



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Posgrado  
Maestría de Tecnologías de la Información y Comunicación

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL UTILIZANDO IOT  
PARA CONECTAR LOS TABLEROS ELECTRÓNICOS DE LAS GRÚAS ABUS CON EL  
SISTEMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA EMPRESA CONTEC INDUSTRIAL, S.A.**

**Ing. Carlos Alejandro Arias López**

Asesorado por el Ing. MSc. José Alfredo González Díaz

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL UTILIZANDO IOT  
PARA CONECTAR LOS TABLEROS ELECTRÓNICOS DE LAS GRÚAS ABUS CON EL  
SISTEMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA EMPRESA CONTEC INDUSTRIAL, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ING. CARLOS ALEJANDRO ARIAS LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. MSc. JOSÉ ALFREDO GONZALEZ DIAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Everest Darwin Medinilla Rodríguez
EXAMINADOR	Mtro. Ing Estuardo Enrique Echeverría Nova
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL UTILIZANDO IOT  
PARA CONECTAR LOS TABLEROS ELECTRÓNICOS DE LAS GRÚAS ABUS CON EL  
SISTEMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA EMPRESA CONTEC INDUSTRIAL, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Estudios de Posgrado de la facultad de ingeniería, con fecha noviembre 2021.

**Ing. Carlos Alejandro Arias López**

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
[secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt)

LNG.DECANATO.OI.213.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL UTILIZANDO IOT PARA CONECTAR LOS TABLEROS ELECTRÓNICOS DE LAS GRÚAS ABUS CON EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA EMPRESA CONTEC INDUSTRIAL, S.A.**, presentado por: **Ing. Carlos Alejandro Arias López**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Tecnologías de la información y la comunicación después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DECANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
★

Decana

Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc



**Guatemala, febrero de 2023**

LNG.EEP.OI.213.2023

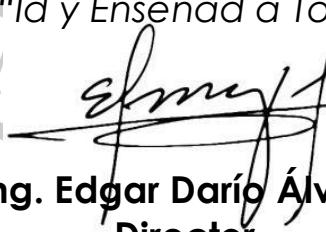
En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL UTILIZANDO IOT PARA CONECTAR LOS TABLEROS ELECTRÓNICOS DE LAS GRÚAS ABUS CON EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA EMPRESA CONTEC INDUSTRIAL, S.A.”**

presentado por **Ing. Carlos Alejandro Arias López** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Tecnologías de la información y la comunicación**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 28 de mayo de 2022

**M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

**M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL UTILIZANDO IOT PARA CONECTAR LOS TABLEROS ELECTRÓNICOS DE LAS GRÚAS ABUS CON EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA EMPRESA CONTEC INDUSTRIAL, S.A." del estudiante **Carlos Alejandro Arias López** quien se identifica con número de carné **201990345** del programa de **Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**MARLON ANTONIO PEREZ TURK**  
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS  
COLEGIADO No. 4492

**MA. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk**  
Coordinador

**Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Coordinador de Área

ESCUELA DE ESTUDIOS  
DE POSTGRADO  
**EE**  
**USAC**

Guatemala, 01 de octubre de 2022

MSc. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrados  
Presente

Estimado MSc. Ing. Álvarez Cotí:

Reciba un cordial y atento saludo, a la vez aprovecho la oportunidad para hacerle de su conocimiento que he revisado y aprobado el TRABAJO DE GRADUACIÓN titulado: "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL UTILIZANDO IOT PARA CONECTAR LOS TABLEROS ELECTRÓNICOS DE LAS GRÚAS ABUS CON EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA EMPRESA CONTEC INDUSTRIAL, S.A." del estudiante Carlos Alejandro Arias López quien se identifica con número de carné 201990345 y como asesor del mismo, doy el aval correspondiente para su aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos" José Alfredo González Díaz

Ingeniero en Ciencias y Sistemas  
Colegiado 6757

(f.)

MSc. Ing. José Alfredo González  
Colegiado No. 6757  
Asesor

Cc: Archivo/LA

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por todas las bendiciones que me has dado, tú lo sabes todo, tú sabes que te amo, por darme la salud y la sabiduría para poder cumplir mis metas; por haberme dado la inteligencia emocional para salir adelante a pesar de los momentos difíciles.

**Mi mamá y papá**

Por haberme cuidado y educado desde muy pequeño, por sus consejos, por estar siempre cuando los necesito, por su apoyo incondicional para cumplir mis metas; por su apoyo en los momentos difíciles ya que con su cariño y ánimo ante las dificultades me dan luces humanamente y sobrenaturalmente para ser una persona de bien.

**Mi novia**

Por ser muy amorosa; por haberme enseñado a ser fuerte y a trabajar duro ya que tarde o temprano se logran las metas deseadas.

**Mis hermanas(os)**

Por darme consejos positivos en todo momento, por motivarme ante las dificultades a que saliera adelante, por darme ejemplo y sin desfallecer, hasta en los momentos difíciles.

**Andrea Arias**

Gracias por dedicarme tiempo y acompañarme en los momentos difíciles, todo te irá bien, te quiero Andrea y a todos también en la casa. Que Dios les bendiga y les ilumine a seguir adelante con fe, excelencia y pasión.

**Mis amigos**

Que en cada uno de los cursos de la maestría nos apoyamos para lograr salir adelante y en las innumerables ocasiones de desvelos que valieron la pena para culminar las metas propuestas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios**

Porque a lo largo de la vida siempre me ha dado la sabiduría necesaria para salir adelante en los momentos difíciles y haberme brindado salud para afrontar todos los aspectos de la vida.

### **Mi asesora**

Por sus conocimientos, tiempo y dedicación para lograr culminar mi trabajo de graduación de manera adecuada, agradecimientos a la ingeniera Mildred Caballeros que me tuvo paciencia y fe en que esto podría salir adelante.

### **Mis catedráticos**

Por transmitirnos sus conocimientos a lo largo de la maestría y sin ningún complejo ya que comparten su experiencia y conocimientos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XIX
OBJETIVOS.....	XXIII
MARCO METODOLÓGICO .....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXXIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	7
3. ALCANCES .....	9
3.1. Perspectiva investigativa .....	9
3.2. Perspectiva técnica.....	10
3.3. Perspectiva de resultados.....	11
4. MARCO TEÓRICO.....	13
4.1. Grúas Abus.....	13
4.1.1. Perfiles de traslación y elevación.....	13
4.1.2. Control de oscilación .....	14
4.2. Sincronizado y sintonizado .....	14
4.2.1. Regulación de sincronización .....	14

4.2.2.	Componentes estándar modulares y enchufables ..	15
4.2.3.	Mando por radio aburemote .....	15
4.3.	Microcontroladores .....	15
4.3.1.	Raspberry.....	16
4.3.2.	Arduino.....	18
4.3.3.	Especificaciones de los microcontroladores.....	19
4.4.	Controlador lógico programable .....	20
4.4.1.	Funcionamiento PLC.....	21
4.4.2.	Estructura general de los PLC.....	22
4.5.	Arquitectura de interconexión de Modbus .....	23
4.6.	Microprocesadores .....	25
4.7.	Arquitectura de computadoras.....	25
4.8.	Organización de computadoras.....	26
4.9.	Topologías de red.....	26
4.10.	IoT .....	27
4.11.	Protocolo de comunicaciones.....	29
4.12.	Protocolo Mqtt .....	29
4.13.	Aplicación del protocolo Mqtt.....	30
4.14.	Marco de trabajo para el desarrollo .....	31
4.14.1.	Marco de trabajo .....	31
4.14.2.	Angular .....	32
4.14.3.	Bootstrap .....	32
4.15.	Bases de datos .....	33
4.15.1.	Bases de datos no sql .....	33
4.16.	Rest .....	34
4.17.	Entornos de desarrollo .....	34
4.17.1.	<i>Processing</i> .....	34
4.17.2.	IDE Arduino .....	35
4.18.	Lenguajes de programación .....	35

4.18.1.	Php .....	36
4.18.2.	Python .....	37
<b>5.</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
5.1.	Requerimientos de la arquitectura de interconexión para la grúa Abus .....	40
5.2.	La unidad de control Abus LIS-SE.....	42
5.3.	Sitio web .....	45
5.4.	Análisis, diseño y desarrollo del prototipo.....	47
5.5.	Arquitectura del prototipo.....	47
5.6.	Diseño de la arquitectura .....	49
5.7.	Desarrollo aplicación para cálculo de la intensidad de las corrientes .....	50
5.8.	Pruebas y recopilación de resultados .....	53
5.8.1.	Transmisión de datos .....	54
5.8.2.	Procesamiento en la transmisión de datos .....	55
5.9.	Raspberry y AWS se comunican .....	56
5.10.	Resultados de interconexión.....	57
5.11.	Eficiencia de la arquitectura de la solución.....	58
5.12.	Resultados de la interconexión .....	59
5.13.	Indicadores de la variación de corriente en las grúas Abus....	62
5.14.	Cuadro mando de indicadores .....	63
<b>6.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
6.1.	Detalles de la muestra .....	65
6.2.	Alcance del prototipo versus unidad Abucontrol .....	66
6.3.	Hardware del prototipo.....	67
6.4.	Software del prototipo Node-Red.....	69
6.5.	Interconexión ensamblada para lograr la comunicación .....	69

6.6.	Información publicada en AWS .....	70
6.7.	Gráficos de la información .....	70
6.8.	Evaluando la eficiencia del prototipo .....	72
CONCLUSIONES.....		75
RECOMENDACIONES .....		77
REFERENCIAS .....		79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ejemplos de IoT Python Paho MQTT .....	XXX
2.	Información general sobre el pin de GPIO .....	17
3.	Partes de un Raspberry PI .....	18
4.	Partes del Microcontrolador Arduino .....	19
5.	Arquitectura de un PLC .....	22
6.	Interconexión con Modbus PLC .....	24
7.	Topología de red .....	27
8.	Era de la revolución industrial .....	28
9.	Diagrama de componentes general .....	40
10.	Diagrama esquemático tablero eléctrico SKA .....	41
11.	Supervisión de corriente .....	42
12.	ABUS Sistema indicador de cargas LIS-SE .....	43
13.	Sistema indicador de cargas con sobrecarga eléctrica .....	45
14.	Cuadro de mando preliminar generado por la Raspberry con prototipo de sensores .....	46
15.	Interconexión al departamento de mantenimiento .....	48
16.	PLC Marca Schneider modelo M241 .....	49
17.	Algoritmo para calcular intensidad de la corriente .....	50
18.	Interconexión de la Raspberry al departamento de mantenimiento .....	51
19.	Diseño de la arquitectura del flujo de datos .....	54
20.	Procesamiento de la información en MQTT .....	55
21.	Código para publicar en servidor AWS IOT y enviar n mensajes .....	57
22.	Elementos interconectados en tablero de grúa Abus .....	58

23.	Consola de AWS en tema “Grúa PLC RASPBERRY .....	61
24.	Variaciones de corriente hacia tablero eléctrico.....	62
25.	Cuadro mando de información resultante .....	64
26.	Tablero eléctrico de interconexión para gestionar grúa ABUS.....	68
27.	Productos nuevos en los que se pueden incorporar prototipos .....	74

## TABLAS

I.	Manipulación de variables e indicadores .....	XXVII
II.	Parámetros de grúas ABUS.....	59

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>PLC</b>	Control Lógico Programable
<b>CRM</b>	<i>Customer Relationship Management</i>
<b>DMS</b>	<i>Document Management System</i>
<b>ERP</b>	<i>Enterprise Resource Planning</i>
<b>TOGAF</b>	<i>Esquema de Arquitectura del Open Group</i>
<b>XML</b>	<i>EXtensible Markup Language</i>
<b>HTTP</b>	<i>Hypertext Transfer Protocol, abreviado HTTP</i>
<b>IOT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>MQTT</b>	<i>MQ Telemetry Transport</i>
<b>OCR</b>	<i>Optical Character Recognition</i>
<b>RAM</b>	<i>Random Access Memory</i>
<b>SSH</b>	<i>Secure Shell</i>
<b>SLA</b>	<i>Service Level Agreement</i>
<b>LIS-SE</b>	<i>Sistema Indicador de Cargas</i>
<b>UIT</b>	<i>University of Information Technology</i>
<b>WCS</b>	<i>Warehouse Control System</i>



## GLOSARIO

<b>Abus</b>	Es un equipo industrial empleado para levantar y bajar materiales pesados; que además puede trasladar éstos últimos de manera horizontal, debido a que está equipada mecánicamente con cables, montacargas.
<b>Acuerdo de nivel de servicio</b>	SLA, un acuerdo de nivel de servicio, también conocidas por las siglas SLA, es un acuerdo escrito entre un proveedor de servicio y un cliente con el objetivo de fijar el nivel acordado para la calidad de dicho servicio.
<b>Alojamiento</b>	Servicio de internet que provee a los usuarios de almacenamiento en la nube de información como datos, imágenes, videos, entre otros.
<b>Android</b>	Sistema operativo de código abierto basado en Linux, inicialmente diseñado para dispositivos móviles, aunque en la actualidad se ha implementado en automóviles, relojes, televisiones, entre otros.
<b>ALPR</b>	<i>Automatic License Plate Recognition</i> , de igual manera que ANPR, es un método de reconocimiento automático de números de placas.

<b>APK</b>	<p><i>Application Package File</i>, son paquetes que se utiliza en los dispositivos Android para instalar componentes o aplicaciones.</p>
<b>Apple</b>	<p>Empresa multinacional estadounidense que ha diseñado dispositivos electrónicos de gran renombre como los son los iPhone, iPod, iPad, entre otros.</p>
<b>App Store</b>	<p>Es un servicio para dispositivos creados por Apple, con la finalidad de centralizar búsqueda y descarga de todo tipo de aplicaciones.</p>
<b>AWS IoT</b>	<p>AWS IoT Core es compatible con dispositivos y clientes que utilizan los protocolos MQTT y el MQTT a través de WebSocket Secure (WSS) para publicar y suscribirse a mensajes, dispositivos y clientes que utilizan el protocolo HTTPS para publicar mensajes.</p>
<b>Bit</b>	<p>Es la unidad mínima de información que se puede almacenar, los únicos valores posibles son cero o uno.</p>
<b>Eclipse</b>	<p>Aplicación de entorno de desarrollo integrado conformado por un conjunto de herramientas de código abierto para el desarrollo de software.</p>
<b>Estafa</b>	<p>Es un delito contra la propiedad privada, en el cual se obtiene riqueza a través de trampas, fraudes, timo o engaños.</p>

<b>GPS</b>	<p><i>Global Positioning System</i>, es el sistema americano para navegación y localización mediante el uso de 24 satélites.</p>
<b>Hurto</b>	<p>Es el apoderamiento ilegítimo de un objeto, se diferencia con el robo ya que no se hace uso de la fuerza para apodarse del objeto.</p>
<b>Impedancia</b>	<p>La impedancia del circuito electrónico representa la cantidad de ohmios con la cual se opone a la circulación de corriente. Es una suma de la resistencia más la reactancia.</p>
<b>LIS-SE</b>	<p>El LIS-SE (Sistema Indicador de Cargas) de ABUS, es el sistema compacto y universal de medición y de valoración en las cargas eléctricas para grúas.</p>
<b>JSON</b>	<p><i>JavaScript Object Notation</i>, es un formato para el intercambio de datos, siendo simple la manera de leer y escribir.</p>
<b>MQTT</b>	<p>Es un protocolo en la capa de red del modelo OSI, es protocolo de red ligero, de publicación y suscripción, de máquina a máquina. Está diseñado para conexiones con ubicaciones remotas que tienen dispositivos con restricciones de recursos o ancho de banda de red limitado.</p>

<b>MySQL</b>	Es un sistema informático de gestión de base de datos relacional, es de código libre. Permitiendo el uso del mismo desde distintos lenguajes de programación.
<b>Norma IEC 61499</b>	El estándar IEC 61499, utiliza un modelo de ejecución basado en eventos y propone una arquitectura basada en modelos para representar cada uno de los elementos que conforman un sistema de control distribuido.
<b>OpenCV</b>	Es una librería de código abierto para visión artificial, desarrollada inicialmente por Intel en el año 1999.
<b>Prototipo</b>	Es la primera versión que se lanza para dar a conocer un producto o servicio que reúne gran cantidad de características que poseerá la versión final.
<b>Red neuronal artificial</b>	Son paradigmas de aprendizaje de procesamiento de información que se asemeja a las neuronas cerebrales, es decir, busca imitar el funcionamiento para un fin específico.
<b>Raspberry</b>	Es un microcontrolador de una serie de ordenadores de placa reducida, es de bajo costo desarrollado en Inglaterra por la <i>Raspberry Pi Foundation</i> , el objetivo de poner este microcontrolador en las manos de las personas de todo el mundo el poder de la informática y la creación digital.

<b>Serialización Java</b>	Consiste en la codificación de un objeto que se almacena en un archivo, la codificación se realiza en byte para posteriormente cargarlo en tiempo de ejecución.
<b>SDK</b>	Software <i>Development Kit</i> , es un conjunto de herramientas de software que tiene la finalidad de facilitar al desarrollador la creación de aplicaciones.
<b>Web</b>	Es un conjunto de páginas relacionadas, que se almacena en Internet y se acceden por medio de un dominio de internet.
<b>XLM</b>	Es un lenguaje de etiquetado extensible que se caracteriza por ser legible creado por <i>World Wide Web Consortium</i> y su principal función es compartir datos.



## **RESUMEN**

Contec Industrial S.A. es líder en Centro América y el Caribe en equipos de elevación y sistemas de transporte de bandas y rodillos con una cobertura en ventas y servicio técnico. Contec Industrial S.A. ha incorporado herramientas que permita la comunicación que facilite la comprensión de temas tales como: comunicaciones industriales, instrumentación, control de procesos, adquisición de datos, monitoreo de sistemas, entre otros.

Existen deficiencias en la comunicación y predicción para resolver inconvenientes con equipos industriales como lo son las grúas ABUS. Esto ocasiona malas operaciones de equipos, daños de operación, establecer demasiadas formas de comunicación sobre fallos. En esta investigación se mejoran las deficiencias de comunicación que existen entre las grúas Abus y el sistema de control de mantenimiento y servicios en la empresa Contec Industrial S.A, por medio de protocolos seguros que se usa a través de la internet, así como microcontroladores de última generación.

De manera específica en este documento se describe el proceso que se llevó de cómo elaborar un prototipo que permita la comunicación en tiempo real entre los equipos industriales y el sistema de control de mantenimiento y servicios. Para dicha investigación se implementó el marco de referencia con nombre TOGAF y se realizaron entrevistas al personal de la empresa según la muestra establecida.

En esta investigación basado en trabajo de campo se utilizó un equipo industrial marca ABUS, es una grúa alemana que levanta de 8 a 60 toneladas de

carga. Un prototipo de interconexión para extraer datos fue vital para esta investigación.

Se realizaron varios experimentos como con una Raspberry, con la cual se logró configurar Node-Red y un cuadro de mando para permitir a través de un sitio web desplegar y navegador con los datos.

En todo momento se buscó aplicar tecnologías, métodos y procedimientos que permitan desplegar escenarios para que la junta directiva de la compañía realice previsiones del tipo correctivo o preventivo de un equipo.

La tecnológica para evitar las deficiencias en la comunicación de las grúas ABUS fue por medio de la tecnología IoT (Internet de las Cosas) que utiliza el protocolo MQTT y HTTP como solución para enviar a la empresa de mantenimiento y servicio información señales, en este caso de los sistemas eléctricos en tiempo real.

Como variables se estudiaron los tiempos de respuesta nuevos versus los anteriores para resolver un requerimiento de mantenimiento. De esta manera se analizó la eficiencia de la comunicación del prototipo para luego tener una cantidad de reportes atendidos o incidencias que provee el prototipo.

