



Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y gestión IoT de los puentes grúa de la empresa SEDEMI S.C.C usando ZigBee y Simatic IoT2040

Coro Maisincho, Renny David

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control

Ing. Triviño Cepeda, Roberto Daniel, MSc.

26 de septiembre de 2022



Escrito Trabajo Titulacion Renny Coro.pdf

Scanned on: 21:14 October 7, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	278
Words with Minor Changes	46
Paraphrased Words	151
Omitted Words	0



ROBERTO DANIEL TRIVINO CEPEDA



Website | Education | Businesses



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y gestión IoT de los puentes grúa de la empresa SEDEMI S.C.C usando ZigBee y Simatic IoT2040"** fue realizado por el señor **Coro Maisincho, Renny David**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 03 de octubre de 2022

Firma:



Firmado digitalmente por:
**ROBERTO DANIEL
TRIVINO CEPEDA**

Ing. Triviño Cepeda, Roberto Daniel, MSc

C. C.: 171219752-2



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Coro Maisincho, Renny David**, con cédula de ciudadanía n° 172673364-3, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y gestión IoT de los puentes grúa de la empresa SEDEMI S.C.C usando ZigBee y Simatic IoT2040** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 03 de octubre de 2022

Firma

Coro Maisincho, Renny David

C.C.: 172673364-3



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Autorización de Publicación

Yo **Coro Maisincho, Renny David**, con cédula de ciudadanía n° 172673364-3, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y gestión IoT de los puentes grúa de la empresa SEDEMI S.C.C usando ZigBee y Simatic IoT2040** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 03 de octubre de 2022

Firma

Coro Maisincho, Renny David

C.C.: 172673364-3

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación decido a mis padres Cesar y Rosa, quienes con su amor, trabajo y palabras de aliento me han apoyado de manera incondicional en cada una de las etapas de mi formación universitaria y me enseñan todos los días a ser perseverante para cumplir mis metas.

A mis abuelos paternos Juan y Rosa, quienes con mucho cariño me han criado, motivado y enseñado el valor del trabajo duro. A mis abuelos maternos Gabriel y Claudia, quienes a pesar de la distancia siempre han estado pendientes de mí y me han guiado para enfrentar las dificultades que se me han presentado.

Por último, pero no menos importante, a mis padrinos Egidio y Gladys, quienes siempre me han considerado como un hijo para ellos y sus consejos me han ayudado a ser tenaz por las cosas que aspiro lograr.

Renny David Coro Maisincho

Agradecimientos

A Dios por darme salud y vida, brindarme el conocimiento y cuidar de mi familia en todo momento.

A mis padres por su amor incondicional, por instruirme todos los días para ser una buena persona y un buen profesional.

A mis abuelitos, por compartirme sus experiencias y conocimientos adquiridos en el transcurso de su vida laboral.

A mis primos, por todos aquellos momentos compartidos y porque siempre me aconsejaron y ayudaron para cumplir con mis objetivos en la escuela, el colegio y la universidad.

A toda mi familia, por el apoyo incondicional porque siempre me motivaron, aconsejaron y acompañaron para superar las situaciones que no era capaz de solucionar solo.

A mis amigos de la universidad: Hugo Cisneros, Jonathan Acosta y Carlos Álvarez, por compartirme sus conocimientos, experiencias y sobre todo su amistad.

A mi tutor el Ing. Daniel Triviño, MSc, por sus enseñanzas dentro de mi proceso universitario y consejos y recomendaciones para el desarrollo de mi proyecto de titulación.

A todo el personal del Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa SEDEMI, por darme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos y habilidades para mi desarrollo profesional.

Renny David Coro Maisincho

Índice de Contenidos

Certificado del tutor	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de Contenidos.....	8
Índice de Tablas	15
Índice de Figuras.....	17
Resumen.....	21
Abstract	22
Capítulo I. Introducción.....	23
Antecedentes.....	23
Justificación e Importancia	25
Alcance del Proyecto	27
Objetivos.....	31
Objetivo general	31
Objetivos específicos.....	31
Descripción del Proyecto	32
Capítulo II. Estado del arte	33
Puentes grúas.....	33

Elementos de un puente grúa.....	34
Clasificación de los puentes grúa	36
Normativas de control para los puentes grúas.....	38
Equipos de monitorización de puentes grúa	42
Internet de las Cosas e Industria 4.0.....	46
Concepto Internet de las Cosas	46
Características del IoT.....	47
Elementos técnicos del IoT.....	48
Estándar IoT.....	48
Industria 4.0	49
Características de la Industria 4.0	50
Pilares de la Industria 4.0	50
Redes Industriales	52
Medios de transmisión.....	52
Arquitectura de comunicación inalámbrica	54
Redes de comunicación inalámbrica	55
Red de área personal (WPAN)	55
Bluetooth.....	55
ZigBee.....	56
Red de área local (WLAN)	56
IEEE 802.11b.....	56

