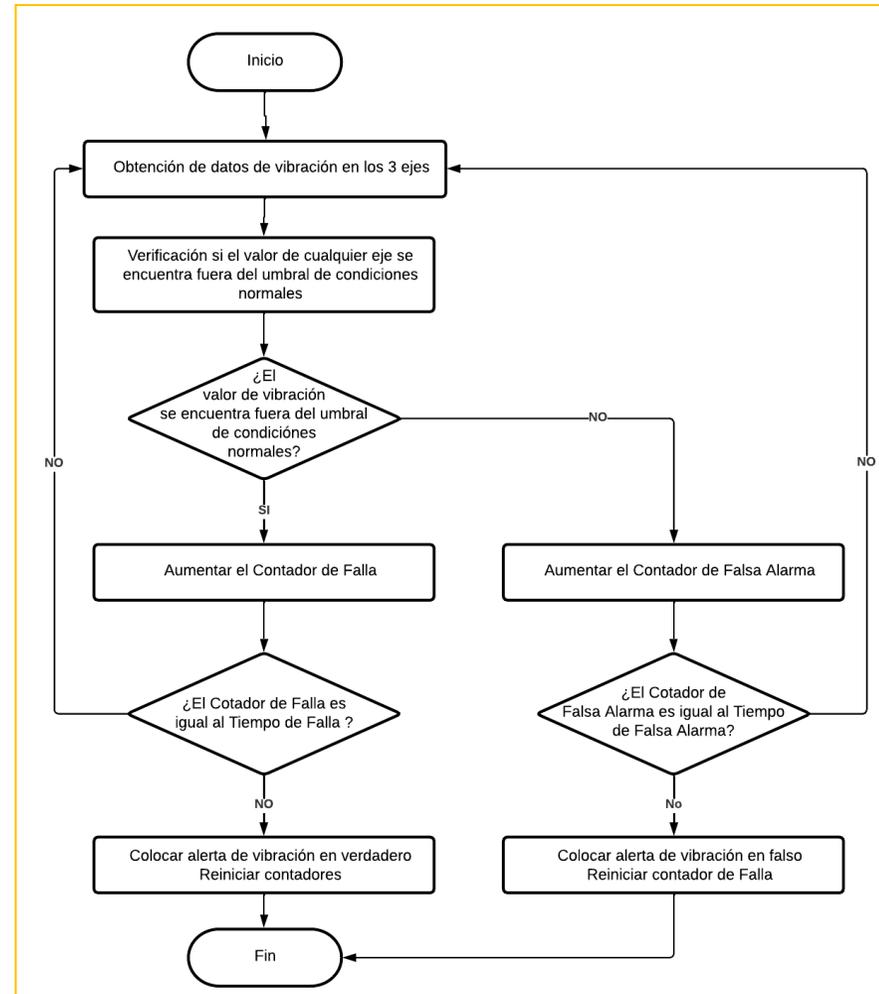
- Frecuencia de muestreo de 5 ms
- Multiplica para la resolución de ESP32 que es 0.805
- Conversión de Corriente de 185 de ACS712.
- División para 1.41





# ADQUISICIÓN Y ENVÍO DE DATOS MÓDULO ACELERÓMETRO

- Tiempo de muestreo 5 ms
- Umbral de condición normal, dentro de  $\pm 1$  del valor predeterminado
- Tiempo de Falla de 6 segundos
- Tiempo de Falsa Alarma de 3 segundos