Para lograr los objetivos de interconexión se realizó una toma de requerimientos de la arquitectura de interconexión en la cual fue útil la unidad de control ABUS LIS-SE. Este módulo permite extraer señales eléctricas para luego a través del análisis, diseño y desarrollo lograr desplegar los mismos en un cuadro de mando para la toma de decisiones.

Se analizó que la intensidad de la corriente fluctúa debido a la manipulación de la botonera por el operador en él un momento de la captura. Pero también por desgaste de los tableros eléctricos lo cual genera un valor único que representa el estado encendido y apagado de la misma.

Como resultado del prototipo se obtuvo que al diseñar el mismo de manera tecnológica se minimizan las deficiencias en la comunicación respecto a saber los picos de corriente que pueden incidir y dañar equipos. Esto se logró por medio de la tecnología IoT (Internet de las Cosas) que utiliza el protocolo MQTT y HTTP como solución a las deficiencias en la comunicación entre las grúas Abus y el sistema de control de mantenimiento y servicios en la empresa Contec Industrial S.A. Este proceso se llevó a cabo a través de la toma de requerimientos de la arquitectura de interconexión, análisis, diseño, desarrollo y pruebas para la recopilación de resultados del prototipo.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS**

La comunicación en tiempo real en las empresas se realiza a través de medios informáticos y ha llevado a innovar el internet, esto con el objetivo de que elimine las demoras significativas entre la transmisión y la recepción de datos. Estos avances han ayudado a varios sectores entre ellos está el mantenimiento de maquinarias en donde es esencial para evitar pérdidas económicas y en algunos casos humanos. Un ejemplo de cómo se aprovecha esta interacción en tiempo real para los procesos de mantenimiento, es el planteado por el Ingenio la Unión S.A. de Guatemala donde se presentó una propuesta para la planeación y programación del mantenimiento a través de indicadores. “En la cual se hace mención acerca del mantenimiento predictivo que se puede obtener de información sobre el proceso de planta, estadística, diagnóstico predictivo de funcionamiento entre otros” (Morales, 2011, p. 14).

Por otra parte, Stanford-Clark y Linh (2013):

Indica que para el mantenimiento predictivo de equipos con tecnologías de Internet Industrial de las cosas (IIoT), los sistemas de nube de IoT existentes proporcionan capacidades sólidas de monitoreo y análisis de datos para detectar y predecir el estado de los equipos y proveer comunicación en tiempo real. (p.2)

A pesar de la existencia de tecnologías y plataformas aplicadas a la comunicación en tiempo real y diagnósticos predictivos de mantenimiento en Guatemala la implementación de estas tecnologías es baja. La empresa Contec

Industrial S.A., objeto de esta investigación, lucha fuertemente con su equipo para evitar las deficiencias, en su proceso de mantenimiento de maquinarias. Los equipos fallan sin previo aviso, se tienen gastos innecesarios y se arriesga la vida de los operadores industriales por una mala operación provocando accidentes fatales.

Contec Industrial es uno de los líderes de Centro América y el Caribe en equipos de elevación y sistemas de transporte de bandas y rodillos con una cobertura en ventas y servicio técnico; desde 1984. Con su equipo de trabajo ingenieros se dedican al diseño, prueba e implementación de ideas para nuevos modelos y sistemas industriales.

La empresa Contec Industrial S.A cuenta con un plan del mantenimiento preventivo y correctivo a través de indicadores. Estos indicadores muestran resultados con respecto al tiempo de respuesta limitados.

La comunicación entre los equipos industriales y el sistema de control de mantenimiento proveen a las instituciones información, para operar correctamente los equipos, por ejemplo: botoneras de mandos, motores, turbinas de vapor, engranaje, así como también aspectos del control climático que podrían afectar la operación del equipo.

Las deficiencias de la comunicación y predicción ocasionan malas operaciones de equipos, daños de operación, establecer demasiadas formas de comunicación sobre fallos o no es explícita la comunicación.

- Formulación de preguntas orientadoras

Algunas tecnologías que podrían evitar las deficiencias de la comunicación son protocolos seguros que se usa a través de la internet, así como microcontroladores de última generación.

De acuerdo con lo descrito anteriormente se planteó la siguiente pregunta central de investigación

- ¿De qué forma se puede mejorar las deficiencias de comunicación que existen entre las grúas Abus y el sistema de control de mantenimiento y servicios en la empresa Contec Industrial S.A.?

De acuerdo con la pregunta central se derivaron las siguientes interrogantes auxiliares:

- ¿Qué componentes de arquitectura permitirían la interconexión y garantizarían la transmisión de datos de forma segura?
- ¿Cómo se automatiza la comunicación?
- ¿Cómo garantizar la eficiencia de la implementación de la arquitectura de interconexión?



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un prototipo informático que permita la comunicación en tiempo real, en el proceso de mantenimiento y servicio para minimizar las deficiencias en la comunicación entre las grúas Abus y el sistema de control de mantenimiento y servicios en la empresa Contec Industrial, S.A.

### **Específicos**

1. Diseñar la arquitectura para interconectar los tableros electrónicos de una grúa Abus a un servicio en la nube que garantice la transmisión de datos de forma segura.
2. Implementar la arquitectura de interconexión que automatice la comunicación.
3. Evaluar la eficiencia de un prototipo mediante recursos informáticos que facilite la comunicación para el personal de mantenimientos y servicios y les provea de manera cuantitativa resultados para la toma de decisiones.



## MARCO METODOLÓGICO

Se utiliza el equipo industrial ABUS y un prototipo de interconexión para la extracción de datos para esta investigación.

- Tipo de estudio: el tipo de estudio realizado es cuantitativo ya que es el procedimiento que busca cuantificar los datos y en general aplicar alguna forma de análisis estadístico, entre ciertas alternativas, usando magnitudes numéricas que pueden ser tratadas mediante herramientas del campo de la estadística.
- Diseño: el diseño del prototipo fue experimental que es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental.

Uno de los experimentos que se realizó es de instalar Raspberry Pi OS (Raspbian), con el cual se logró configurar Node Red con un cuadro de mando, lo cual permitió a través de un web server, en APACHE, desplegar gráficos en un navegador los datos. Lo anterior se logró accediendo al sitio de nodered.org y al repositorio de [github.com/node-red](https://github.com/node-red). Esto permitió realizar pruebas de complementos.

En la empresa Contec Industrial S. A. se contactó a la empresa La Popular S.A, a la que se visitó para elaborar pruebas de *connecting*, *controlremote*, cuadro de mando (*dashboard*), *hmi*, *test industrial*, *IoT*, *linux*, *Ubuntu*, *Modbus*, *Modbus TCP*, *node red*, *RASPBERRY* y *SCADA*. Los anteriores son acciones, componentes y tecnologías que ayudaron a lograr experimentar y generar datos

los cuales estructurados relationalmente se convertirán en información y en un futuro en conocimiento para la empresa.

- Alcance

El alcance de la investigación es descriptivo porque se explica el resultado de crear un prototipo que permita la comunicación en tiempo real entre los equipos industriales y el sistema de control que maneja la empresa Contec Industrial S.A. Con este resultado y pruebas que se realizaron, respecto a mediciones, se buscó aplicar tecnologías, métodos y procedimientos que permitieron desplegar distintos escenarios para que la junta directiva de la compañía realice previsiones del tipo correctivo o preventivo de un equipo.

Se tiene un alcance descriptivo en determinado punto, el cual permite narrar lo sucedido durante un periodo de tiempo de análisis.

- Variables

En la siguiente investigación según estudios preliminares, se considera viable tomar factores que pueden variar como lo son los prototipos, esto ya que como no se conocía con exactitud que microcontrolador podía ser útil para el funcionamiento del prototipo. Para lo anterior fue de vital importancia ubicar a los individuos o categorías que son susceptibles de identificación y medición. En este caso un dispositivo. Para este caso concreto se consideró que puede darse también en ciertos sujetos, pueden darse en grados o modalidades diferentes, estos son conceptos clasificatorios que permiten ubicar a los individuos en categorías o clases y son susceptibles de identificación y medición.

**Tabla I. Manipulación de variables e indicadores**

<b>Variables</b>	<b>Definición</b>	<b>Sub-variables</b>	<b>Indicadores</b>
Eficiencia de la comunicación del prototipo	La eficiencia consiste en la evaluación frecuente de un determinado programa con el fin de mostrar si es funcional en el funcionamiento del prototipo entre los equipos industriales y el sistema de control.	Microcontrolador Sensores Protocolos	Porcentaje de la eficiencia en la comunicación del prototipo. Total de paquetes enviados/Total de paquetes recibidos por el sensor.
Tiempo respuesta	Un sistema de tiempo es un sistema informático que interacciona con su entorno físico y responde a los estímulos del entorno dentro de un plazo de tiempo determinado. No basta con que las acciones del sistema sean correctas, sino que, además, tienen que ejecutarse dentro de un intervalo de tiempo determinado.	Respuesta de la API Respuesta de la grúa Reportes atendidos	Tiempo de respuesta o tiempo de reacción hace referencia a la cantidad de tiempo que transcurre desde que percibimos algo hasta que damos una respuesta en consecuencia.
Reportes atendidos	Consiste en que cada caso que se esté tratando de resolver siga el proceso de trabajo adecuado es decir desde un inicio a un fin aplicando todas sus fases.	Parámetros del prototipo	Cantidad de incidentes

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 365.

- Fases del estudio
  - Determinar los requerimientos de información

En la siguiente fase se determinaron las necesidades de las partes involucradas, mediante el uso de varias herramientas, para comprender la forma en que interactúan en el contexto laboral con sus sistemas industriales y de información. Se utilizaron métodos interactivos como entrevistas, muestreos e investigación de datos duros. Se analizaron métodos discretos, como observar el comportamiento de los encargados al tomar las decisiones y sus entornos de oficina, y los métodos integrales como la creación de prototipos.

- Objetivos de fase:
  - ✓ Determinar el alcance, tomando en cuenta que unidades organizacionales serán tratadas, que actores y que procesos.
  - ✓ Identificar los marcos de referencia establecidos, los métodos y procesos que se entrecruzan con la capacidad arquitectónica. En este punto se hace referencia a marcos de trabajo en la arquitectura empresarial.
  - ✓ Definir el objetivo de madurez que se quiere alcanzar en el desarrollo de la arquitectura.
- Análisis de los requerimientos del prototipo

Esta fase consistió en el análisis del funcionamiento del negocio. Un ejemplo de esta fase según el marco de trabajo TOGAF para arquitecturas empresariales, consisten en identificar aspectos de procesos del negocio y se

puede mostrar a través de una arquitectura la cual permite visualizar los componentes que la integran.

Aspectos que se tomaron en cuenta en esta fase:

- Representación y características de la arquitectura
- Sensores para recopilar información
- Diagramas lógicos
- Diagramas físicos
- Diagrama de implementación
- Diagrama de puesta en marcha
- Requerimientos de Hardware, Software y Telecommunicaciones

Un ejemplo de los procesos estudiados son los siguientes:

- Proceso de fabricación de productos.
  - Proceso de mantenimiento y servicio.
  - Proceso en la comunicación entre empresa que presta el servicio, así como la que lo recibe.
- Diseño de los componentes del prototipo

Esta fase permitió conocer más a detalle la estrategia para implementar un prototipo. Conocer los espacios físicos donde se instala. Aspectos lógicos de servidores para proveer los recursos.

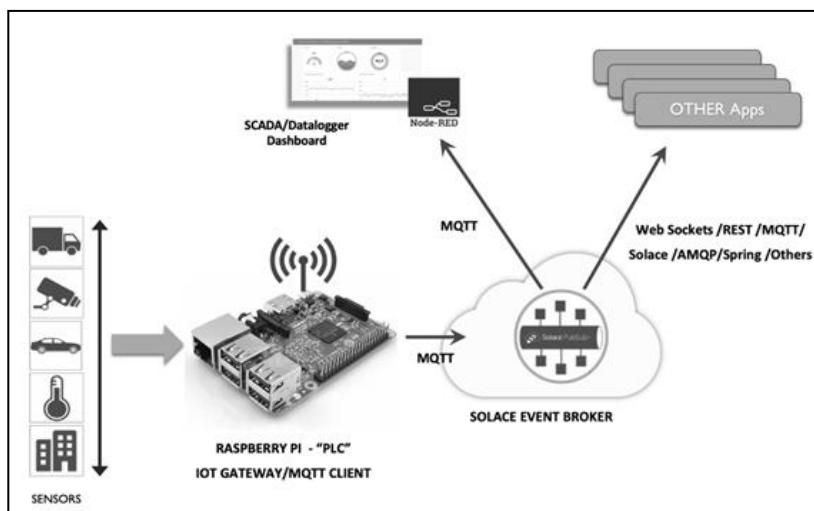
Como parte del marco de trabajo también se ven aspectos de la gobernabilidad, la estructura y los procesos clave de la organización, que alinean el diseño respecto a lo que ya tiene el negocio.

En esta fase se abordó la documentación de la organización fundamental de los sistemas de TI de la empresa Contec Industrial S.A., representada por los principales tipos de sistemas de información y aplicaciones que los utilizan. Podemos resumir en 2 pasos que se implementaron simultáneamente:

- Primer paso: arquitectura de Datos
- Segundo paso: arquitectura de Aplicación

Los pasos anteriores demostraron la importancia de armar el prototipo diseñado. Un ejemplo del prototipo con sus componentes a diseñado lo muestra la Figura 1.

Figura 1. **Ejemplos de IoT Python Paho MQTT**



Fuente: Marc DiPasquale. (2018). *Solace Community*

- Desarrollo de la aplicación de interconexión

El proceso para el desarrollo del software que se realizó a través de una estructura aplicada al producto de software.

Se tomó en cuenta lo siguientes aspectos:

- Protocolo MQTT
- *Codesys*
- Aplicaciones de interconexión
- Base de Datos
- *ThingsBoard*

Se creó una base de datos en MySQL conectada con Python. La cual permitió enviar y recibir datos. También se tomó en cuenta Amazon DynamoDB, que es una base de datos NoSQL que admite modelos de datos de clave-valor y de documentos, y que permite a los desarrolladores crear aplicaciones modernas sin servidor empezando poco a poco y escalándolas después globalmente, con capacidad para admitir petabyte de datos y decenas de millones de solicitudes de lectura y escritura por segundo. DynamoDB se ha diseñado para ejecutar aplicaciones de gran rendimiento a escala de Internet que sobrecargarían las bases de datos relacionales tradicionales.

Las oportunidades que se consideraron mejorar en base a lo desarrollado son las siguientes:

- Gestión comercial
- Gestión del producto
- Gestión de datos de clientes

Al identificar y evaluar los aspectos se realizó el desarrollo integral es decir cuáles son las mejoras por implementar.

- Implementación del prototipo

En esta fase se colocó el prototipo en funcionamiento dentro de las instalaciones. Para ello se consideró aspectos como espacio, conexión eléctrica, conexión a internet, seguridad del prototipo, mantenimiento, entre otros. Los puntos anteriores permitieron analizar los costos, beneficios y riesgos.

Para realizar la implementación se siguió los siguientes pasos:

- Preparar el sitio de instalación
- Crear un modelo según este lugar
- Realizar la prueba implementación
- Buscar resolver inconvenientes
- Instalar físicamente el prototipo
- Hacer test de comunicación
- Ejecutar iteraciones
- Llevar a cabo experimentaciones locales y remotas
- Proteger físicamente el prototipo

Se consideró graficar los datos que se reciban del PLC de manera simple. En este caso como propuesta una gráfica de barras, en donde se muestra la cantidad de paquetes transmitidos semanalmente de mantenimientos requeridos.

- Pruebas y recopilación de resultados

Esta fase de pruebas consistió en investigaciones a través de la experimentación y técnicas cuyo objetivo fue de proporcionar información objetiva e independiente sobre la calidad del prototipo a las partes interesadas. Para lo anterior se siguió estos pasos:

- Detectar problemas
- Toma de decisiones
- Aprendizaje

El propósito general de la prueba de funcionalidad fue verificar si el prototipo interactúa como se esperaba y si está capacitado respecto a especificaciones técnicas o funcionales para lanzarse a producción.

Se enumeran las pruebas de funcionalidad:

- Uno: interconexión de Raspberry con un PLC
- Dos: generar datos en 7 días de los eventos de la maquinaria industrial
- Tres: graficar los datos de la maquinaria industrial en un cuadro de mando personal.
- Cuatro: utilizar el protocolo MQTT para capturar datos Suscriptor y Publish como acciones.

- Documentación

En esta fase se buscó generar informes y evaluar aspectos acerca de las arquitecturas existentes para determinar cuándo iniciar un nuevo ciclo de trabajo. En esta sección se detallaron las conclusiones y recomendaciones del prototipo para indicar aspectos de eficiencia y eficacia del prototipo.

- Técnicas de recolección de información

Los recursos que se utilizaron para recolectar datos en este estudio y para cumplir con los objetivos son:

- Observación

Respecto a la observación se analizaron los valores que proporcionan los equipos industriales concretamente los parámetros proporcionados por sensores que permitieron monitorear variables durante un periodo de tiempo.

A partir de la observación se logró lo siguiente:

- Seleccionar la fuente de datos adecuada
- Usar un método de muestreo acorde a la fuente de datos
- Seleccionar los parámetros a ser enviados a través de internet
- Establecer un periodo de tiempo adecuado
- Considerar aspectos de la privacidad de los datos

- Cuestionarios

Se observó a los usuarios que utilizan los equipos industriales y los que proveen el mantenimiento y servicio es decir la población.

A través de los cuestionarios como técnica de recolección de información se da lugar a establecer contacto con las unidades de observación, por medio de los cuestionarios establecidos. En este caso a 100 individuos. Por ser una población finita se determina una muestra, que es un subconjunto de casos o individuos de una población.

Calculo aritmético de la muestra:

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2 N}\right)}$$

La puntuación z es la cantidad de desviaciones estándar que la proporción determinada se aleja de la media.

Donde:

N = tamaño de la población

e = margen de error

z = puntuación z

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia

Aplicado al ejercicio de observación los datos serían los siguientes:

Tamaño población: 100

Nivel de confianza: 95 %

Margen de error %: 20

Tamaño de la muestra: 20

Puntuación z: 1.96 desviaciones estándar

A partir de la muestra calculada, se aplicó cuestionario a las siguientes personas:

Departamento de mantenimiento y servicio	(4 personas)
Departamento de diseño y estructuras	(3 personas)
Departamento de Ingeniería	(2 personas)
Departamento de ventas	(2 personas)
Operadores de las grúas	(3 personas)
Técnicos electricistas	(2 personas)
Técnicos mecatrónicos	(2 personas)
Clientes de grúas ABUS	(2 personas)
Total	20 personas

- Entrevista

Para recolectar información se utilizaron entrevistas para desarrollar un diálogo interpersonal con los beneficiarios el diseño del prototipo, con el objetivo de conocer los distintos usos que estos le darán. En esta investigación la población fue de 100 personas y la muestra de 20 personas que son la totalidad del departamento de mantenimiento y servicio de la empresa, como propuesta de análisis para entrevistas. En este diálogo se entabla entre dos o más personas, se formulan preguntas y el entrevistado las responde.

Esto consistió en visitar al personal muestrado, citado en la sección de cuestionarios, personas concretas y se les realizaron las siguientes preguntas:

- ¿Considera que el diseño de un prototipo interconectado con grúas Abus permitirá agilizar la comunicación entre los clientes y la empresa que provee el mantenimiento y servicio?
- ¿La empresa que tiene instalada una grúa Abus permitirá instalar un prototipo que permita la comunicación en tiempo real para agilizar este proceso?
- ¿La empresa que provee mantenimientos y servicios cuenta con la infraestructura y el equipo para realizar la instalación del prototipo?
- ¿En las instalaciones físicas de los equipos industriales hay espacio para colocar un prototipo de 15 centímetros x 5 centímetros para procesar información de análisis?
- ¿La empresa que tiene el equipo industrial tiene conexión a Internet para lograr que la información llegue al destino en tiempo establecido?