	10
IEEE 802.11a.....	56
IEEE 802.11g.....	56
IEEE 802.11n.....	56
IEEE 802.11ac.....	57
IEEE 802.11ax.....	57
Red de área metropolitana (WMAN).....	57
WiMAX.....	57
Red de área amplia (WWAN).....	57
LoraWAN.....	57
ZigBee.....	58
Frecuencia.....	58
Velocidad.....	59
Potencia y sensibilidad.....	59
Norma industrial.....	60
Aplicaciones industriales.....	60
Servicio Web.....	61
Tipos de servicios web.....	62
Servicio Web RESTful.....	62
Servicio Web SOAP.....	62
Arquitectura Cliente-Servidor.....	63
Backend.....	64

	11
Frontend	64
Base de Datos.....	64
Base de datos estructurada	64
Base de datos no estructurada	66
Chatbots.....	67
Capítulo III. Diseño de Hardware y Software	69
Caracterización del sistema de control.....	69
Requerimientos del sistema	70
Requerimiento de Hardware.....	71
Requerimientos de hardware funcionales	71
Requerimientos de hardware no funcionales	71
Requerimiento de software.....	71
Requerimientos de software funcionales.....	72
Requerimientos de software no funcionales.....	72
Requerimiento de red	72
Diseño de hardware	72
Módulo electrónico	72
Relés de entrada y salida.....	73
Circuito de acondicionamiento	76
Microcontrolador	77
Tarjeta Nano IO Shield-XBee.....	78

	12
Transmisor inalámbrico.....	79
XBee S2C	79
Fuente de alimentación DC.....	81
Protección de fuente 12 VDC.....	82
Sensor Ultrasónico.....	82
Módulo coordinador.....	83
Pasarela Inteligente	84
SIMATIC IOT2040.....	84
Distribución física	86
Módulo electrónico.....	86
Diseño de la red.....	88
Diseño de red inalámbrica	88
Red de área local (LAN)	88
Topología de red	89
Diseño de software	90
Diseño de lógico del microcontrolador	90
Flujo de operación	90
Diseño de flujo de procesamiento de datos	93
Diseño de base de datos.....	95
Diseño conceptual	96
Diseño lógico	99

Diseño físico	101
Diseño de página web	102
Arquitectura de pantallas	102
Diseño de chatbot	108
Capítulo IV. Implementación y pruebas	112
Implementación del Hardware.....	112
Módulo electrónico	112
Circuito de acondicionamiento.....	113
Configuración de dispositivo de comunicación inalámbrica.....	114
Configuración de la Simatic IoT2040.....	115
Programación de la Simatic IoT2040	118
Implementación de Base de datos	122
Creación de base de datos.....	123
Implementación de aplicación web	124
Pruebas de funcionamiento	131
Funcionamiento del módulo electrónico.....	131
Envío y recepción de datos	133
Visualización en Ubidots	136
Visualización en aplicación web	137
Administración de usuarios.....	138
Notificación por Chatbot	139

Monitoreo.....	139
Tiempo máximo de funcionamiento de los motores	140
Colisión entre puentes grúa	140
Planificación de mantenimiento.....	141
Funcionamiento integral del sistema implementado	141
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones	147
Conclusiones	147
Recomendaciones	149
Bibliografía	151
Apéndices	161

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Parámetros de monitoreo por puente grúa</i>	27
Tabla 2 <i>Clasificación del puente grúa según su diseño</i>	36
Tabla 3 <i>Clasificación del puente grúa según su capacidad de servicio</i>	37
Tabla 4 <i>Normativas Europeas para el diseño de puentes grúas</i>	40
Tabla 5 <i>Normativas americanas para el diseño de puentes grúas</i>	40
Tabla 6 <i>Pilares tecnológicos de la Industria 4.0</i>	51
Tabla 7 <i>Medios de transmisión</i>	53
Tabla 8 <i>Protocolos industriales</i>	53
Tabla 9 <i>Arquitectura de comunicación inalámbricas</i>	54
Tabla 10 <i>Frecuencia de ZigBee</i>	59
Tabla 11 <i>Velocidad de transmisión de ZigBee</i>	59
Tabla 12 <i>Propiedades de IEEE 802.15.4</i>	60
Tabla 13 <i>Tipos de bases de datos NoSQL</i>	66
Tabla 14 <i>Características del relé tipo bornera 788-515</i>	74
Tabla 15 <i>Características del módulo relé 2CH 5 VDC</i>	75
Tabla 16 <i>Características de la placa Arduino Nano</i>	77
Tabla 17 <i>Características de la tarjeta Nano IO Shield-XBee</i>	78
Tabla 18 <i>Especificaciones módulo XBee S2C</i>	80
Tabla 19 <i>Características de la fuente de alimentación DC</i>	81
Tabla 20 <i>Características del sensor ultrasónico HC-SR04</i>	83
Tabla 21 <i>Características SIMATIC IoT2040</i>	84
Tabla 22 <i>Costo aproximado del proyecto</i>	86
Tabla 23 <i>Configuración de red inalámbrica</i>	88
Tabla 24 <i>Direccionamiento IP de equipos</i>	89
Tabla 25 <i>Variables del proceso</i>	90