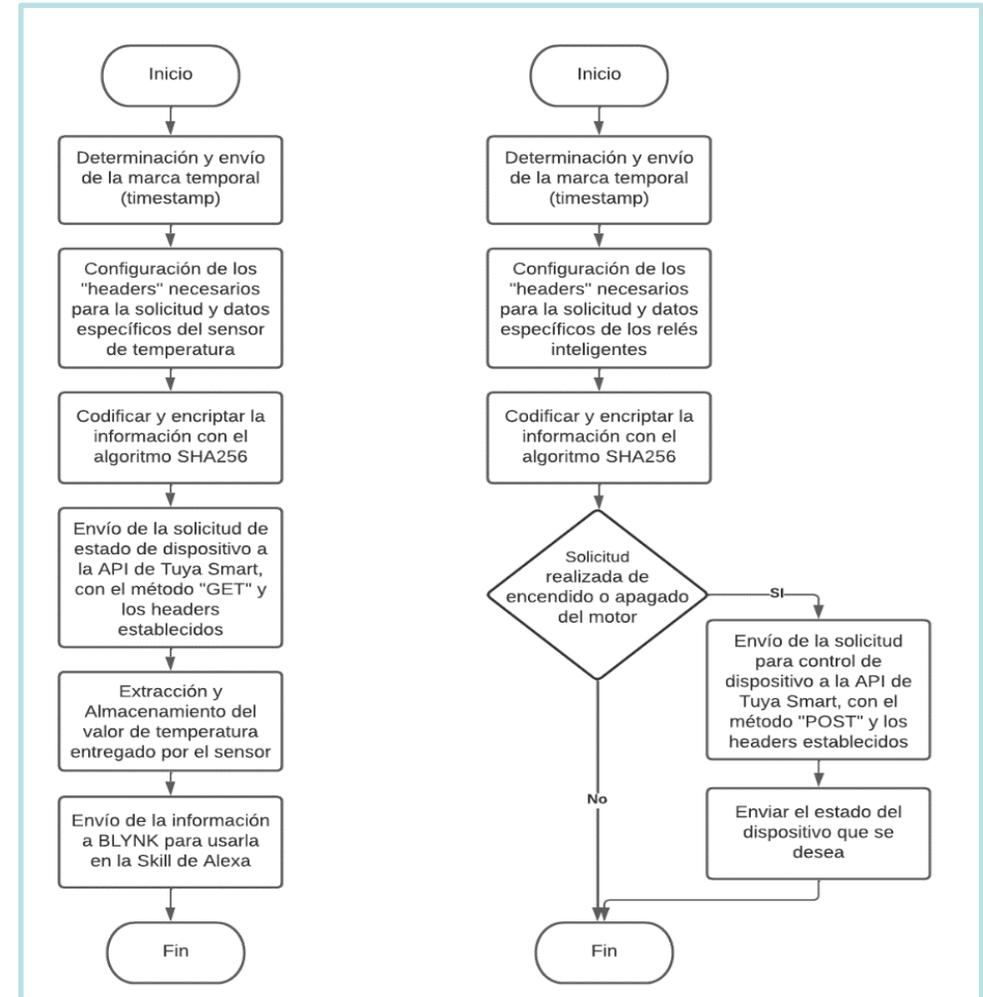


# LECTURA Y ESCRITURA DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES

## ■ Solicitudes URL a la *Tuya Smart Platform*

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

- Timestamp
- Url
- Claves de Autorización
- Firma de Validación





## PLATAFORMAS AUXILIARES



### ***Tuya Smart***

Gestión de Dispositivos Inteligentes: Relé y Sensor de Temperatura



### ***Node Red***

Solicitudes API a *Tuya Smart*. Control de dispositivos inteligentes



### ***Blynk***

Almacenamiento de datos: módulo sensor de corriente, acelerómetro, temperatura y estado de relés inteligentes