## INTRODUCCIÓN

La investigación que se presenta se enfoca en Contec Industrial S.A. quien es uno de los líderes de Centro América y el Caribe en equipos de elevación y sistemas de transporte de bandas y rodillos con una cobertura en ventas y servicio técnico; desde el año 1984. Con su equipo de trabajo de ingenieros se dedican al diseño, prueba e implementación de ideas para nuevos modelos y sistemas industriales.

Como bien se sabe desde el año 1984 Contec Industrial S.A, ha ido incorporando herramientas que permita la comunicación que facilite la comprensión de temas tales como: comunicaciones industriales, instrumentación, control de procesos, adquisición de datos, monitoreo de sistemas, entre otros. Por lo cual se desarrolla este plan de investigación para entender de mejor manera la problemática, dar antecedentes, delimitación y metodología que el trabajo pretende cubrir en el contexto específico del problema.

En el proceso de fases para elaborar el prototipo se sugiere el marco trabajo de Open Group que nos permite generar estándares de la industria que provee mucha experiencia cualificada de manera abierta neutral para la empresa con departamentos de IT, tomando aspectos como lo es infraestructura de la información entre otros. Open Group genero una metodología para elaborar arquitecturas empresariales: TOGAF, que es un marco de trabajo de arquitectura empresarial que proporciona una guía para el diseño, planificación, implementación y gobierno de una arquitectura, empresarial en 4 dimensiones: negocios, sistemas de información, (datos, aplicaciones) y tecnologías. De

manera específica en este documento se describe el proceso de cómo se elaboró un prototipo que permita la comunicación en tiempo real entre los equipos industriales y el sistema de control de mantenimiento y servicios. Para dicha investigación se entrevistó a todo el personal de la empresa según muestra establecida, en distintas áreas como lo son Ingenieros de estructuras, diseñadores, personal de mantenimiento servicios, la junta directiva y departamento de ventas que es donde más se genera conocimiento para dicha investigación. El objetivo de este proceso fue de seguir la línea actual del negocio ya que la misión y visión de la compañía debe seguir en producción mientras de manera paralela se realiza el siguiente prototipo como posible innovación a la industria guatemalteca.

La comunicación en tiempo real que nos ofrece nuestro mundo digital nos permite comunicar y responder de manera instantánea. Hoy en día la transmisión de la información en la red y, por tanto, su publicación tiene lugar en tiempo real. Esto nos permite lograr una comunicación cercana y ágil con nuestros consumidores.

En el capítulo uno se habla acerca de los antecedentes, en donde recopila información acerca de investigaciones realizadas desde centros educativos hasta instituciones en el ámbito de la industria, lo cual permite comprender temas como las comunicaciones industriales, instrumentalización, control de procesos, adquisición de datos, monitoreo de sistemas, entre otros.; estas han concluido con resultados como por ejemplo de protocolos de comunicación vía física e inalámbrica. Se proporciona información desde un centro de visualización de datos: el Panorama Digital Command Center ADNOC de Abu Dabi Emiratos Árabes Unidos, como un centro de visualización de datos en tiempo real totalmente integrado, que permite obtener información para desbloquear deficiencias e identificar vías para optimizar el rendimiento en plantas petroleras.

En el capítulo dos presenta la justificación en donde se hace énfasis a las razones por las cuales se presentan argumentos razonados para afianzar el motivo que conlleve a elaborar un prototipo e implementarlo. Una de las razones por la cual es necesaria esta investigación es por motivos estratégicos en la comercialización de equipos ya que al no tener un prototipo de innovación se pueden estar generando gastos innecesarios en maquinaria a gran costo cuando se pueden buscar alternativas localmente de inversión.

En el capítulo tres presentan los alcances los cuales dan una perspectiva investigativa y técnica para conocer los componentes de hardware y software para elaborar el prototipo.

El capítulo cuatro presenta el marco teórico que apoya a fundamentar la experiencia o práctica tradicional del prototipo. Este marco presenta de manera resumida conceptos que describen como los microcontroladores y sus especificaciones como lo son: unidades aritméticas y lógicas, osciladores para el manejo de frecuencias de trabajo, procesamiento de los datos por medio de unidades de buses datos, que generan salidas los cuales se grafican y dan sentido cuando se crea un almacén de información. Un ejemplo son las bases de datos a través de entornos de desarrollo integrados o sistemas gestores de datos.

En el capítulo cinco se presentan los resultados los cuales son enfocados a la arquitectura de interconexión respecto a los datos que genera una máquina industrial y son procesadores para tener información a través de tableros de mando, teniendo conocimiento que permitirán tomar decisiones de cambio de maquinaria, anticipación a mantenimientos o realizar sugerencias a los clientes de la maquinaria.

Finalmente, en el capítulo seis se presenta la explicación de los resultados en la cual se transcribirá las entrevistas realizadas a los miembros de la junta directiva de Contec Industrial S.A. y a los clientes para validar resultados esperados con los pronosticados según el análisis de implementación.

## 1. ANTECEDENTES

Diversos estudios se han realizado para describir una herramienta que permita la comunicación en tiempo real y que facilite el entendimiento de temas como lo son: las comunicaciones industriales, la instrumentación, los procesos de control, la adquisición de datos, el monitoreo de sistemas, entre otros.

En el campo de las comunicaciones industriales en el 2014, Gerardo C. Ayala, quien es docente del Instituto Tecnológico de Los Mochis, en Sinaloa México realizó una investigación para el análisis, diseño, construcción y puesta en producción de un prototipo en una caldera industrial con comunicación inalámbrica. La investigación básicamente se desarrolló en una unidad de control de manera inalámbrica. Diversas unidades en este proyecto se utilizaron como lo es la unidad de control, la unidad de procesamiento y la de entrada y salida.

Para la primera unidad se utilizó un microcontrolador ATmega 328, a través del cual se programaron algoritmos de automatización. Estos algoritmos permitían medición de variables en el proceso industrial. Este proceso de la información se logró a través de sensores y actuadores para la manipulación de las variables a través de servomecanismos con dicha finalidad. El tamaño de dispositivo es reducido, práctico y sencillo de implementar en áreas donde los espacios son limitados, por lo anterior el dispositivo tiene la delantera en dar una solución a muchos de los problemas, así como necesidades en diferentes áreas.

La automatización de procesos industriales permite el siguiente paso, para lograr la transformación, el monitoreo y la medición de variables mecánicas en ambientes naturales resguardados. La automatización de procesos se lleva a

cabo también en producción en invernaderos, en granjas avícolas y en otros tipos de implementación en espacios inteligentes. Existen aplicaciones de economizar y lograr que la energía y otros recursos naturales tengan sus frutos. Sobresale un sistema electrónico, así como la capacidad de la comunicación inalámbrica con protocolos como lo son Zigbee y WiFi. En los resultados se considera que el protocolo *ethernet* físico presenta tiempos de respuesta menores respecto a los protocolos Zigbee y WiFi que son inalámbricos.

En el campo del diseño e implementación de una infraestructura de comunicación industrial existe una del tipo SCADA, del acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition*, en el año 2014, Jesús I. Hernández, quien proviene del Instituto Tecnológico del Querétaro, en Mexico: se creó un diseño donde se utilizaron PLCs y reglas de comunicación. Los procesos son controlados desde la computadora principal. El objetivo de este proyecto fue con fines de aprendizaje para los estudiantes en áreas similares a la automatización.

Se busca que a futuro el profesional logre una adaptación lo cual permita ser aceptable al entorno de trabajo a través del conocimiento y manejo de este equipo industrial; las reglas de comunicación elegidas están como las más utilizadas en infraestructura industrial. El conocimiento obtenido durante este proyecto es muy enriquecedor, ya que resalta que primero debemos comprender la operación y el funcionamiento de los procesos por parte de estudiantes. De esta manera se pueda dominar la comunicación entre los diferentes controladores y protocolos.

El fundador de *Inductive Automation*, Steve Hechtman en el 2010 consolidó una plataforma modular denominada hoy en día *Ignition Platform*. La cual es una plataforma con *Factory SQL* y *Factory PMI* que son el módulo de comunicación. Esto se consideró la primera vez que un paquete de software

industrial con todas las funciones ofrecía los mismos beneficios en Windows y Linux. La compañía *Inductive Automation* que desarrolla software industrial para la automatización, da una propuesta preliminar en donde ya se consideran las líneas de aplicación del negocio como lo son DMS (Document Management System), CRM (Customer Relationship Management), ERP (Enterprise Resource Planning) y WCS (Warehouse Control System); los sistemas recolectan datos, los cuales son mostrados a los operadores de maquinaria industrial o a la empresa en el momento preciso para dar mantenimiento a sus equipos. Con Ignition, se pueden recopilar datos sin problemas de equipos industriales; previos al diseño del tipo de aplicación industrial y permitirá así facilitar el desplegar a clientes datos instantáneamente, a través de una plataforma web responsiva el operador que lo requiera y la use en cualquier dispositivo.

Una desventaja de implementar esta plataforma es el tema de inversión, ya que su precio es muy elevado, pero permite comunicarse con PLC, registrar datos históricos, recibir notificaciones de alarma y crear HMI. SCADA con sus potentes herramientas para la gestión de datos, la creación de informes y la visualización móvil incorporan precios altos para muchas empresas en la industria, en lugar de ver sus beneficios, la plataforma se desvanece al ver el tema financiero.

La empresa AVEVA Group PLC, es una corporación británica en tecnología de la información con sus oficinas centrales en Cambridge, Reino Unido. Proporciona ingeniería y software industrial. AVEVA surgió del centro de diseño asistido por computadora financiado por el gobierno, se estableció en 1967. En el 2018, AVEVA realizó una alianza con Schneider Electric que es una empresa grande en el negocio de software industrial eléctrico. AVEVA, proporciona ingeniería y software industrial y da una referencia de la importancia de implementar un sistema integral para el mantenimiento de equipos de todo

tipo para mejorar la experiencia del producto de un cliente en la manipulación de estos. Schneider Electric es ahora el mayor accionista con una participación del 60 %.

Según Mark Cooper (2020), Chief Human Resources Officer de AVEVA, comenta, acerca de la adquisición de Schneider Electric afirma: A través de esta combinación hemos crecido sustancialmente, nuestros colaboradores 4.400 más, repartidos en más de 80 ubicaciones y en más de 40 países. Nuestra gente es crítica para nuestro éxito empresarial, y hemos trabajado fuertemente para comprometer y comunicar información esencial para todos nuestros interesados en el crecimiento futuro de nuestro negocio. (p. 2)

AVEVA tiene la misión de desarrollar técnicas de diseño asistidas por computadora y promover su adopción por la industria británica. Se enfocan en dar soluciones de tecnología de la información consultoría tecnológica software, CAD / CAM gestión de activos empresariales, sistema de ejecución de fabricación y soluciones empresariales.

El Panorama Digital Command Center de ADNOC, Abu Dabi - Emiratos Árabes Unidos, es un centro de visualización de datos en tiempo real totalmente integrado que permite a las mentes más débiles de ADNOC obtener información, desbloquear eficiencias e identificar vías para optimizar el rendimiento. Económicamente para Guatemala es inalcanzable por la necesidad que el estado provea la infraestructura necesaria para instalarlo.

Finalmente, García (2018), creo un sistema de control distribuido el cual se aplica al control de procesos, para la escuela de ingeniería en Bilbao. La tecnología IIoT requiere disponer de acceso remoto a todos los dispositivos. Las

comunicaciones maquinan maquina (M2M) son una parte del IIoT, pero este no se limita al intercambio de datos entre dispositivos inteligentes, sino que también puede englobar datos procedentes de sensores y actuadores que se almacenan y procesan de manera local para enviarlos posteriormente a través de una pasarela a un sistema en la nube. El objetivo fue de definir una interfaz que logre la integración de una arquitectura industrial basada en CPPS, (Comisión Permanente del Pacífico Sur). Para control distribuido bajo norma IEC 61499 mediante la utilización de dispositivos empotrados de bajo coste. En la investigación comunicación m2m, como el centro de la estandarización industrial, y es la llamada comunicación m2m.

En conclusión, las investigaciones se han realizado para mostrar la necesidad de una herramienta tecnológica con alto coste en algunos casos, pero en su mayoría permiten la comunicación en tiempo real, lo cual facilita el entendimiento de aspectos como lo son las: comunicaciones industriales, instrumentación, control de procesos, adquisición de datos, monitoreo de sistemas, entre otros.



## **2. JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo de graduación corresponde a la línea de investigación en tecnologías de la información; concretamente en el área de innovación de dispositivos y sistemas, para aumentar la experiencia del usuario a través de la tecnología. Las máquinas industriales generalmente muestran alertas cuando ocurren fallas de fábrica, necesidad de mantenimiento, errores en las bandas de transporte, entre otros; el problema en este contexto no es la falla, sino los métodos de cómo se notifica la falla, que en su mayoría no es de forma inmediata y exacta.

Existen empresas que buscan crear prototipos que permitan interconectar la maquinaria ya instalada en una empresa, utilizando las instalaciones de un cliente. Teniendo los equipos ya conectados a internet como por ejemplo un polipasto o grúa, a través de un PLC se logran datos analógicos que, convertidos a digital, a través de un microcontrolador como lo podría ser un Raspberry o una plataforma Arduino, permiten el procesamiento de instrucciones, logrando obtener retroalimentación inmediata.

La comunicación en tiempo real provee intereses personales, comerciales, empresariales y/o sociales. Los intereses personales comúnmente se explotan para fines comerciales y esto proporciona una desventaja, ya que eleva los costos de implementación con la utilización de protocolos como MQTT o TCP-IP dirigidos a lograr fidelidad en el envío de datos.

Se busca definir una arquitectura económica que consiste en interconectar tableros electrónicos de una grúa Abus y el PLC que controla el sistema de

péndulo y otros aspectos como botonera, peso, entre otros., procesar los datos hacia un hosting y luego procesarlos para la toma de decisiones en un tablero de control. Esto permitiría tener experiencia en este tipo de innovaciones en la industria guatemalteca. Es importante investigar este punto de interconexión ya que le dará argumentos a la junta directiva para resolver este tipo de inconvenientes.

Existen equipos denominados HMI (Human Machine Interface) que permiten realizar lo anterior, pero el costo de implementación es muy elevado. La sociedad guatemalteca en el tema de seguridad industrial se beneficiaría sustancialmente respecto a vulnerabilidades y así, prever los posibles accidentes industriales de manera anticipada. Por lo tanto, la razón más importante por la cual es necesaria esta investigación es por motivos comerciales en la empresa, ya que se están generando gastos innecesarios en maquinaria a gran costo cuando se pueden buscar alternativas localmente de inversión.

### **3. ALCANCES**

#### **3.1. Perspectiva investigativa**

Se buscó producir conocimientos con verificaciones de hechos. Se describieron conceptos como: hardware, software:

- Hardware:
  - PLC
  - Microcontrolador
  - Cableado UTP
  - Router
  - Pycom LoRa
- Software:
  - Protocolos de red
  - Mosquitto Web Server
  - Node Red
  - MySql
  - Sistemas operativos Windows/Linux
  - Sistemas para un cuadro de mando
  - Grafana
  - Influxdb

Se busco analizar a detalle el funcionamiento del microcontrolador Raspberry, para lo anterior se estudiaron todas sus partes a detalle de manera que se pueda aprovechar al máximo este microcontrolador muy utilizado para prototipos de este tipo.

Conocer a detalle la arquitectura de una grúa ABUS o polipasto que permita leer los datos que este genera acerca de su estado actual.

### **3.2. Perspectiva técnica**

- Se utilizó un PLC el cual suministrará las salidas a unos contactores. Esta información, por medio de relays que es un dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica muy débil, abre o cierra un circuito, dispará una potencia mayor que en el circuito estimulador. Lo anterior permite analizar las señales enviadas por el equipo industrial a un microcontrolador. El microcontrolador Raspberry se utilizó.
- Se creó un cuadro de mando que proporcione a Contec Industrial S.A, que se tiene comunicación y al ser en tiempo real que se ha automatizado la comunicación entre los equipos industriales y el sistema de control de mantenimientos y servicios.
- Se generaron gráficos comparativos que permitan determinar desempeño de los equipos industriales para la toma de decisiones.
- Para construir la arquitectura se utilizó esta combinación: NodeRed+InfluxDB+Grafana. La combinación anterior a nivel de software, permite recibir datos a través del protocolo MQTT en un web server de NodeRed, quien capturá los paquetes de un Json para ser almacenados

en InfluxDB, como histórico. InfluxDB como base de datos de series de tiempo abierto desarrollada por InfluxData. Grafana lo que nos permite es crear cuadro de mando o controles de mando para monitoreo de data en tiempo real. La arquitectura se elaboró por capas, capa del negocio, capa lógica y capa de datos.

- Con InfluxDB se realizó el monitoreo de operaciones, análisis de métricas, censado de datos IoT, análisis en tiempo real, entre otros. Se busco información de incidentes que sucedan con la grúa, así como avisos preventivos de posibles daños.
- Utilizar las mejores prácticas en la elaboración de diseño de prototipos para transmisión de datos hacia la nube. Para ello se considera utilizar AWS o Azure.

### **3.3. Perspectiva de resultados**

- Como resultado de la investigación se obtuvieron gráficos que permitieron a la junta directiva de la compañía discernir si se está mejorando el servicio prestado a los clientes de una manera ágil y eficaz; en el tiempo previsto que permita una comunicación directa entre los equipos industriales y el sistema de control ante cualquier incidencia no deseada.
- Las pruebas que se realizan con una grúa ABUS y con un tablero eléctrico permitieron generar reportes.
- Crear un historial de datos que permita con el tiempo generar conocimiento para la empresa respecto a lo que sucede con la maquinaria al ser ya utilizada por los clientes.

- Los operadores de la maquinaria industrial son medidores de la manipulación del equipo, tratando de controlar la situación, para mantener el orden de los datos que se envíen.
- La acción de los clientes hacia la empresa permite a la junta directiva de la empresa tener resultados del mantenimiento y servicios.
- Un prototipo para comprobar variables de distintos tipos, físicos, lógicos entre otros, que comparados con estudios anteriores se pueda discernir el resultado exitoso de dicho.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. Grúas Abus**

Las grúas Abus son equipos industriales útiles para levantar cargas pesadas. Levantan en algunos casos desde 8 toneladas hasta 60 toneladas con los puentes que las sostienen.

Los puentes grúas de la empresa ABUS permiten adaptarse perfectamente a todo tipo de naves de instalación. La construcción en diferentes arquitecturas y diseños permiten con sus variantes, que se realicen formas de grúa en conjunto con variaciones en el montaje de vigas, esto aprovecha idealmente el espacio disponible en una nave de instalación.

Las funciones principales permiten adaptar al área de aplicación para que los operadores de las grúas obtengan capacidad de servicio y una interfaz de información la cual está configuración de manera moderna.

#### **4.1.1. Perfiles de traslación y elevación**

Una grúa marca ABUS se adapta a diversas circunstancias en la nave instalada, mediante formas que permiten la traslación. Por ejemplo, una grúa que tiene dos velocidades funciona de manera muy distinta a las controladas por medio de variadores de frecuencia.

Una grúa permite contornos de elevación y movimiento que permite adaptar una grúa a una circunstancia de conveniencia. En caso ya exista una

grúa en la compañía, se ahorra el coste de ajuste del operador ya que son equipos industriales fabricados para una alta productividad en la instalación de grúa Abus.

#### **4.1.2. Control de oscilación**

Se logra el control de oscilación lo cual permite aumentar aspectos de seguridad y permite manipular la grúa con comodidad en transporte de pesos pesados para zonas sensibles. El control de la oscilación que incluye ABUS para sus grúas se basa en cálculos aritméticos, lógicos y de relación. Los cálculos matemáticos permiten analizar las velocidades de traslación, la aceleración de la carga y la demora de la grúa y del carro. También la posición del gancho desde la grúa y el largo medio que sujeta de carga. Los operarios que no tienen experiencia en manejar grúas pueden transportar cargas con seguridad. Esto debido al control de la oscilación que incluye el control de Abus.

### **4.2. Sincronizado y sintonizado**

Las grúas Abus deben de ajustarse temporalmente respecto a sucesos de movimiento, así también tienen un subsistema que recibe frecuencia.

#### **4.2.1. Regulación de sincronización**

Lograr la sincronización de varias grúas ABUS en dos carros permite el transporte controlado de cargas de larga distancia. Cuando existen diferencias en las velocidades para la elevación de cargas se permite compensar con una regulación frecuente. Un requisito para esta regulación es que cada grúa tenga un variador de frecuencia; las velocidades de marcha se moderan en grúas en

una movida detrás de otra. Se logra en grúas, con un máximo de cuatro carros y con elevación permitida, todo bajo control.

#### **4.2.2. Componentes estándar modulares y enchufables**

La unidad ABUControl permite componentes electrónicos de grandes fabricantes. El reemplazo o reparación de algún componente no requiere especializaciones en electrónica, licenciamiento de software y no está reservado exclusivamente al fabricante ABUS.

Abus permite el control total de la grúa y permite libertad de modificaciones para quien de su servicio técnico por medio de ABUControl lo cual logra una única manera de dar mantenimiento y reparación sin problemas.

#### **4.2.3. Mando por radio aburemote**

Una grúa equipada con ABUControl se controla con un mando, por medio de radio control llamado ABURemote. Estas son características de confort y seguridad. El mando ABURemote permite la opción de una versión práctica con una botonera y una versión con Joystick.

### **4.3. Microcontroladores**

Los equipos industriales o del hogar utilizan una infinidad de artefactos que permiten interactuar con chip integrados los cuales en su interior contienen la unidad central proceso (CPU), unidades de memoria (RAM, ROM, CACHE), así como puertos de entrada y salida; todas estas partes están interconectadas dentro del microcontrolador, y en conjunto forman un microcontrolador.

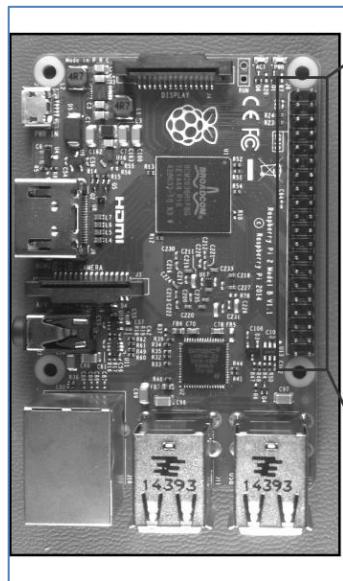
Un microcontrolador se puede abreviar como  $\mu$ C, UC o MCU, es un chip integrado para programar lógicamente el cual permite compilar instrucciones pregrabadas en la memoria local o remota. Local se refiere a no volátil y remota a la volátil como lo puede ser la RAM. Un microcontrolador, está integrado por varias unidades funcionales las cuales cumplen una actividad específica. Unos de ellos un chip miniaturizado que es una pequeña pieza de material semiconductor que contiene múltiples circuitos integrados con los que se realizan numerosas funciones en computadoras y dispositivos electrónicos.

#### **4.3.1. Raspberry**

En el mundo de la industrialización es bastante común utilizar la plataforma Raspberry. Su primera versión fue la Pi. PI es un computador de placa simple, el ordenador de placa integrada u ordenador simple (SBC) es de bajo coste y fue fabricado en Reino Unido por la Raspberry Pi *Foundation*.

Este microcontrolador según el autor Steve Bush (2011), fue fabricado con el objetivo de estimular la enseñanza de informática en las escuelas. El modelo original se convirtió en el más popular de lo que se esperaba, hasta incluso vendiéndose afuera del mercado objetivo para usos como robótica. Este microcontrolador no incluye periférico como un teclado, ratón o case. La Figura 6 muestra las secciones de un microcontrolador Raspberry. (Walc es la Red, 2019)

Figura 2. Información general sobre el pin de GPIO

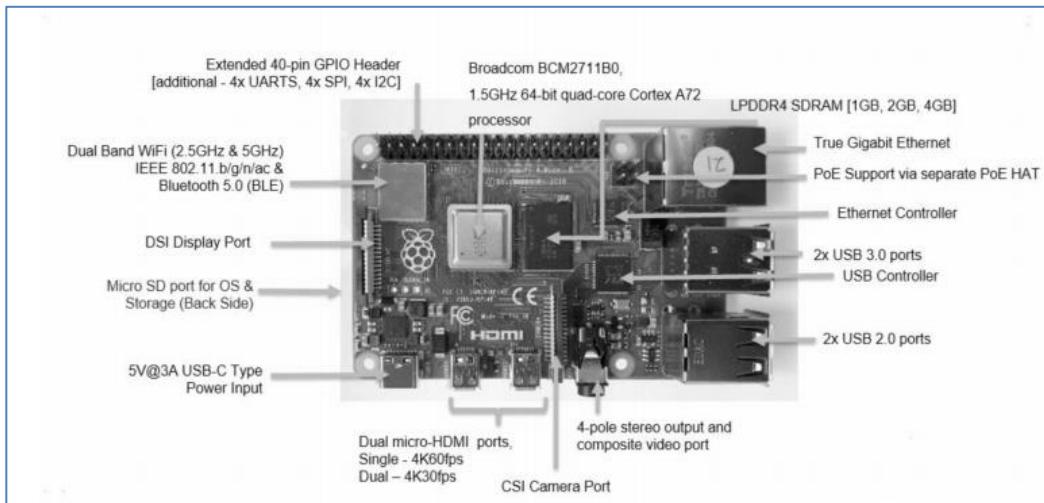


Alternate Function	
I2C1 SDA	3.3V PWR
I2C1 SCL	GPIO 2
	3
	5
	7
	9
	11
	13
	15
SPI0 MOSI	3.3V PWR
SPI0 MISO	GPIO 10
SPI0 SCLK	GPIO 9
	21
	23
	25
	27
	29
	31
	33
SPI1 MISO	GPIO 13
	35
	37
	39
	40
	5V PWR
	5V PWR
	GND
	UART0 TX
	UART0 RX
	GPIO 18
	GND
	GPIO 23
	GPIO 24
	GND
	GPIO 25
	GPIO 8
	SPI0 CS0
	GPIO 7
	SPI0 CS1
	Reserved
	GND
	GPIO 12
	GND
	GPIO 16
	SPI1 CS0
	GPIO 20
	SPI1 MOSI
	GPIO 21
	SPI1 SCLK

Fuente: Warwick. (2022). *Asignaciones de patillas de Raspberry Pi 2 & 3*. Consultado el 29 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/iot-core/learn-about-hardware/pinmappings/pinmappingsrpi>.

El primer ordenador de Raspberry Pi fue creado del tamaño de una tarjeta de crédito, que se conecta a un televisor y un teclado. Es una placa electrónica que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común. Este equipo muy pequeño tiene la capacidad que puede ser utilizado por muchas de las cosas que un PC de escritorio hace, como manejo de hojas de cálculo, procesadores de texto, juegos y video.

**Figura 3.      Partes de un Raspberry PI**



Fuente: Allan. (2019). *Meet the New Raspberry Pi 4, Model B*. Consultado el 29 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://www.hackster.io/news/meet-the-new-raspberry-pi-4-model-b-9b4698c284>.

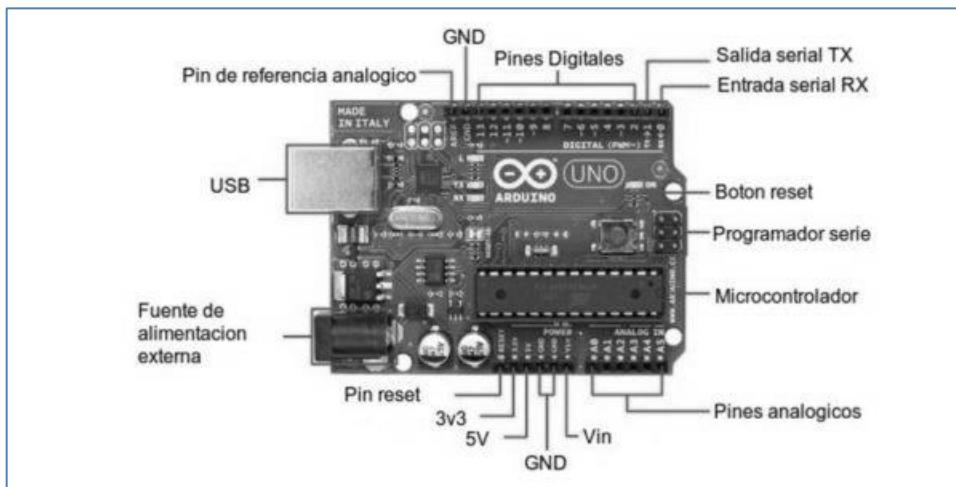
#### **4.3.2.      Arduino**

Arduino es una plataforma para implementaciones de software y de hardware libre que fue iniciada por Massimo, Bansì. Esta compañía ha crecido a través de una comunidad que realiza análisis, diseño y desarrollo para placas electrónicas de ensamblaje de software para hardware. Estos dispositivos permiten interconectar dispositivos digitales y analógicos interactivos. Estos permiten detectar y registrar información de objetos en el mundo real. Arduino como plataforma permiten introducir y permite hacer fácilmente prototipos con el uso componentes electrónicos, así como programación en proyectos de distintas disciplinarios. Los módulos que provee Arduino son del tipo hardware y software. Los anteriores creados bajo Licencia Pública General GNU (GPL) así como la

Licencia Pública General Reducida de GNU (LGPL), lo anterior permitieron la fabricación de placas del tipo Arduino y la distribución de software todo el mundo.

Las plataformas de Arduino se hacen disponibles al público comercialmente y la forma de una placa ensamblada normalmente viene con kits o un conjunto de herramientas y componentes para hacer miniprototipos. Hazlo tú mismo del inglés DIY: *Do It Yourself*. (Kushner, 2011)

Figura 4. **Partes del Microcontrolador Arduino**



Fuente: Ingeniería Mecafenix. (2017). *Arduino ¿Que es, ¿cómo funciona? y sus partes*.

Consultado el 29 de noviembre de 2022. Recuperado de  
<https://www.ingmecafenix.com/electronica/arduino/>.

#### 4.3.3. Especificaciones de los microcontroladores

Un microcontrolador cuenta con un chip de cilicio, de bajo costo y autónomo. Algunos microcontroladores pueden utilizar expresiones de cuatro bits o más y trabajar a frecuencias de un ciclo de reloj, que generalmente incluyen:

- Conversión de analógico a digital y de digital a analógico
- ROM programable o memoria flash
- E / S paralelas y seriales
- Una ALU (Aritmetical Logic Unit) de 8 o 16 bits
- Una pequeña memoria del tipo RAM
- Temporizadores y generadores de señal

Los microcontroladores generalmente se diferencian por ser de baja potencia, esto debido a que muchos dispositivos funcionan con baterías. Los microcontroladores se utilizan en muchos productos electrónicos de consumo, motores de automóviles, periféricos de computadoras y equipos de prueba o medición. Estos microcontroladores son adecuados en la aplicación de proyecto con baterías para larga permanencia. Las partes dominantes de los microcontroladores es que se utilizan e implementan en aparatos industriales. (Bucheli, 2017)

#### **4.4. Controlador lógico programable**

Un controlador programable lógico se conoce por sus siglas en inglés Programmable Logic Controller ó simplemente PLC. Los PLCs son computadoras utilizadas en la industria. Muchos modelos de PLCs se utilizan para la automatización en los procesos electromecánicos, en los cuales se permite el control de maquinaria para una fábrica, así como en las líneas de producción como montaje y en atracciones mecánicas. (UNED, 2011)

Este dispositivo llamado PLC en la industria es definido por NEMA que es la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, quienes indican que los PLCs son instrumentos electrónicos que proporcionan memoria programable para acumular las instrucciones en registros de memoria así como implementaciones

determinadas para funciones específicas. Se realizan operaciones lógicas, especificación temporal, contador, secuencia de acción y cálculo en el manejo de sistemas para módulos de entrada y salida para señales analógicas, así como digitales.

#### **4.4.1. Funcionamiento PLC**

El funcionamiento primordial de un PLC ha sido modificado durante el tiempo, por ejemplo modificar un control de un relé que es secuencial, el control del movimiento, controles de proceso, un sistema para el control distribuido y una comunicación para la red. Lo primero implica las habilidades de manejo, el almacenamiento, la potencia del procesamiento y la comunicación de PLCs recientes. Estos últimos son semejantes a computadoras para escritorio.

Respecto a implementaciones de estos computadores de escritorio, se debe tomar a consideración ya que no se han permitido por lo general en la industria de equipo pesado, esto debe a que los ordenadores de escritorio ejecutan los sistemas operativos y que son de carencia en estabilidad en un PLC. El hardware de un ordenador normal es uso de oficina y típicamente no está diseñados para los mismos niveles de tolerancia a temperatura, la humedad, las vibraciones, y persistencia en procesadores utilizados para PLC. Las limitaciones de hardware, compatibilidad con sistemas operativos como Microsoft Windows los cuales no se prestan para la ejecución para industria.

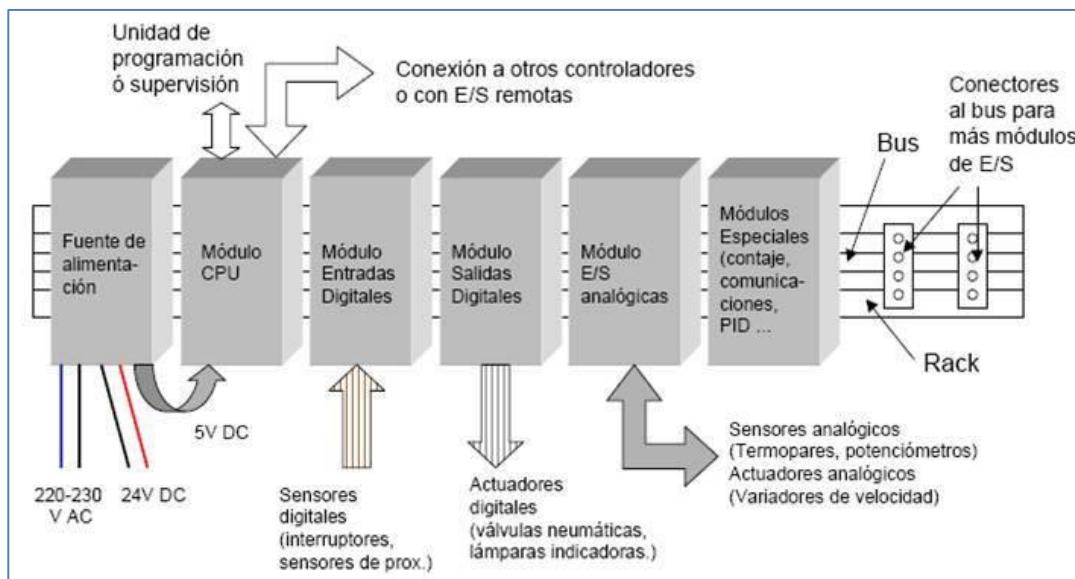
Con este resultado de que la lógica no se puede corresponder a intercambios para el estado lógico o incluso de los estados de las entradas, así como la firmeza extrema durante el tiempo que tiene expectación en los PLCs. Como por ejemplo un Windows 10 profesional uno esperaría que tenga las capacidades de administrar o gestionar maquinaria industrial porque el nombre

lo indica. Pero, sin embargo, este tipo de sistemas de escritorio se encuentran en situaciones críticas, como la automatización de laboratorio y su uso en instalaciones pequeñas en las que la aplicación y esto exigente, ya que por lo general son menos costosos que los PLCs convencionales. (UNED, 2011)

#### 4.4.2. Estructura general de los PLC

El diseño conceptual y la estructura organizacional a través del cual los componentes que la integran colaboran de manera armónica en el funcionamiento integral de una computadora industrial.

Figura 5. Arquitectura de un PLC



Fuente: Rojas. (2009). *Arquitectura de microcontroladores*. Consultado el 22 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://davidrojasticsplc.wordpress.com/>.

Analizando la figura anterior, un suministro para potencia que existente el propósito inicial es lograr que los voltajes de operación sean garantizados del

controlador y de sus bloques. Valores utilizados de voltaje +5voltios, +12voltios y +24voltios los cuales existen inicialmente en dos módulos, uno de suministro de energía (watts) y otro alterno. Se utiliza una entrada de voltaje en la infraestructura de red trabajo y existen los que permiten suministrar potencia operacional para un control de objetos.

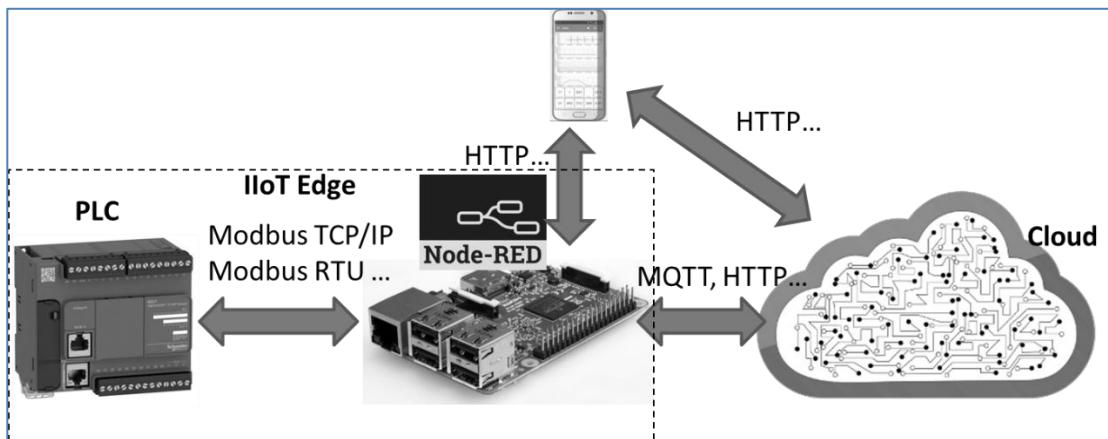
Inicialmente es la denominada como la CPU esta incluye la parte de procesamiento y de control. Está basada en el microprocesador los cuales permiten operar aritmética lógica, operaciones lógicas y operaciones de relación las cuales realizan diferentes funciones. Además, la CPU ejecuta frecuentemente a un PLC para integrar el encontrar todo tipo de errores en su debido tiempo. Los PLCs utilizan chips que han sido procesados mediante la técnica llamada bit-slice (bit rodajeado), como el AMD2901, entre otros. (Erasmus, 2022, p. 9)

#### **4.5. Arquitectura de interconexión de Modbus**

Modbus es un protocolo de comunicaciones que está ubicado en el modelo OSI en las capas 1, 2 y 7, lo cual muestra la arquitectura master/slave (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP), este fue diseñado en el año de 1979 por la compañía Modicon adquirida por Gould Electronics en 1989, para una gama de microcontroladores lógicos programables (PLCs).

El protocolo se convirtió para el uso de las comunicaciones en el elemento de la industria, actualmente goza de más disponibilidad para interconexión de dispositivos electrónicos en la industria.