### ***IFTTT***

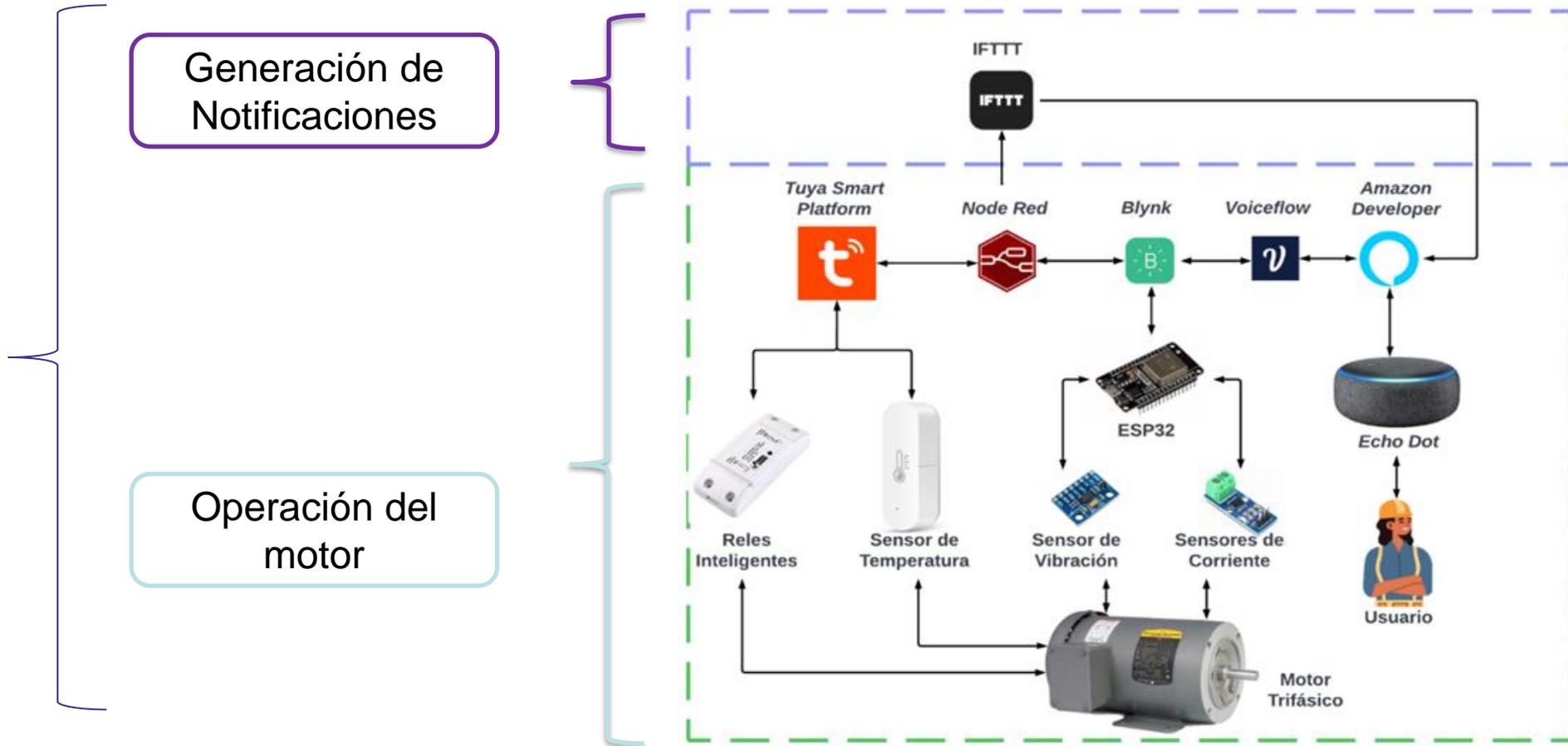
Envío de notificaciones a Alexa Echo Dot: corriente, temperatura y vibración



### ***VoiceFlow***

Programación de *skill* del Sistema de Seguridad Industrial

# ESQUEMA DE CONEXIÓN ENTRE DISPOSITIVOS



# PRUEBAS Y RESULTADOS





# EFICIENCIA DE COMUNICACIÓN CON ALEXA

Prueba	Normal Usuario 1	Normal Usuario 2	Perturbaciones	Audifonos
Palabra de activación	100%	100,0%	85,00%	100,0%
Encender Motor Horario	100%	100,0%	60,00%	95,0%
Encender Motor Anti Horari	85%	75,0%	80,00%	90,0%
Contraseña	85%	70,0%	55,00%	90,0%
Apagar Motor	100%	100,0%	85,00%	100,0%
Corriente Línea 1	100%	95,0%	80,00%	100,0%
Corriente Línea 2	100%	100,0%	75,00%	100,0%
Corriente Línea 3	100%	100,0%	85,00%	100,0%
Temperatura	100%	100,0%	75,00%	100,0%
Vibración	100%	100,0%	75,00%	100,0%
Ayuda	100%	100,0%	75,00%	100,0%
<b>Total</b>	<b>97,27%</b>	<b>94,5%</b>	<b>75,45%</b>	<b>97,73%</b>

- Reconocimiento de comandos.
- 20 Pruebas realizadas para cada interacción con Alexa.
- Condiciones Normales de laboratorio 12 dB y 84 dB agregando ruido.
- Problemas con vocalización, palabras similares.
- Utilizar Audífonos con Alexa incrementa notoriamente la eficiencia

## 4. PRUEBAS Y RESULTADOS





# COMPARATIVA SENSOR CORRIENTE VS MULTÍMETRO

- Motor funcionando sin Carga
- Error Atribuido a la calibración de los sensores, sin embargo, error menor al 5%.