Figura 6. Interconexión con Modbus PLC



Fuente: Arizona State University. (2019). *Elementos que integran la conexión Modbus*.

En la imagen anterior, se muestran componentes de interconexión que se considera utilizar con la tecnología Modbus TCP/IP y Modbus RTU que en conjunto con Node-Red, permitirán capturar datos de un Json (archivo plano etiquetado) para realizar cálculos aritméticos, lógicos y de relación que permitan tomar decisiones trascendentales. Node-Red es una herramienta de desarrollo basada en flujo, se usa para programación visual y gratificante. Esta fue desarrollada originalmente por IBM para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea como parte de Internet of Things.

El microcontrolador Raspberry tendrá un papel importante que interconectará estos datos procesados a la nube que se supone será AWS pero también se considera Azure como alternativa.

Los argumentos por las cuales Modbus en la industria se ha impuesto por encima de otros protocolos de comunicaciones.

Según Bill (2009) son:

- Se diseñó teniendo en cuenta su uso para aplicaciones industriales
- Su uso es público y gratuito
- La ejecución del protocolo es sencilla y propone un poco desarrollo
- Protocolo que incorpora bloques de datos supone restricciones

#### **4.6. Microprocesadores**

Según Parra (2012) “los microprocesadores se definen como un circuito de chip integrado, central que es el más complejo dentro de un sistema informático”. (p. 18)

Un microprocesador es el encargado de ejecutar programas y desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario; en este sector se ejecutan las instrucciones programadas en un lenguaje de bajo nivel es decir en el lenguaje ensamblador o assembler. En este lenguaje se realizan operaciones lógicas, aritméticas: tales como sumar, restar, multiplicar, dividir, las lógicas binarias y accesos a memoria. Las operaciones anteriores pueden ser modos de dirección ambiente, directo o indirecto dependiendo de la arquitectura en la que fueron fabricados.

#### **4.7. Arquitectura de computadoras**

Los fabricantes de computadoras previeron a la construcción de equipos, deben analizar el proceso que llevarán a cabo para incorporar dispositivos y que los datos se almacenen sea el adecuado. Es por ello que cuando se construye una casa se debe realizar un análisis de cuál es el objetivo de fabricarla, cuántos habitantes la utilizarán, disponibilidad de espacio, entre otros. A la altura de la

computación se utiliza el término de arquitectura de la misma forma, en informática lo cual es del diseño conceptual y estructura operacional de un sistema de computadoras. Clements Alan indica que la arquitectura es una guía y una descripción del funcionamiento de los requerimientos y las integraciones para el diseño para varias secciones de un computador. En este caso se hace énfasis en la forma en que la (CPU) o unidad central de proceso, trabaja intrínsecamente y en donde acceden a las direcciones o sectores de la memoria. (Parhami, 2007)

#### **4.8. Organización de computadoras**

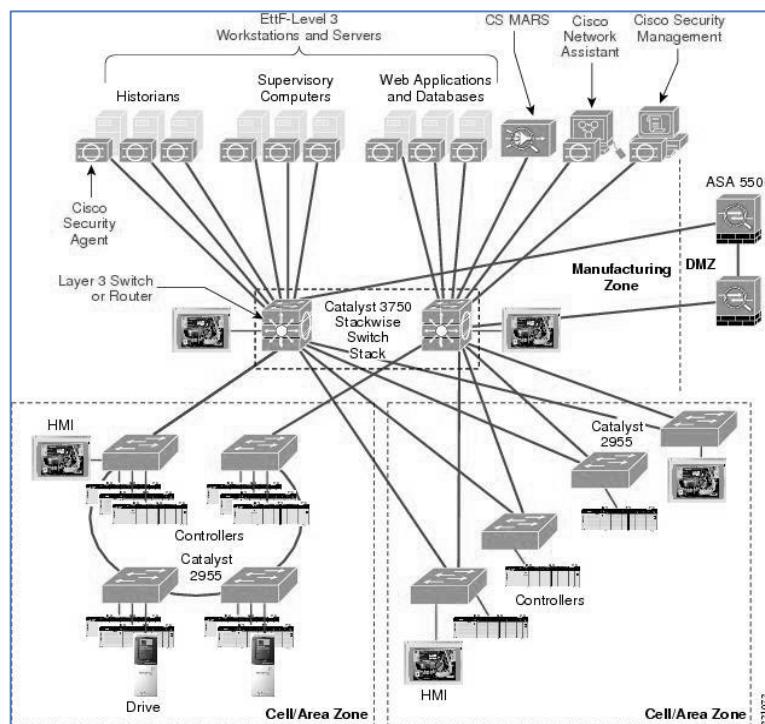
La organización de computadoras está relacionada con la arquitectura de computadoras. Stallings (2013) la describe como unidades funcionales en una computadora (como la unidad CPU, unidad de almacenamiento y la unidad de dispositivos de entrada/salida) y sus interconexiones. Estas se materializan en especificaciones de arquitectura.

#### **4.9. Topologías de red**

Una topología de red se define según Castells (1998), como “familia de comunicación usada por las computadoras que conforman una red para intercambiar datos”. (p. 350) En redes de computadoras se especifican cómo la topología estrella, bus, anillo, entre otros. En otras palabras, es la forma en que está diseñada la red, sea en el plano físico o lógico. El concepto de red puede definirse como un conjunto de nodos interconectados entre sí. Este tema es importante definirlo debido a que todos los equipos se interconectan en una red y cada equipo compone un nodo. Un nodo es el punto en el que una curva se intercepta a sí misma, este puede ser un smartphone, un equipo portátil un PLC o un dispositivo que teniendo interfaz de red NIC *network interface card*, permite

crear a través de comutadores una red. Lo que un nodo es concretamente depende del tipo de red en cuestión.

Figura 7. Topología de red



Fuente: Cisco System. (2010). *Diagrama de red Core Zone*.

#### 4.10. Iot

Se está iniciando la cuarta revolución industrial. La incorporación de microcontroladores en todos los dispositivos y conectados a internet.

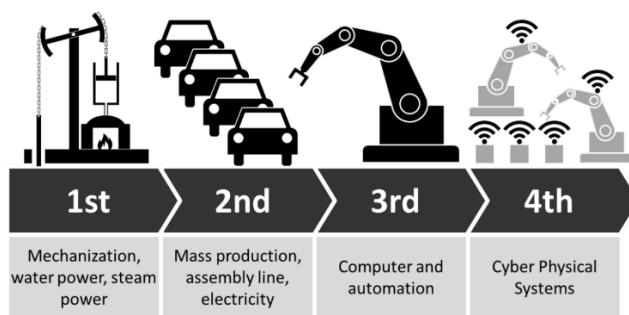
Internet de las cosas, es un término que se describe como una interconexión digital de dispositivos en la red de redes. Esta red conecta cada día más objetos que personas (Magrassi, 2001). Los objetos son de uso diario y estas

tienen incorporadas etiquetas de radio las cuales pueden ser identificados y administrados a través de NIC en inglés Network Interface Card, que de esta manera la administran los seres humanos.

Esta revolución industrial permite transformar e innovar la industria de una manera sustancial. La internet de las cosas es un conjunto de interconexiones entre dispositivos y objetos que podrían ser sensores, microcontroladores que a través de una red ya sea privada o pública en la internet, en dónde todos estos dispositivos son visibles e interactúan, dependientemente de la topología y las configuraciones. Si analizamos los tipos de objetos o dispositivos que se usan, desde sensores, dispositivos, mecánicos y hasta objetos cotidianos como pueden ser el frigorífico que puede ser una cámara o un almacén, el calzado o la ropa (wearable en inglés). Cualquier objeto que podriámos podría ser conectada a la red de redes e interconectarse sin necesidad de la intervención de un humano.

El objetivo es lograr una interacción de máquina a máquina M2M, o lo que se conoce como interacción M2M (machine to machine). (Acharjya y Geetha, 2017)

Figura 8. **Era de la revolución industrial**



Fuente: Roser. (2015). *Transformando e innovando la industria*. Consultado el 22 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://www.allaboutlean.com/industry-4-0/industry-4-0-2/>.

#### **4.11. Protocolo de comunicaciones**

En computación y las telecomunicaciones, los protocolos de comunicaciones en un sistema, permite reglas y estas que dos o más objetos en un sistema de comunicación se notifiquen entre sí para trasferir datos por medio de tipos de variación a través de una magnitud física (Aragón, 2013). Se trata de las reglas o el estándar que define la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, así como también los posibles métodos de recuperación de errores. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, por software, o por una combinación de ambos.

#### **4.12. Protocolo Mqtt**

Un protocolo bastante común en la industria es MQTT, (Message Queue Telemetry Transport) que es un protocolo de transporte a través de mensajes cliente y servidor que está basado en publicaciones o suscripciones. Cuando un mensaje es publicado esté será recibido para el resto de los dispositivos interconectados al tópico del protocolo mencionado.

La manera en que funciona MQTT sobre el protocolo TCP/IP y sobre otros protocolos de red es por medio de soporte bidireccional y este es sin pérdidas de datos. Los importantes tipos son:

- Lograr un transporte transparente de mensajes y con flujo de datos optimizado, el cual permite reducir la saturación de la red.
- Los mensajes broadcast se utilizan para subscripción y publicación y estos son con independencia del aplicativo.

A continuación, se definen tres calidades de servicio o QoS (*Quality Over Services*):

- Una vez es el protocolo TCP pero con pérdida de mensajes. A este nivel se podría usar, por ejemplo, para aplicaciones de sensorizado entre otros, la pérdida de lectura no crítica, esto debido a que, tarde o temprano, se llegará a otra.
- Por al menos una la llegada de mensajes se asegura, pero se consideran algunas duplicidades.
- Puntualmente una vez, al llegar los mensajes, se está asegurando una vez. A este nivel se puede usar, como ejemplo, en los sistemas de pago, en donde la duplicidad y la perdida de mensajería es más crítica y esto podría dar lugar a cargos.

Este protocolo, en conclusión, posee un componente de aviso de separaciones inesperadas. Lo anterior permite que la transmisión de paquetes sea más confiable que otro protocolo de transmisión en la capa de transporte del modelo OSI. (Medela, 2015)

#### **4.13. Aplicación del protocolo Mqtt**

MQTT es un protocolo apto para aplicaciones en el IoT, a través de las cuales se transmiten cantidades mínimas de información y esto no necesita un amplio ancho de banda. TST realiza MQTT y en conjunto MQTT - TST que de forma procedente en sus dispositivos, va haciendo los datos utilizables en un bróker. El Broker MQTT es un servidor de traducción y almacenamiento de datos. (Tecnologías, 2015)

## **4.14. Marco de trabajo para el desarrollo**

Las bases de trabajo para el desarrollo nos permiten realizar los trabajos con base a experiencia.

### **4.14.1. Marco de trabajo**

Herramientas, modelos y métodos para asistir al proceso de desarrollo de software.

Estos marcos de trabajo son a menudo vinculados a algún tipo de organización, que además desarrolla, apoya el uso y promueve la metodología.

Al desarrollar software, se utilizan entornos de trabajo o bases que son una estructura conceptual y tecnológica las cuales permiten asistencia definida, con artefactos y módulos concretos para el software, estos pueden servir como base para una compañía y permite el desarrollo de software. Es típico, que pueda incluir un soporte de bibliotecas, programas y lenguajes de interpretado, por medio de otras herramientas. De esta manera se pueda ayudar a desplegar y fusionar los diferentes componentes para un proyecto.

Representa una arquitectura de software que modela las relaciones generales de las entidades del dominio, y provee una estructura y una especial metodología de trabajo, la cual extiende o utiliza las aplicaciones del dominio. (La Red, Acosta, Mata, Bachmann y Vallejos, 2012)

#### **4.14.2. Angular**

Siendo una base de trabajo para el desarrollo de aplicaciones web y está producido a través de TypeScript, que es código abierto, además patentado por Google Inc, el cual utiliza en establecer y conservar aplicaciones de desarrollo web de un solo sitio. El objetivo de este marco es aumentar el desarrollo de las aplicaciones, las cuales basadas en navegador web con capacidad de mejora en la modelo vista controlador (MVC). Es un esfuerzo que se hace para el desarrollo y que las pruebas sean más cómodas. (Hevery, 2019)

El funcionamiento de la biblioteca consiste en leer el HTML el cual incluye atributos de etiquetas las cuales son personalizadas, entonces se respeta a las orientaciones de atributos individualizados, y se unen cada pieza de entrada con salidas de un sitio a través del modelo el cual es representado por medio de las inestables estandares del lenguaje JavaScript.

El enlace de datos en Angular funciona sincronizando los datos en los componentes con la interfaz de usuario para que refleje el valor actual de los datos. Para lograr la sincronización de la Vista y el Modelo, Angular usa la detección de cambios.

#### **4.14.3. Bootstrap**

*Bootstrap* lo define Mark Otto (2012), como la biblioteca que es multiplataforma y es un conjunto de herramientas que incluyen código abierto para el diseño de los sitios web. Esta biblioteca contiene plantillas para el diseño con tipografía moderna, botones, formularios, cuadros, menús de navegación, entre otros elementos que permiten el diseño basado en lenguajes HTML y CSS, así como extensiones de JS, que es JavaScript.

## **4.15. Bases de datos**

Las bases de datos son un conjunto de datos, los cuales son pertenecientes a un mismo tipo o contexto y que son almacenados de manera sistemáticamente para un uso posterior. Del mismo modo una biblioteca se considera como una base de datos, la cual está compuesta por documentos y textos físicos es decir impresos a papel, los cuales son indexados para una consulta. (Llanos, 2017). Actualmente y esto debido a la implementación de la tecnología, en campos como la informática y en la electrónica, en las bases de datos se encuentran en formato digital, es decir en un componente electrónico. Lo cual se ha ido desarrollado y esto ofrece amplios rangos de propuestas a los problemas en el almacenamiento de los datos.

### **4.15.1. Bases de datos no sql**

En informática, NoSQL (a veces llamado no sólo SQL) se describe a un amplio sistema para la gestión de las bases de datos y que se diferencia del modelo clásico (sistema gestor de base de datos o SGBD) en algunos aspectos vitales, siendo el más sobresaliente que no usa el lenguaje SQL para las consultas. (Thornton, 2018). Los datos que no son información son almacenados en plano y no requieren una estructura estática como tablas, las cuales normalmente no permiten operaciones JOIN, lo cual no garantiza las pruebas de ACID (atomicidad, consistencia, aislamiento y durabilidad), esto periódicamente se escala de una manera horizontal. Un sistema NoSQL se le denominan simplemente como no sólo SQL lo cual subraya el hecho, de que se pueden soportar otros lenguajes de consulta siempre del tipo SQL.

#### **4.16. Rest**

Es un estilo de arquitectura software para la transferencia del estado representacional (*representational state transfer*), el cual es usado para los sistemas distribuidos de hipermedia como la WWW, es decir la *World Wide Web*. Este término fue mencionado por primera vez en una tesis doctoral, en la cual Fielding (2008), quien siendo uno de los principales autores, en la especificación del protocolo HTTP, explico ampliamente como es utilizado en la comunidad de desarrollo e implementaciones de sitios web.

#### **4.17. Entornos de desarrollo**

Un entorno de aplicación informática que proporciona servicios para hacer fácil el desarrollador y compilación a un programador de ingeniería de software.

##### **4.17.1. *Processing***

Este lenguaje de programación también como un entorno de desarrollo de código abierto está basado en el lenguaje Java, es fácil de usar, útil para la enseñanza, para producir proyectos de multimedia lo cual es interactivo para el diseño digital. Este proyecto para el desarrollo fue iniciado por Ben Fry y Casey Reas (2011), ambos fueron miembros de Aesthetics and Computation Group en el MIT Media Lab el cual fue dirigido por John Maeda.

Los objetivos fueron declarados Processing el cual actúa como una herramienta para diseñadores visuales, artistas, y miembros de comunidades ajenos al lenguaje. Ellos aprendieron las bases de esta a través gráfica, instantánea y visual de información. El lenguaje Processing está basado en Java, y aunque hace uso de sintaxis simple es de modelo programación por gráficos.

#### **4.17.2. IDE Arduino**

Es una aplicación de varios sistemas operativos (Windows, macOS o Linux) por sus siglas en inglés (*Integrated Development Environment*), está escrito en lenguaje Java. Esta aplicación se utiliza como editor, compilador y cargar programas en las placas o microcontrolador compatibles con Arduino. Acá existen muchos modelos, pero también, con la ayuda de kernels o nucleos de terceros, se usan con placas de desarrollo de otros fabricantes.

El código fuente para el IDE fue publicado con GNU que es la Licencia Pública General en la versión 2. El entorno de Arduino permite los lenguajes C y C++, los cuales son utilizados con reglas especiales para estructuración de programas. Arduino con su IDE proporciona una herramienta de software para el proyecto Wiring, el cual proporciona procedimientos de E/S comunes. (Castro, 2018). El código que fue escrito por el usuario y solo requiere de dos funciones básicas, para iniciar el bosquejo y existe ciclo principal en el programa, con los cuales se compilan y ensamblan con un apéndice de un programa main() a través de un ciclo con el GNU. El entorno de desarrollo utiliza un programa avrdude, que permite convertir el código ejecutable en archivos de texto para su codificación hexadecimal y que se carga en la placa Arduino a través un programa de carga en el firmware de la placa.

### **4.18. Lenguajes de programación**

Los lenguajes permiten escribir código desde un simple hola mundo hasta algoritmos complejos matemáticos los cuales utilizando el procesador realizan operaciones que simplifican el razonamiento.

#### **4.18.1. Php**

El lenguaje PHP, *Hypertext Preprocessor* (preprocesador de hipertexto), permite la programación en un propósito general y con un código del lado del servidor, el cual se originó para el diseño para el preprocesado en textos planos en formato UTF-8. Más adelante se implementó al desarrollo web un contenido dinámico, el cual dio un paso evolutivo en conceptos de aplicaciones online (en línea), por su carácter en el servicio.

Las implementaciones en documentos HTML, son aparentemente muy sencillos. PHP no genera los HTML, este ofrece salidas de texto y los codifica en UTF-8, el cual es compatible con documentos en formato HTML. Los programadores pueden dotar de salidas a través de los tag's que son propios del HTML y los navegadores que son más comunes para navegar por internet como Google Chrome, Firefox o Microsoft Edge reconocen muy rápido el formato UTF-8 y se adapta proveyendo salidas entendibles.

Los lenguajes de programación en el lado servidor es decir los de backend, se podrían incorporar directamente, en un archivo HTML y en vez de ello se llama a un archivo fuera que el procese los datos. Los códigos son interpretados por un web server (servidor web) con un módulo de procesador, que provee texto plano y en formato UTF-8, ampliamente es reconocido a través del estándar HTML, lo cual da como resultado, que los exploradores proporcionen salidas al usuario y que estén perfectamente entendibles.

El lenguaje PHP ha mejorado por lo que se incluye una interfaz de línea de comandos CMD o TERMINAL, que permite que sea usada en aplicaciones gráficas independientes. La línea de comandos puede ser usada en la casi

totalidad de los casos de los servidores web de igual manera en muchos sistemas operativos.

#### **4.18.2. Python**

Lenguaje de programación con propósito general y es de alto nivel. La filosofía de Python es el diseño la legibilidad en el desarrollo de código con el uso de las sangrías significativas.

La programación y su enfoque está orientado a objetos, y tienen como propósito ayudar a los programadores a código líneas algorítmicas claras y lógicas para proyectos de pequeña y gran escala.



## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

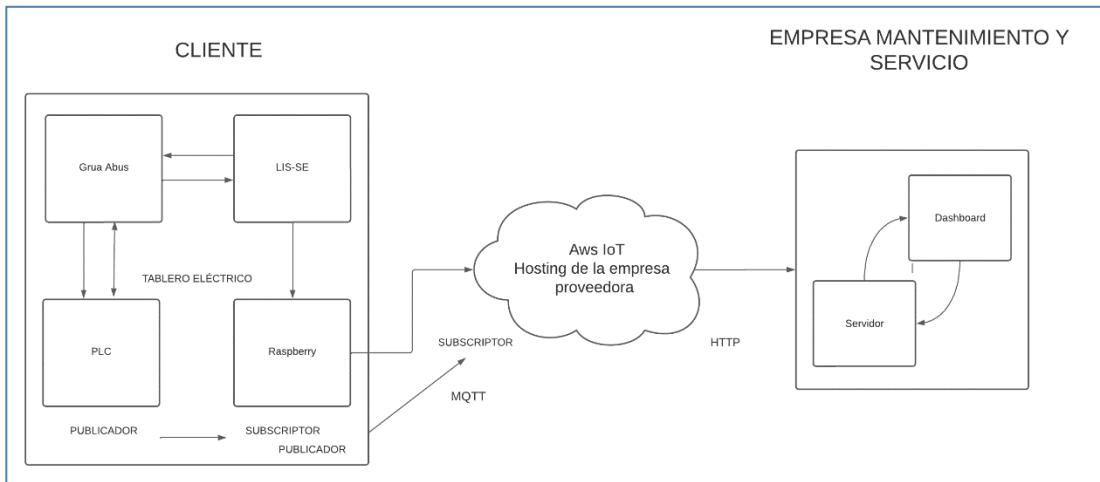
En el siguiente capítulo se presentan los efectos que conllevaron implementar el prototipo de comunicación. Estos efectos ayudaron a responder a la pregunta para resolver deficiencias en la comunicación que existen entre las grúas Abus y el sistema de control de mantenimiento y servicios.

Se realizó un ensayo de prototipo preliminar que permite interconectar un microcontrolador Raspberry a un hosting en la nube por medio de NodeRed. Se conectó un *microcontrolador Raspberry* que lee la temperatura y uno que mide la intensidad de la corriente (LIS-SV) de los sensores de las grúas ABUS, con el fin de determinar variantes de picos de voltaje. De esta manera se procesan datos generados por medio de la Raspberry que son señales analógicas.

Dichas señales se envían por medio de protocolos de IoT al servidor de la empresa de mantenimiento para tomar decisiones oportunas, ahorrar costos, evitar accidentes y realizar mantenimientos preventivos oportunos en lugar de mantenimientos correctivos.

La Figura 9. muestra un diagrama de componentes de los elementos claves en el esquema de solución. Acá se contempla al cliente de la empresa que requiere mantenimiento y la empresa que provee mantenimiento. A nivel del cliente de la empresa se presenta un software que es dividido en componentes y muestra las dependencias entre cada uno de los elementos que integran las grúas ABUS. La información recolectada de las grúas se envía por medio de los protocolos MQTT y HTTP al servidor de la empresa para tener un cuadro de mando con información clave de las grúas en tiempo real.

Figura 9. **Diagrama de componentes general**

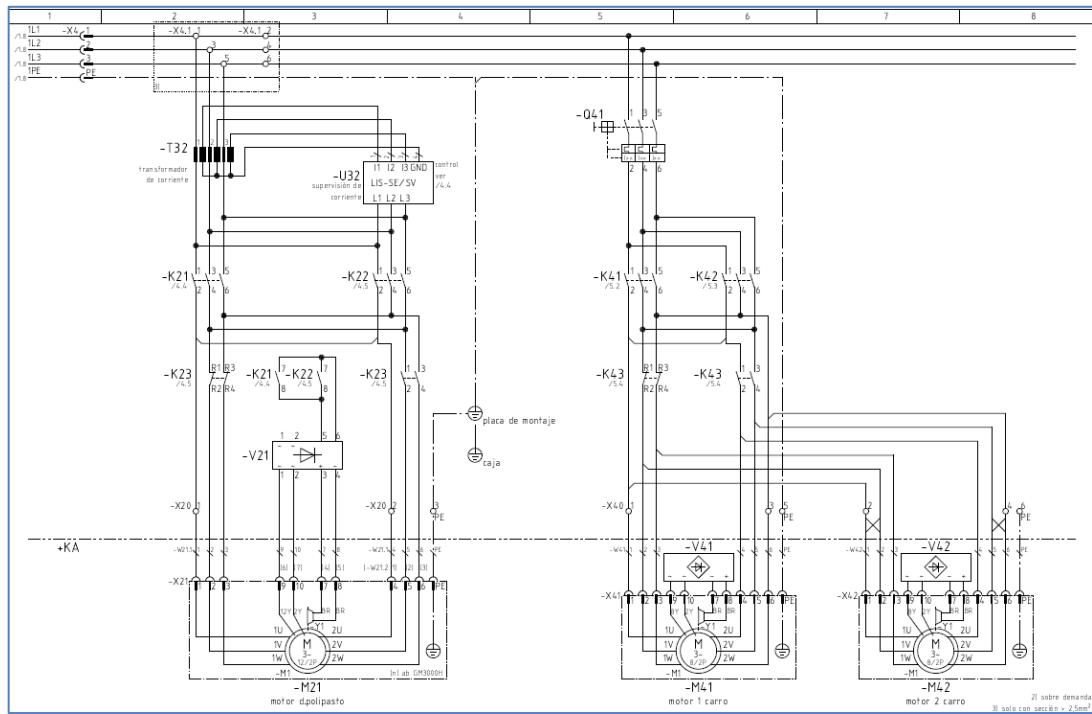


Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart

### 5.1. Requerimientos de la arquitectura de interconexión para la grúa Abus

Realizando un bosquejo de cómo realizar la interconexión y teniendo claros los componentes que integran el prototipo se estudiaron como un requerimiento adicional los tableros electrónicos Abus. Estos están conectados físicamente a un tablero eléctrico de un cliente. La Figura 10. Detalla un esquema eléctrico que tiene una arquitectura de interconexión que permite extraer señales eléctricas y para ello se midió el lugar en donde podemos analizar la intensidad de la corriente. El diseño de arquitectura incluye la grúa Abus, un PLC marca Schneider Electric M241, una Raspberry y recursos de software en la configuración.

Figura 10. Diagrama esquemático tablero eléctrico SKA

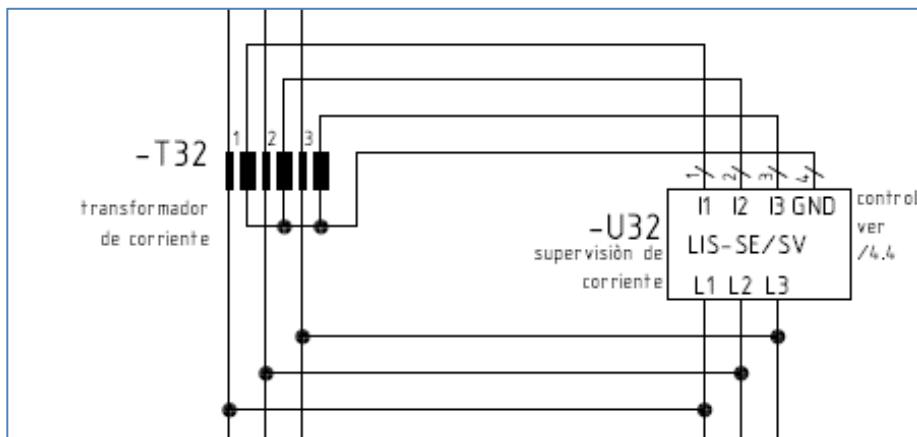


Fuente: Contec Industrial. (2019). *Tablero eléctrico SKA*.

Se conectaron dos líneas eléctricas como se muestra en la Figura 11. Para medir la corriente que se le suministra a un motor de la grúa, el cual muestra resultados representativos durante 7 días. Supervisando la corriente se logró determinar momentos de incidencia de la corriente la cual puede mostrar fallas en las instalaciones físicas de la compañía que tiene instalada la grúa Abus. El personal de mantenimiento y servicio de la compañía reporta en ocasiones estas incidencias.

Esta información se procesa y se envía directamente al prototipo de procesamiento de datos.

Figura 11. Supervisión de corriente



Fuente: Contec Industrial. (2018). *Tablero eléctrico SKA*.

El dispositivo -U32 que se muestra en la Figura 1. Es considerado como un amperímetro el cual valida los altos y bajos de la corriente y que son suministrados por el transformador de corriente. Toda esta información se envía a AbusControl. AbusControl es un dispositivo que utilizan las empresas para monitorear el comportamiento de una grúa.

## 5.2. La unidad de control Abus LIS-SE

En los equipos industriales ABUS, existen empresas que solicitan a Contec Industrial S.A. les instalen componentes de unidad adicionales, en este caso de control ABUS LIS-SE.

Existen dos tipos de LIS.

- LIS-SV = Load indicator system para sobrecarga

- LIS-SE Load *indicator system* para la tensión y corriente.

La unidad LIS-SE que se muestra en la Figura 12. Se utiliza para una variedad de funciones de commutación, así como de supervisión. El sistema examina por un tiempo extremadamente preciso a través del reconocimiento de cargas para evitar sobrecargas de corriente, protegiendo el polipasto de una grúa de una forma fácil y efectiva.

Gracias al sistema de medición de la intensidad (corriente) nos permite supervisar la carga sin pérdida de recorrido de gancho en el polipasto.

Figura 12. ABUS Sistema indicador de cargas LIS-SE



Fuente: Fransysteme Abus. (2016). *Manual de operación recursos ABUS*.

Las principales funciones del LIS-SE resumidas son:

- Protección de sobrecargas
- Comutador de media carga
- Contador de horas de funcionamiento.
- Protección del motor de elevación mediante la supervisión permanente de la corriente.
- Seguridad adicional gracias a circuitería redundante de supervisión.
- Medición y diagnóstico permanente de fallos en la red
- Alargamiento vida útil freno y contactores de elevación por su conmutación controlada en todo momento.
- Memoria de colectivo de cargas (opcional).
- Indicador de carga (opcional)

El diseño del LIS-SE basa en la evaluación controlada por microprocesador de la corriente y la tensión del motor del polipasto. El módulo básico LIS-SE con registrador de acumulación de carga ofrece la posibilidad de registrar y evaluar las condiciones operativas reales de un sistema de grúa de acuerdo con FEM 9.755. La unidad puede monitorear un polipasto para verificar que cumpla con la capacidad de carga máxima permitida. Además, la amplia variedad de funciones integradas asegura un alto grado de versatilidad.

Los fallos a los LIS modelos SV o SE pueden deberse a periodos largos de inactividad, altas o bajas de tensión, caída de rayos eléctricos y estos afecten el equipo, variaciones en la frecuencia, alta cantidad de corriente reactiva. Se puede ayudar a proteger el equipo con un guarda motor y detector de fases por línea, o bien algún otro equipo que ayude a la protección del equipo contra altibajos de tensión o cambios en la frecuencia.

Con este prototipo se logra solucionar en tiempo real este tipo de eventos como lo muestra la Figura 13. En la que se visualiza a un cliente que al tener instalado este componente y tener altos y bajos de corriente se producen errores que paran la operación de la maquinaria industrial.

Figura 13. **Sistema indicador de cargas con sobrecarga eléctrica**



Fuente: [Fotografía de Wilder Barahona]. (Cliente grúa Abus Contec Industrial 2019). [Colección particular. Ciudad de Guatemala].

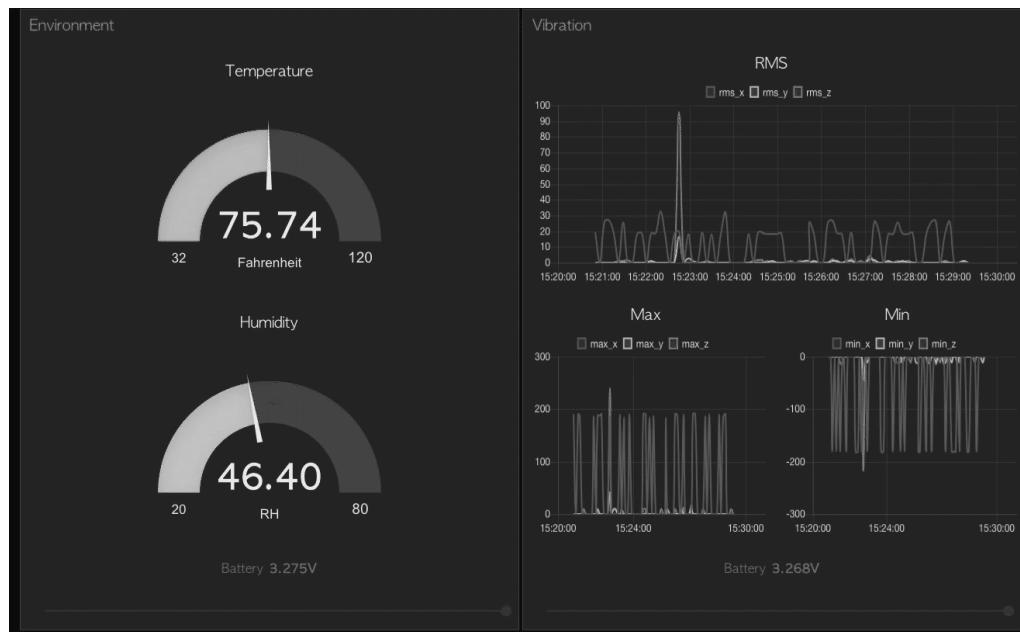
### 5.3. Sitio web

Como parte del requerimiento para el prototipo se analizó el ABUCtrl que permite llevar un registro de datos, ajustes, información de servicio. Este accesorio no todas los clientes de Abus lo tienen.

Por esta razón se realizó un prototipo a través de un sitio web de datos creado por medio de un marco de trabajo que incorpora Node-RED y esto utilizando los protocolos MQTT. El protocolo MQTT permitió enviar de manera segura la información para que el PLC, recibida y de manera sincrónica datos hacia la Raspberry quien procesa la información como resultados.

La Figura 14. Muestra un cuadro de mando creado en un sitio web que permite visualizar los resultados graficados. Este es un requerimiento del prototipo a implementar.

**Figura 14. Cuadro de mando preliminar generado por la Raspberry con prototipo de sensores**



Fuente: elaboración propia, realizado con Node-Red.

#### **5.4. Análisis, diseño y desarrollo del prototipo**

El operador del departamento de mantenimiento y servicio fue de gran apoyo en la interconexión del PLC y la Raspberry de manera que se logren medir las señales eléctricas.

Lo que se realizó con el prototipo en la organización en la empresa, fue el análisis y diseño de sistemas es una interconexión. El desarrollo consiste en estudiar su situación de manera que, al observar la ejecución de la grúa, se trabaja se pueda detectar si es necesario realizar alguna mejora.

Se estudió a detalle los componentes físicos como lo es el tablero eléctrico en donde se colocó el microcontrolador Raspberry.

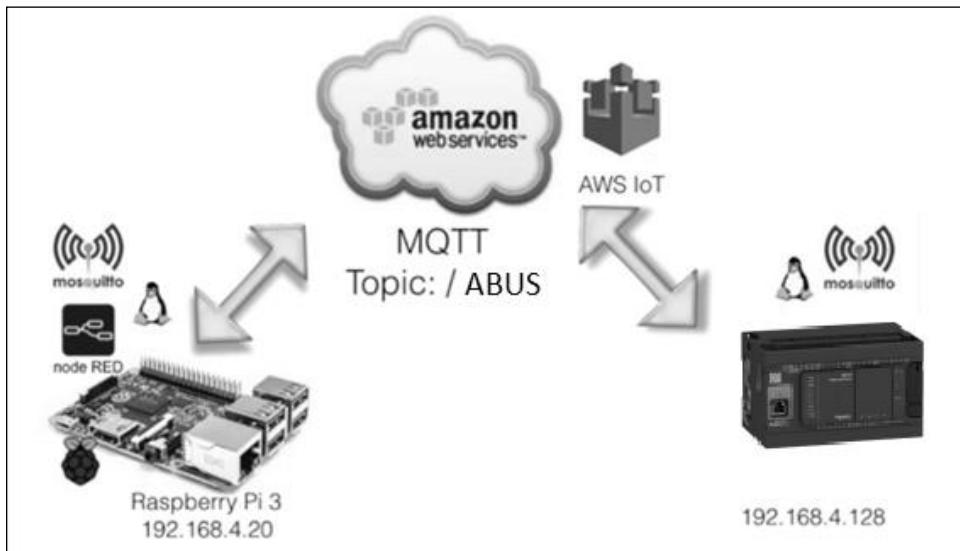
El diseño de la interconexión se logró ubicando las secciones libres del tablero, para integrar elementos necesarios que permitan enviar señales eléctricas y comunicar al departamento requerido.

#### **5.5. Arquitectura del prototipo**

En la siguiente figura se muestra la arquitectura general desde el PLC que procesa datos, de la grúa ABUS hasta el hosting en donde se publican los datos.

Esta arquitectura fue resultado de varias pruebas como bosquejo de interconexión.

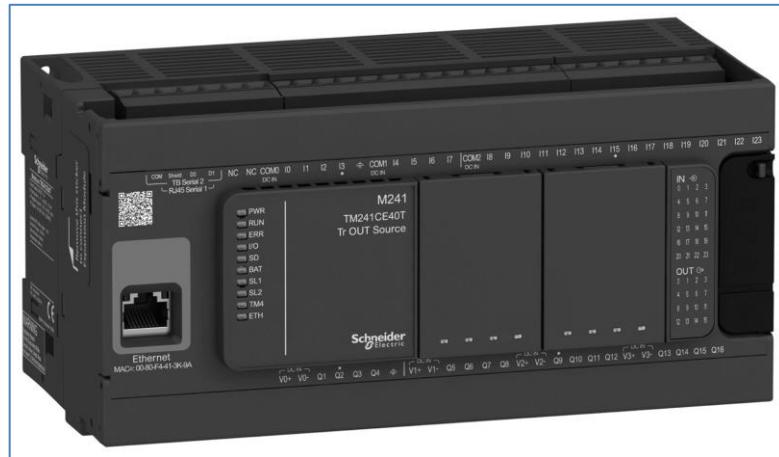
Figura 15. Interconexión al departamento de mantenimiento



Fuente: elaboración propia, realizado con LucidChart.

El PLC M241 de la Figura 16. Fue utilizado y permitió recibir los datos del motor industrial de la grúa Abus, esto respecto a la intensidad de la corriente en el tablero SKA. Para entender la estructura organizacional de los componentes que integran la arquitectura.

Figura 16. **PLC Marca Schneider modelo M241**



Fuente: Schneider Electric. (2022). *M241 Logic Controller - Guía de programación*. Consultado el 29 de noviembre de 2022. Recuperado de [https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/es/m241prg/index.htm#t=m241prg%2Fm241prg\\_id\\_disclaimer\\_tpc.html](https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/es/m241prg/index.htm#t=m241prg%2Fm241prg_id_disclaimer_tpc.html).

## 5.6. Diseño de la arquitectura

Se colocó físicamente una raspberry que a través de sus pines analógicos reciben señales eléctricas. Se utilizó un módulo adicional para recibir voltajes altos y un variador de corriente el cual gradúa las señales eléctricas. Este es un transformador que convierte voltajes de 400V AC a 12V DC. Con estas conexiones se logró medir voltaje que según las especificaciones técnicas de raspberry permite la lectura de señales eléctricas por un periodo determinado.

## **5.7. Desarrollo aplicación para cálculo de la intensidad de las corrientes**

Para automatizar el prototipo se elaboró un algoritmo del proceso de cálculo de la intensidad de las corrientes, la cual es aprovechada según la Ley de Ohm. Esta información se enviará en tiempo real al repositorio que permite el funcionamiento del prototipo de comunicación entre las Grua Abus y el sistema de mantenimiento.