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	<b>3,8%</b>
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	<b>1,2%</b>
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	<b>3,4%</b>
Error Línea 3	3,2%	3,5%	4,1%	2,9%	3,5%	
					Promedio	<b>2,8%</b>





# DETECCIÓN DE VIBRACIONES SUTILES Y EXCESIVAS

- Valores promedio de 50 Datos.
- Identificación de vibraciones y notificación al usuario al utilizar diferentes cargas.
- Dos piezas de fibra de caucho.
- Espesor 0.4 cm cada una
- Peso total 45.35 gramos
- Pieza de Platino Negro
- Espesor 0.5 cm cada una
- Peso total 172.36 gramos

Pruebas de Vibración	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				<b>8,56</b>	2,30	1,99				<b>48,96</b>	34,90	4,65	
Menor				<b>-7,05</b>	-2,99	-3,70				<b>-4,70</b>	-9,62	<b>-14,14</b>	

## 4. PRUEBAS Y RESULTADOS





# COMPARATIVA SENSOR TEMPERATURA VS TERMÓMETRO

Pruebas de Temperatura

Nº	Termometro	Sensor de temperatura 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	30,2	4,14%
6	30	31,1	3,67%
7	33	32,7	0,91%
8	35	34,6	1,14%
9	37	37,5	1,35%
10	39	39,3	0,77%
<b>Promedio</b>			<b>1,68%</b>

- Uso de Pistola de Calor para aumento de temperatura en la zona.
- Actualización de Sensor cada 1 min.
- Error menor a 1,68%.
- Sensor Comercial.





# PRUEBAS DE VIBRACIÓN

- Efecto de artefactos de movimiento y cambios en la luz ambiental
- Efecto de artefactos de movimiento y cambios en la luz ambiental
- Efecto de artefactos de movimiento y cambios en la luz ambiental

## 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	
Multimetro Línea 1	1,7	1,74	1,72	1,71	1,76	<b>3,8%</b>
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	
Multimetro Línea 2	1,59	1,6	1,62	1,59	1,63	<b>1,2%</b>
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	
Multimetro Línea 3	1,58	1,70	1,72	1,74	1,71	<b>3,4%</b>
Error Línea 3	3,2%	3,5%	4,1%	2,9%	3,5%	
					Promedio	<b>2,8%</b>



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





# CONCLUSIONES

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

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.

Mediante la utilización de la placa microcontroladora ESP32 y la plataforma de *Blynk* es posible dotar de características *IoT* a módulos o sensores de Arduino, se ha logrado integrar el sensor de corriente y el sensor de vibración junto con los dispositivos inteligentes de *Tuya Smart* en la nube, permitiendo manipular y acceder a su información

Se logra tener notificaciones eficientes, ya que el operador no debe estar cerca de una pantalla para enterarse de estas situaciones anormales, 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



# CONCLUSIONES

Se detectaron problemas en el reconocimiento de comandos de voz, generados por los siguientes factores: la vocalización no adecuada de palabras, un bajo tono de voz, confusión al utilizar frases similares para dos acciones diferentes, acentos producto del uso de tildes y perturbaciones sonoras del ambiente cercano al área de trabajo.

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, la eficiencia se desploma drásticamente de aproximadamente un 95% (en ambiente sin ruido) a 75,45%. Pero este problema se puede solventar mediante el uso de audífonos, donde en una misma situación de ruido la eficiencia aumenta a un 97,73%

Los sensores de corriente presentan un error máximo del 5% en comparación a una medida realizada por un amperímetro, el sensor de temperatura presenta un error del 1,68% en comparación a la medida entregada por un termómetro y el acelerómetro permite identificar adecuadamente vibraciones anormales en el motor. Con lo que se garantiza un alto nivel de seguridad en la medición de las variables de interés.





# 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.

Se recomienda que en el lugar de instalación del sistema de seguridad industrial se garantice una buena conexión a internet, con el ancho de banda de 2.4 GHz para de esta manera no tener problemas en el funcionamiento de los dispositivos inteligentes, transmisión de datos y del sistema en general.