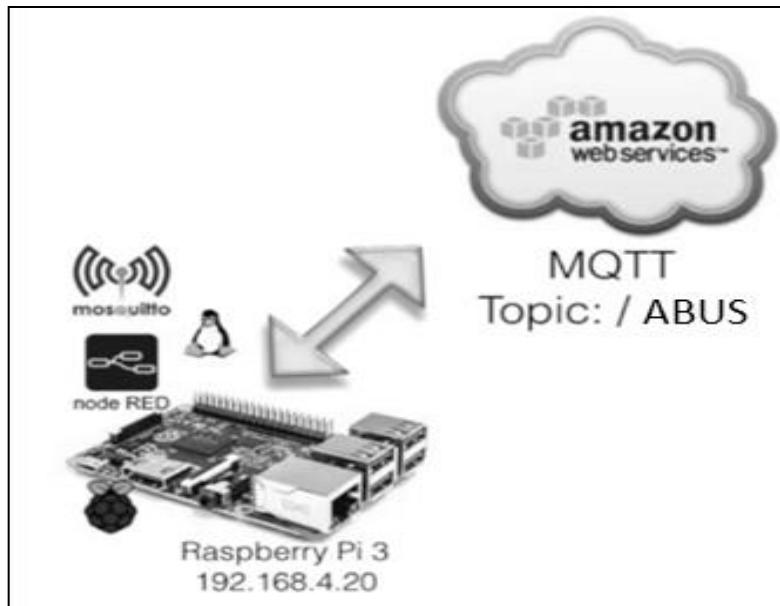
**Figura 17. Algoritmo para calcular intensidad de la corriente**

```
def DeFamperaje():
    while (True):
        try:
            amperaje = voltaje / resistencia
            return amperaje
        except ZeroDivisionError:
            print ("Error de voltaje")
            break
amperaje = DeFamperaje()
```

Fuente: elaboración propia, realizado con Visual Studio Code.

Después de la instalación del prototipo de interconexión con información procesada en tiempo real, para que el departamento de mantenimiento y servicios se eliminan las fichas físicas por medio de la implementación de una URL de acceso inmediato, y con esto recibir datos a la nube en un cuadro de mando de manera instantánea.

Figura 18. Interconexión de la Raspberry al departamento de mantenimiento



Fuente: elaboración propia, realizado con LucidChart.

Algunos de los aspectos que se reciben en las fichas técnicas de la compañía incluyen los siguientes aspectos:

- Revisión de estado en general de la Grúa ABUS
- Verificación inicial de Funciones de la Grúa (trolley, testeras, gancho, en velocidad baja y alta).
- Limit Switch de Carrera Vertical
- Freno de Elevación

- Freno del Carro y del Puente
- Comprobar si el cable de acero presenta deterioros, roturas o deformación
- Comprobar el estado de la cadena de carga si existe estiramiento en eslabones.
- Revisión gancho de carga y seguro
- Verificar deterioros en el punto de fijo del cable de acero o cadena
- Verificación de guía y polea superior
- Verificar uniones soldadas, topes y amortiguadores
- Rodos de carro de polipasto y de los testeros
- Verificar estado general de instalación y alimentación de corriente
- Verificación de limitadores de recorrido de polipasto y puente
- Verificación de contactos en espigas de conexión
- Verificación de paro de emergencia
- Verificación del funcionamiento de la botonera/radio control o sistema de mando de la grúa.

- Verificación de riel de rodadura de la viga puente y soldaduras sobre viga puente.
- Condiciones ambientales
- El polipasto sea operado por personal calificado para evitar accidentes.

En base al objetivo específico de esta investigación de evaluar la eficiencia de un prototipo mediante recursos informáticos se enfoca en aspectos como:

- Verificación de contactos en espigas de conexión
- Verificación de paro de emergencia
- El polipasto sea operado por personal calificado para evitar accidentes.

Todos estos parámetros son permitirán medir aspectos eléctricos de la grúa y así a través de recursos informáticos lograr enviar la información al departamento de mantenimiento y servicios.

## **5.8. Pruebas y recopilación de resultados**

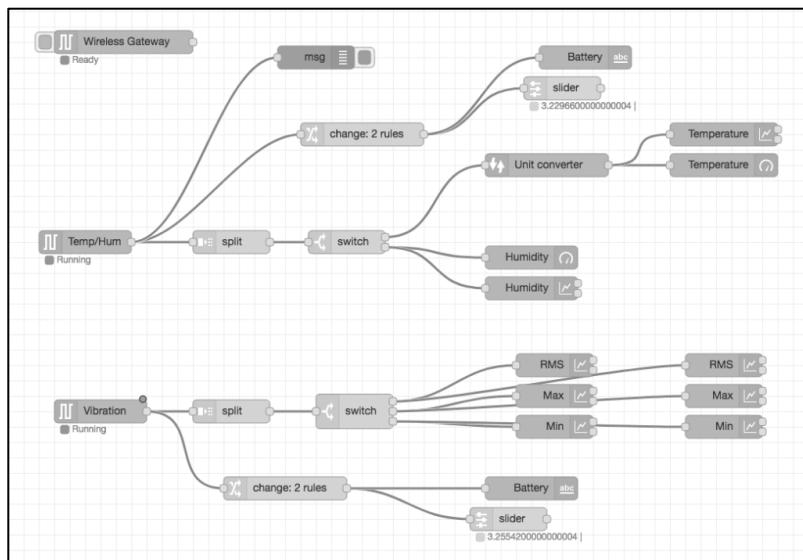
Las pruebas realizadas anteriormente conllevaron a lograr transmitir datos y estos datos lograr procesarlos a través de algoritmos que permitan mostrar información

### 5.8.1. Transmisión de datos

Para transmitir los datos del lugar en donde se encuentra la grúa Abus al departamento de Mantenimiento y Servicios se utilizó el protocolo HTTPS. La señal recibida por el motor eléctrico se procesa y es enviada por medio de protocolo UDP y se realizó tomando en cuenta un procesamiento de desconexión por el tipo de protocolo usado UDP. Se transmitió la información de MQTT (Mosquitto) que permite conectar la Raspberry hacia la información de la intensidad de la corriente al hosting en la nube.

La arquitectura del flujo de datos se realizó con NODE-RED, que a través de su interfaz se creó el flujo de información el cual permite pasar datos por medio de protocolos de red. De esta manera el diseño de la arquitectura integra estos recursos tecnológicos.

Figura 19. Diseño de la arquitectura del flujo de datos



Fuente: elaboración propia, realizado con la herramienta NodeRed.

A cada dispositivo se le coloco dirección IP que permite comunicar a través de direccionamiento en la red en la infraestructura.

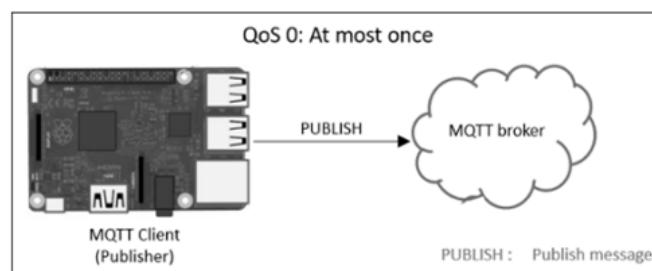
Dirección de la Raspberry:	192.168.4.20
PLCM241:	192168.4.128

Se utilizo comunicación de punto a punto entre estos dos dispositivos a través de la infraestructura de red. La información se transmitió de manera sincrónico según el protocolo MQTT con el servicio de AWS.

### 5.8.2. Procesamiento en la transmisión de datos

Para procesar los datos transmitidos que se extraen de la grúa Abus se utilizaron las líneas de comunicación de infraestructura como referencia la Figura 20. Muestra la calidad del servicio utilizando un canal de comunicación de punto a punto. En este caso se utilizo el servicio de la nube que ofrece AWS para recibir los datos de la Raspberry. Esta información fue procesada para lograr generar gráficos de los picos de voltaje durante el uso del equipo.

Figura 20. Procesamiento de la información en MQTT



Fuente: Ojeda y Cabrera (2020). *Análisis de las estrategias aplicadas en el desarrollo de sistemas domóticos de seguridad*. Consultado el 29 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7539682>.

La información enviada a través de los protocolos de comunicación muestra resultados preliminares de las variaciones de voltaje que genera un fenómeno en el cual el voltaje de las líneas eléctricas es esporádicamente inestable y alcanza valores mayores o menores al 10 % del voltaje nominal / ideal.

## 5.9. Raspberry y AWS se comunican

El siguiente programa muestra como un Message Broker para AWS IoT, envia y recibe mensajes a través de una conexión MQTT. En este caso señales de picos eléctricos. Al iniciarse, el dispositivo se conecta al servidor, se suscribe al tema ABUS\_PLC\_RASPBERRY, que fue creado y comienza a publicar mensajes en ese tema. El dispositivo debería recibir esos mismos mensajes del intermediario de mensajes, ya que está suscrito a ese mismo tema. Las actualizaciones de estado se irán imprimiendo continuamente.

Este ejemplo realiza una conexión MQTT mediante un certificado y un archivo de clave. Al iniciarse, el dispositivo se conecta al servidor mediante el certificado y los archivos de clave y luego se desconecta. Esta muestra es de referencia sobre la conexión a través de certificados y archivos clave.

En la Figura 2. Se muestra el código de la función que envía el certificado y el archivo clave desde la raspberry a la instancia de AWS, lo cual hace referencia a la comunicación continua a través del protocolo IoT.

**Figura 21. Código para publicar en servidor AWS IOT y enviar n mensajes**

```
if message_string:  
    if message_count == 0:  
        print ("Sending messages until program killed")  
    else:  
        print ("Sending {} message(s)".format(message_count))  
  
    publish_count = 1  
    while (publish_count <= message_count) or (message_count == 0):  
        message = "{} [{}].format(message_string, publish_count)  
        print("Publishing message to topic '{}' : {}".format(message_topic, message))  
        message_json = json.dumps(message)  
        mqtt_connection.publish(  
            topic=message_topic,  
            payload=message_json,  
            qos=MQTT.QoS.AT_LEAST_ONCE)  
        time.sleep(1)  
        publish_count += 1
```

Fuente: AWS. (2020). AWS IoT Device SDK v2 para Python. Consultado el 29 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://github.com/aws/aws-iot-device-sdk-python-v2/blob/main/samples/pubsub.py>.

## **5.10. Resultados de interconexión**

El prototipo instalado físicamente con componentes que se muestran en la Figura 22. Ayudan a generar resultados útiles que localmente se presentan en el equipo AbusControl, pero en este caso directamente hacia la empresa Contec Industrial S.A. por medio del sitio a través del hosting.

**Figura 22. Elementos interconectados en tablero de grúa Abus**



Fuente: [Fotografía de Wilder Barahona]. (Cliente grúa Abus Contec Industrial 2019). [Colección particular. Ciudad de Guatemala].

### **5.11. Eficiencia de la arquitectura de la solución**

La eficiencia del flujo de la información se logró a través de los siguientes pasos:

- Señal generada por operador
- Información procesada por PLC (algoritmo de cálculo)
- El PLC envía señal por medio del protocolo MQTT a la Raspberry
- La Raspberry almacena la información en una base de datos de MySQL

- La información se publica en un cuadro de mando

Esta eficiencia se logró realizando distintas mediciones en diversos puntos y se utilizó la Tabla II. como referencia.

**Tabla II. Parámetros de grúas ABUS**

Parametros a extraer de la grúa				
Descripción	Valores			
Estado actual de la grúa Abus	True/Falso			
Cantidad de movimientos.	Nada	Pocos	Bastantes	Muchos
Cantidad de movimientos.	Periodicidad:			
	Horas	Diaria	Mensual	
Intensidad de la corriente	Alta	Media	Baja	
Voltaje de un variador de frecuencia	0->10voltios	10 voltios -> 20 voltios	20 voltios -> 50 voltios	
Perfil de traslación de la grúa				

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

La eficiencia de la solución también se logró a través de los recursos tecnológicos como lo es IoT y microcontroladores que permiten las mejoras continuas.

### **5.12. Resultados de la interconexión**

Se realizó la configuración de la Raspberry Pi para utilizarla con AWS IoT.

Los requisitos de interconexión fueron los siguientes:

- Utilizar una cuenta de AWS
- Instalar la última versión del sistema operativo Raspberry Pi

- No fue necesario instalar el escritorio con la interfaz gráfica de usuario (GUI); sin embargo, si es nuevo en Raspberry Pi y su hardware Raspberry Pi lo admite, se podría usar el escritorio con la GUI esto podría ser más fácil.
- Se conectó la Raspberry a internet a través de dirección IP
- Se conectó teclado, ratón, monitor, cables, fuentes de alimentación y otro hardware requerido por el dispositivo.
- Siguiendo los pasos anteriores en la consola de AWS IoT muestra resultados de la interconexión entre el Raspberry y la instancia en la nube de AWS.

En la Figura 23. Se muestran resultados de incidencia en la corriente generados por la instancia de AWS. Esta incidencia de picos representa para los equipos industriales un riesgo que, para evitar lesiones personales o daños materiales, sólo deben efectuar trabajos en los dispositivos personas cualificadas y personal familiarizado con equipos de accionamiento eléctricos.

**Figura 23. Consola de AWS en tema “Grúa PLC RASPBERRY”**

```
Connecting to testPLCCONTECtestffp-ats.iot.us-west-2.amazonaws.com with
client ID 'test-0c8ae2ff-cc87-49d2-a82a-ae7ba1d0ca5a'...
Connected!
Subscribing to topic 'grua_plc_raspberry'...
Subscribed with QoS.AT_LEAST_ONCE
Sending 10 message(s)
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [1]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [1]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [2]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [2]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [3]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [3]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [4]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [4]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [5]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [5]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [6]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [6]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [7]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [7]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [8]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [8]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [9]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [9]'
Publishing message to topic 'grua_plc_raspberry': Hola grua! [10]
Received message from topic 'grua_plc_raspberry': b'Hola grua! [10]'
10 message(s) received.
Disconnecting...
Disconnected!
```

Fuente: elaboración propia, elaborado con AWS console.

El programa muestra cómo se utiliza el Message Broker para el servicio de AWS IoT esto para enviar y recibir mensajes, a través de una conexión MQTT.

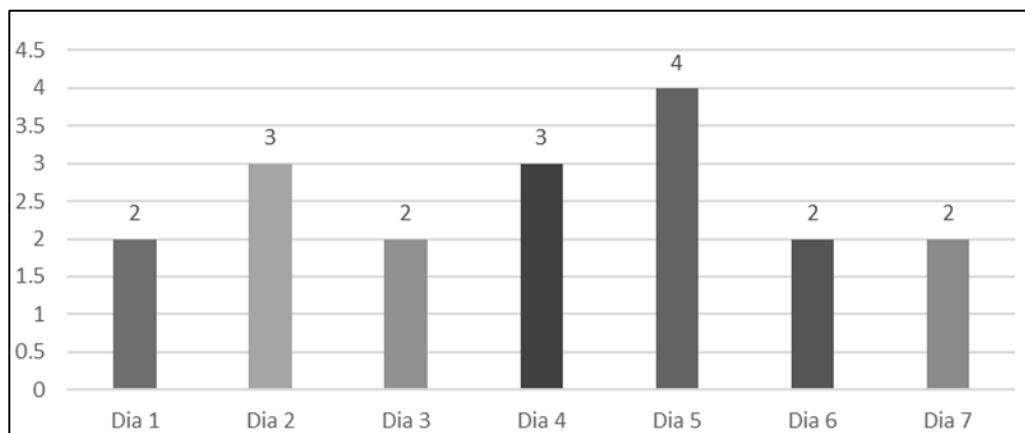
Al iniciar, el dispositivo Raspberry se conecta al servidor y se suscribe a un tema y comienza a publicar mensajes en ese tema.

Como resultado el dispositivo recibió esos mismos mensajes del corredor de mensajes, ya que está suscrito a ese mismo tema.

### 5.13. Indicadores de la variación de corriente en las grúas Abus

Finalmente, se realizaron las pruebas de transmisión de información y se obtuvieron resultados de la Figura 24. Que permiten ver la cantidad de picos eléctricos que tiene la instalación de la grúa durante 7 días de pruebas.

Figura 24. Variaciones de corriente hacia tablero eléctrico



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

Si interpretamos brevemente los resultados de las variaciones podemos ver las incidencias en un pico diario. Del día 3 al día 5. Es decir, el promedio de incidencias podría mostrar la necesidad de calibrar el tablero eléctrico. Esto implica que se requiere de un mantenimiento preventivo como limpieza de contactores, hacer buena manipulación de la grúa, entre otros. Muchas veces este inconveniente en los tableros puede surgir por desgaste, mala operación.

Por esta razón la empresa Contec Industrial S.A. en sus reportes de mantenimiento recomiendan hacer una limpieza y revisión mensual para controlar el óxido y los efectos de la humedad sobre el equipo eléctrico, así como verificar las inspecciones diarias recomendadas del manual.

Estos indicadores fueron útiles para las decisiones. Con un 90 % de mejora en respuesta se mejoró el porcentaje en el proceso de mantenimiento y servicio para lograr obtener una respuesta ante un incidente estamos hablando de casi un SLA (services level agreement) de 90 % en la respuesta versus a como se tenía anteriormente con mucha demora hasta 50 % de SLA.

#### **5.14. Cuadro mando de indicadores**

En la figura 25 se muestra el cuadro de mando que permite visualizar los parámetros proporcionados por la grúa a través del sitio web generado. Se muestra de manera visual la intensidad de la corriente así como las incidencias de picos de corriente y las revoluciones por minuto de la grúa.

La intensidad de la corriente es fluctuante debido la manipulación de la botonera por el operador en el momento de la captura. Esto muestra que desde la empresa de Mantenimiento y servicio pueden visualizar la operación de la grúa a distancia. Respecto a las incidencias de picos de la corriente dependerá del

tablero eléctrico, en este caso se genera un valor único que representa el estado encendido y apagado de la misma.

Las revoluciones por minuto son del motor que incluye el polipasto los cuales hacen que la carga del elevador este en movimiento.

Este gráfico puede ser manipulado, es decir, agregar o quitar nuevos grid pero requiere cambio de interconexiones, los cuales se pueden realizar gradualmente.

Figura 25. Cuadro mando de información resultante



Fuente: elaboración propia, realizado con Node-Red.

## **6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Se implementó un prototipo informático en el proceso de mantenimiento y servicio para minimizar las deficiencias en la comunicación entre las grúas Abus y el sistema de control de mantenimiento y servicios en la empresa Contec Industrial, S.A.

### **6.1. Detalles de la muestra**

De las 20 personas requeridas para aplicar el instrumento. Se seleccionaron a conveniencia del estudio, dado el nivel de involucramiento en el manejo de las grúas Abus a las siguientes personas:

- Departamento de mantenimiento y servicio (4 personas)
- Departamento de diseño y estructuras (3 personas)
- Departamento de Ingeniería (2 personas)
- Departamento de ventas (2 personas)
- Operadores de las grúas (3 personas)
- Técnicos electricistas (2 personas)
- Técnicos mecatrónicos (2 personas)
- Clientes de grúas ABUS (2 personas)
- Total 20 personas

De esta manera se analizaron los datos obtenidos para comprender la problemática. Esta muestra fue definida a conveniencia, ya que los sujetos disponibles a entrevistar fueron los autorizados por la junta directiva de la compañía, por razones de tiempo, disponibilidad y nivel de conocimiento del

manejo de las grúas Abus. Este fue un método de muestreo que se realizó con cautela con un 20 % de margen de error, las respuestas de la población podrían variar en otros ensayos con prototipos. Esto permitió al ser el primer ejemplar del prototipo nombrarle el primer producto de varios ejemplares.

Las preguntas que se realizaron al personal de mantenimiento y servicio fueron útiles para comprender la problemática, de la forma en la cual se pueden minimizar las deficiencias de comunicación, así como establecer elementos de espacio, equipo, acceso y método para instalar el prototipo en empresa.

## **6.2. Alcance del prototipo versus unidad Abucontrol**

ABUControl es un módulo de mando de las grúas ABUS. Combina aspectos de comodidad (confort), seguridad y facilidad para el mantenimiento y reparación de las grúas.

El operador que utiliza una grúa Abus, puede manipular la grúa con el apoyo de ABUControl que muestra parámetros para la toma de decisiones locales.

A través del prototipo el operador puede visualizar aspectos de seguridad y facilidad para el mantenimiento.

El prototipo muestra la intensidad de la corriente y otros aspectos básicos que suceden en la grúa.

Abucontrol permite a la empresa que tiene una grúa Abus las siguientes características:

- Rendimiento y confort:
  - Traslación grúa
  - Traslación de carro
  - Control del perfil de elevación
  - Control de la oscilación
- Seguridad:
  - Control del perfil de la nave
  - Seguridad anticolisión
  - Características de seguridad eléctrica
- Facilidad de soporte técnico:
  - Modularidad/Conectividad
  - Guía electrónica de la rueda
  - Puente grúa OS KranOS

Las características anteriores de la unidad AbusControl permite visualizar el alcance de las soluciones del proveedor versus el prototipo realizado.

### **6.3. Hardware del prototipo**

El prototipo elaborado incluye el PLC como computadora industrial para procesar datos de la grúa hacia el LIS-SE. Este trabajo lo realiza directamente la empresa Abus Crane con sus tableros eléctricos incorporados. En este caso los equipos industriales que se han utilizado como unos procesadores de datos, permitieron obtener datos con más precisión para monitorear las señales

eléctricas. En caso de no tener estos recursos, al tener desviaciones mínimas se podrían ocasionar rumbos distintos al requerido para un equipo pesado. Se había considerado utilizar Arduino como plataforma de comunicación, pero por la precisión de los datos se vio más conveniente utilizar microcontroladores Raspberry.

El PLC como una computadora industrial viene programada para cada cliente en un tablero eléctrico, como se muestra en la Figura 26, el cual incluye variadores de frecuencia para los motores que manipulan la carga, así como los Load Indicator System LIS – SE. Lo anterior quiere decir que una interconexión ya viene instalada desde fábrica.

Figura 26. **Tablero eléctrico de interconexión para gestionar grúa ABUS**



Fuente: [Fotografía de Wilder Barahona]. (Cliente grúa Abus Contec Industrial 2019). [Colección particular. Ciudad de Guatemala].

#### **6.4. Software del prototipo Node-Red**

Node-Red se utilizó en este prototipo como herramienta para lograr el flujo de información de manera sencilla. NodeRed como base de trabajo permitió controlar que los datos viajen por medio de archivos JSON los cuales con la estructura key-value (llave-valor), permitieran enviar datos entre aplicaciones.

Node-RED se utilizó como herramienta de desarrollo basada en flujo para programación la cual permitió en el prototipo informático la comunicación en tiempo real.

Se requería diseñar la arquitectura para interconectar los tableros electrónicos de una grúa Abus a nivel lógico a un servicio en la nube la cual basado en estándares de la industria garantiza la transmisión de datos de forma segura, para ello el software Nod-Red fue de gran apoyo.

#### **6.5. Interconexión ensamblada para lograr la comunicación**

Como interpretación de la comunicación se consideró que la interconexión integra varios elementos vitales al utilizar un protocolo de comunicación en este proyecto de IoT se utilizó MQTT, el cual envió paquetes entre aplicaciones (API). Lo anterior permitió implementar la arquitectura de interconexión lo que automatiza la comunicación diferida que se tenía en la empresa.

La API que se utilizó fue la del LIS-SE que permite la lectura de señales eléctricas durante el proceso de ejecución de la grúa. La corriente alterna que se procesa en el prototipo es modulada por medio del indicador de carga balanceado.

La comunicación se hace efectiva por medio de un emisor y un receptor. En este caso el emisor es la Raspberry y el receptor la instancia en la nube de AWS que protege los datos en la nube y los despliega en un cuadro de mando para visualizar los datos.

## **6.6. Información publicada en AWS**

AWS provee soluciones de diversos tipos, así como otros proveedores para el despliegue de datos de IoT. En este caso la información generada por medio de la raspberry fue desplegada en un cuadro de mando que permite que los datos se comprendan haciendo preguntas en lenguaje natural, explorando a través de paneles interactivos, visuales los resultados para la toma de decisiones.

## **6.7. Gráficos de la información**

Con la información del LIS- SV como unidad de control se puede incorporar información adicional a los clientes que adquieren una grúa ABUS, por ejemplo, métricas de intensidad de voltaje. A veces en que se operado el equipo o las veces en que existe la sobrecarga.

- Software
  - Protocolos de red
  - Mosquitto Web Server
  - Node Red
  - MySql
  - Sistemas operativos Windows/Linux
  - Sistemas para un cuadro de mando
  - Grafana
  - Influxdb

- Hardware
  - PLC
  - Grúa Abus
  - Raspberry
  - LIS-SE
  - Servidor en la Nube IoT AWS

Como resultado del prototipo se obtuvo información para los clientes de las grúas Abus. Se les recomienda que la Grúa sea operada solamente por un operador capacitado para evitar el mal manejo y evitar accidentes.

Los gráficos mostrados representan la información en el modelo de datos, que a su vez representan la base de datos creada para el prototipo. Esta base de datos está basada en campos, de tablas, llaves, entre otros, utilizadas conforme al prototipo y los parámetros que la conforma.

El modelo datos para el prototipo muestra aspectos siguientes:

- Restricciones en la integridad: El conjunto de límites que debe cumplir la base de datos para mostrar la realidad del prototipo.
- Operaciones para la manipulación de los datos: operaciones de inserción, eliminación, modificación y consultar de los datos de la base.
- El modelo de datos que se cree al ensayar con otros prototipos permite describir elementos que intervienen en la deficiencia de la comunicación y la forma en que se relacionan estos parámetros entre sí.

## **6.8. Evaluando la eficiencia del prototipo**

Como parte de los objetivos específicos de esta investigación se evaluó la eficiencia de un prototipo mediante recursos informáticos, lo cual facilite la comunicación para el personal de mantenimientos y servicios y les provea de manera cuantitativa resultados para la toma de decisiones.

Para lo anterior se realizó un conjunto de pasos que muestran de manera visual y gratificante el proceso que se ha utilizado para determinar, de manera sistemática, el mérito, el valor que tuvo en la empresa la implementación del prototipo de comunicación.

En la empresa Contec Industrial S.A. este prototipo fue muy bien recibido, fue muy valioso debido a que no se contaba con una propuesta innovadora, que permitiera saber en tiempo instantáneo, lo que estaba sucediendo con los clientes, respecto a los equipos industriales que se les proporciono en algún momento específico.

La información que se recibe puede ser muy variada indican del departamento de ingeniería.

Inicialmente se consideraron datos discretos como lo puede ser el estado actual de un equipo: encendido o apagado. Se ha logrado adquirir información de los tableros eléctricos de la empresa. Esta información de encendido y apagado trascienda respecto a las tomas de decisiones en la empresa, para posibles cambios de proveedores eléctricos o hasta cambios del personal que utiliza el equipo industrial por el mal uso de este.

Al visualizar el personal de Contec Industrial S.A. el cuadro de mando con datos de AWS IoT, para el despliegue de datos de IoT; comentó que la información resultante permite que los datos se comprendan de manera gráfica haciendo preguntas en lenguaje natural, de esta manera se exploran paneles interactivos, así como visuales a los resultados para la toma de decisiones.

Una decisión puede ser, solicitar dar mantenimiento preventivo a los tableros eléctricos o a la misma maquina previo a un fallo.

Respecto al porcentaje en el proceso de mantenimiento y servicio para lograr obtener una respuesta ante un incidente estamos hablando de casi un SLA (services level agreement) 90 % de reducción del tiempo de respuesta versus a como se tenía anteriormente con mucha demora hasta un 50 % de respuesta.

Para lograr mejorar este porcentaje se debe integrar el prototipo en más equipos industriales.

Al tener más información de distintos equipos industriales tenemos reportería de comunicación en tiempo real en el proceso de mantenimiento y servicio. Lo cual minimiza las deficiencias en la comunicación grúas Abus y el sistema de control de mantenimiento y servicios

Evaluar la eficiencia de un prototipo mediante otros equipos industriales, como lo es transportadores de rodos, elevadores, entre otros, facilitará la comunicación para el personal de mantenimiento y servicio. Debido a que las grúas ABUS se instalan en decenas de equipos industriales esto permite resultados con más experiencia para la toma de decisiones.

Es importante crear un departamento de investigación dentro de la empresa para incorporar más prototipos a productos (Figura 27.), esto permitirá en la industria guatemalteca tener más conocimiento acerca de los componentes necesarios de interconexión para equipos industriales.

- Grúas Abus
- Transportadores Hytrol
- Elevadores Prorunner
- Envolvedora Helix
- Llenadoras Cloros

**Figura 27. Productos nuevos en los que se pueden incorporar prototipos**



Fuente: Contec Industrial S.A. (2022). *Categorías de productos*. Consultado el 15 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.contecindustrial.com>.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un prototipo informático con una arquitectura de interconexión con una Raspberry PI y un módulo indicador de cargas eléctricas proporcionada por ABUS LIS-SV. Esto facilitó el acceso a los tableros electrónicos de una grúa Abus, para luego enviar datos a un servicio en la nube lo que permitió minimizar las deficiencias y lograr la comunicación en tiempo real.
2. Se diseño una arquitectura de interconexión hacia los tableros electrónicos de una grúa Abus a internet, utilizando los protocolos MQTT y HTTP, permitiendo que la tecnología IoT (Internet de las Cosas) transmita de forma segura datos de señales eléctricas.
3. Se implementó una arquitectura de interconexión a través de una Raspberry que permite automatizar digitalmente la comunicación entre una grúa ABUS y el departamento de mantenimiento y servicios. A través de herramientas tecnológicas se logró con nuevos dispositivos tecnológicos integrar soluciones que permiten la automatización de la comunicación entre las grúas ABUS y el proveedor de mantenimiento y servicio. De esta manera se automatiza la comunicación.
4. Se evaluó la eficiencia del prototipo instalado en la grúa ABUS, que extrae información de los sistemas eléctricos en tiempo real y se mejoró a 90% de SLA la comunicación para el personal de mantenimiento y servicio con los clientes, lo cual provee de manera cuantitativa resultados para la toma de decisiones.



## **RECOMENDACIONES**

1. Invertir en una instancia en la nube dedicada, permitirá realizar más implementaciones, lo cual garantiza la transmisión de datos de forma segura y hacer más eficiente el proceso de comunicación.
2. Incorporar otros parámetros de medición al prototipo, permitirá a las empresas que tienen la unidad AbusControl para las grúas Abus, economizar en adquirir estos módulos. De la misma manera incorporar al prototipo el envío de notificaciones, cuando se traspase el umbral definido en tiempo real
3. Implementar una arquitectura de interconexión con modelos de microcontroladores más modernos al Raspberry, respecto a recursos de hardware y software, mejora el rendimiento de la interconexión.
4. Crear un departamento de investigación dentro de la empresa para productos nuevos, análisis de métricas. Lo cual permitirá, evaluar la eficiencia de más prototipos para posibles cambios o incrementar el tamaño de los equipos industriales. Esto mejorará mucho más la comunicación para el personal de mantenimiento y servicio.



## REFERENCIAS

1. Acharjya, D. y Geetha, M. (2017). *Internet of Things: Novel Advances and Envisioned Applications*. Reino Unido: Springer.
2. Allan. A. (12 de mayo de 2019). Meet the New Raspberry Pi 4, Model B. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.hackster.io/news/meet-the-new-raspberry-pi-4-model-b-9b4698c284>.
3. Augarten, S. (1983). *State of the Art: A Photographic History of the Integrated Circuit*. New York: Ticknor & Fields.
4. AVEVA. (2018). *Global leader in engineering & industrial software*. Brasil: Autor.
5. AWS. (5 de octubre de 2020). AWS IoT Device SDK v2 para Python. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://github.com/aws/aws-iot-device-sdk-python-v2/blob/main/samples/pubsub.py>.
6. Banzi, M. (19 marzo de 2011). Fighting for Arduino. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://makezine.com/article/technology/arduino/massimo-banzi-fighting-for-arduino/>.
7. Banzi, M. (19 marzo de 2015). Fighting for Arduino. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://makezine.com>.

8. BIC SI. (2002). *Network Design Basics for Cabling Professionals*. Reino Unido: McGrawHill Professional.
9. Biggs, J. (26 de julio de 2017) CEO controversy mars Arduino's open future. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://techcrunch.com/2017/07/26/ceo-controversy-mars-arduino-open-future/>
10. Bush, S. (25 de mayo de 2011). Dongle computer lets kids discover programming on a TV. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.electronicsweekly.com/market-sectors/embedded-systems/dongle-computer-lets-kids-discover-programming-on-a-2011-05/>.
11. Castells, M. (1997). *La era de la información. Economía, sociedad y cultura (Vol I: La sociedad red)*. Madrid: Alianza Editorial.
12. Cázares-Ayala, G., Sallas-Armenta, J., Castillo-Meza, H., Rodriguez-Beltran, A., Lugo-Zavala, S. y Ramirez-Montenegro, M. (enero de 2014). Sistema de control inalámbrico: diseño, construcción y aplicación en caldera industrial. *Ra Ximhai*, 10(3), 39-53. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111004>
13. Centers for medicare & medicaid services. (2008). *Selection a development approach*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de [https://www.academia.edu/13239574/SELECTING\\_A\\_DEVELOPMENT\\_APPROACH#:~:text=A%20system%20development%20m](https://www.academia.edu/13239574/SELECTING_A_DEVELOPMENT_APPROACH#:~:text=A%20system%20development%20m)

- ethodology%20refers,own%20recognized%20strengths%20and%20weaknesses.
14. Clements, A. (2008). *Principles of Computer Hardware*. Reino Unido: Oxford University Press
  15. Dunn, A. (12 de junio de 2009). The father of invention: Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.automationmag.com/855-the-father-of-invention-dick-morley-looks-back-on-the-40th-anniversary-of-the-plc/#:~:text=Features%20Factory%20Automation-The%20father%20of%20invention%3A%20Dick%20Morley%20looks%20back%20on,40th%20anniversary%20of%20the%20PLC&text=Manufacturing%20was%20changed%20forever%20because,a%20atomic%20bombs%20and%20communications%20systems>.
  16. Fielding, R. (15 de mayo de 2008). Conference: Chief Scientist at Day Software and VP of the Apache HTTP server project. *O'Reilly Open Source Convention*. Recuperado de <https://conferences.oreilly.com>
  17. García, M. (2018). *Metodologías para el diseño de sistemas de control distribuido bajo el estándar IEC 61499 aplicados al control de procesos* (Tesis de doctorado). Universidad del País Vasco, España. Recuperado de [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26649/TESIS\\_GARCIA\\_SANCHEZ\\_MARCELO%20VLADIMIR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26649/TESIS_GARCIA_SANCHEZ_MARCELO%20VLADIMIR.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

18. Ibáñez, J., Chagolla, H., Méndez, A., Rangel, D. y Barrera, A. (octubre de 2014). Diseño e implementación de una red de comunicaciones industriales tipo SCADA. *Pistas Educativas*, 108, 139-164. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/229036755.pdf>.
19. Ingeniería Mecafenix. (25 de abril de 2017). Arduino ¿Que es, ¿cómo funciona? y sus partes. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.ingmecafenix.com/electronica/arduino/>.
20. Kimmig, M., Monperrus, M. y Mira, M. (noviembre de 2011). Querying source code with natural language. *26th IEEE/ACM International Conference On Automated Software Engineering*, 376-379. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00640496/document>
21. Kushner, D. (26 de octubre de 2011). The Making of Arduino. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://spectrum.ieee.org/the-making-of-arduino>.
22. La Red, D., Acosta, J., Mata, L., Bachmann, N. y Vallejos, O. (junio, 2012). Aprendizaje combinado, aprendizaje electrónico centrado en el alumno y nuevas tecnologías. *VII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 1-13. Recuperado de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/19306/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/19306/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
23. Lerdorf, R. (26 abril de 2007). PHP on Hormones. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://itc.conversationsnetwork.org/shows/detail3298.html>

24. Lith, A. y Mattson, J. (2010). *Investigating storage solutions for large data: A comparison of well performing and scalable data storage solutions for real time extraction and batch insertion of data*. Suecia: Chalmers University of Technology. Recuperado de <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/123839.pdf>.
25. Llanos, D. (2017). *Fundamentos de informática y programación en C*. España: Paraninfo.
26. Ojeda, L. y Cabrera, J. (julio de 2020). Análisis de las estrategias aplicadas en el desarrollo de sistemas domóticos de seguridad. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 342-363. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7539682>.
27. Pardo, F. (2015). *Montaje y verificación de componentes*. España: Elearning S.L.
28. Parhami, B. (2007). *ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS. De los microprocesadores a las supercomputadoras*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
29. Parra, L. (2012). *Microprocesadores*. México: RED TERCER MILENIO S.C.
30. Rodríguez-Aragón, L. (2013). *Tema 4: Internet y Teleinformática. Topologías de Red*. España: Universidad Rey Juan Carlos.

31. Rojas. D. (14 de enero de 2009). Arquitectura de microcontroladores. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://davidrojasticsplc.wordpress.com/>.
32. Roser. C. (2015). *Transformando e innovando la industria*. Consultado el 22 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://www.allaboutlean.com/industry-4-0/industry-4-0-2/>.
33. Ross J., Weill, P. y Robertson D. (2006). *Enterprise Architecture As Strategy: Creating a Foundation for Business Execution*. Boston: Harvard Business School Press.
34. Rowland, C., Goodman, E., Charlier, M., Light, A. y Lui, A. (2015). *Designing Connected Products: UX for the Consumer Internet of Things*. Estados Unidos: O'Reilly Media.
35. Schneider Electric. (2022). *M241 Logic Controller - Guía de programación*. Francia: Autor. Recuperado de [https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/es/m241prg/index.htm#t=m241prg%2Fm241prg\\_id\\_disclaimer\\_tpc.html](https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/es/m241prg/index.htm#t=m241prg%2Fm241prg_id_disclaimer_tpc.html).
36. Scott, A. (2012). *An Introduction to Enterprise Architecture*. Indiana: AuthorHouse.
37. Stallings, W. (2009). *Computer Organization and architecture Designing for performance*. Reino Unido: Prentice Hall.
38. Stallings, W. (2013). The Origins of OSI. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://williamstallings.com/Extras/OSI.html>.

39. Stanford-Clark, A. y Linh, H. (2013). *MQTT For Sensor Networks (MQTT-SN) Protocol Specification Version 1.2*. California: IBM Corporation.
40. Stephen Marley (10 de diciembre 2003). Architectural Framework. [Mensaje de blog]. Recuperado de: <http://aiwg.gsfc.nasa.gov> y de <http://webarchive.org>
41. The Open Group. (2013). *The Open Group Architecture Framework*. San Francisco: Autor.
42. UNED. (2011). *Controladores Industriales Inteligentes*. España: Autor. Recuperado de [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE6\\_2\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_2_1.pdf).
43. Warwick. T. (24 de septiembre de 2022). Asignaciones de patillas de Raspberry Pi 2 & 3. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/iot-core/learn-about-hardware/pinmappings/pinmappingsrpi>.