Tabla 26 <i>Variables de tiempo</i>	94
Tabla 27 <i>Entidad puente actual</i>	96
Tabla 28 <i>Entidad puente grúa 1</i>	97
Tabla 29 <i>Entidad puente grúa 2</i>	97
Tabla 30 <i>Entidad mantenimiento</i>	97
Tabla 31 <i>Entidad reinicio</i>	98
Tabla 32 <i>Entidad usuario</i>	98
Tabla 33 <i>Entidad registro reinicio</i>	99
Tabla 34 <i>Entidad registro colisión</i>	99
Tabla 35 <i>Accesibilidad de pantallas según el tipo de usuario</i>	104
Tabla 36 <i>Corriente de relés de entrada</i>	131
Tabla 37 <i>Tiempos de funcionamiento puente grúa 1</i>	143
Tabla 38 <i>Tiempos de funcionamiento puente grúa 2</i>	144
Tabla 39 <i>Error porcentual del tiempo de funcionamiento puente grúa 1</i>	145
Tabla 40 <i>Error porcentual del tiempo de funcionamiento puente grúa 2</i>	145

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Esquema general del proyecto</i>	28
Figura 2 <i>Diagrama de bloques del módulo electrónico</i>	30
Figura 3 <i>Movimientos característicos de un puente grúa</i>	33
Figura 4 <i>Elementos básicos de un puente grúa</i>	35
Figura 5 <i>Horómetro tipo riel din</i>	43
Figura 6 <i>Contador de tiempo con Modbus RTU</i>	44
Figura 7 <i>Monitoreo IoT mediante CoreBox</i>	44
Figura 8 <i>Monitoreo remoto con TRUCONNECT</i>	45
Figura 9 <i>Control y monitoreo Crane Intelligence SWF</i>	46
Figura 10 <i>Arquitectura de referencia para IoT</i>	49
Figura 11 <i>Servicio Web RESTful</i>	62
Figura 12 <i>Servicio Web SOAP</i>	63
Figura 13 <i>Modelo Entidad/Relación</i>	65
Figura 14 <i>Chatbot</i>	68
Figura 15 <i>Diagrama de bloques del módulo electrónico</i>	73
Figura 16 <i>Relé tipo bornera con bobina de 115 VAC</i>	74
Figura 17 <i>Módulo Relé 2CH</i>	75
Figura 18 <i>Circuito Pull-Up</i>	76
Figura 19 <i>Arduino Nano</i>	78
Figura 20 <i>Tarjeta expansión Nano IO Shield-XBee</i>	79
Figura 21 <i>Módulo XBee S2C</i>	80
Figura 22 <i>Fuente de alimentación 110-220 VAC a 12 VDC 5A</i>	81
Figura 23 <i>Termomagnético 4A</i>	82
Figura 24 <i>Diagrama de bloques del módulo coordinador</i>	84
Figura 25 <i>SIMATIC IOT2040</i>	85

Figura 26 <i>Diagrama de bloques módulo electrónico</i>	87
Figura 27 <i>Circuito de conexión de módulo electrónico</i>	87
Figura 28 <i>Topología de red</i>	89
Figura 29 <i>Diagrama de flujo del microcontrolador</i>	91
Figura 30 <i>Diagrama de bloques del flujo de procesamiento de datos</i>	93
Figura 31 <i>Diagrama entidad-relación</i>	100
Figura 32 <i>Estructura de base de datos</i>	102
Figura 33 <i>Arquitectura de pantallas</i>	103
Figura 34 <i>Distribución de pantallas</i>	103
Figura 35 <i>Pantalla de Inicio</i>	104
Figura 36 <i>Pantalla puente grúa 1 y puente grúa 2</i>	105
Figura 37 <i>Pantalla general</i>	106
Figura 38 <i>Pantalla puente grúa 1 y 2</i>	106
Figura 39 <i>Pantalla registro de contadores y colisiones</i>	107
Figura 40 <i>Pantalla de mantenimiento</i>	107
Figura 41 <i>Pantalla usuarios</i>	108
Figura 42 <i>Pantalla ayuda</i>	108
Figura 43 <i>Diagrama general del chatbot</i>	109
Figura 44 <i>Flujo del chatbot</i>	110
Figura 45 <i>Implementación módulo electrónico</i>	112
Figura 46 <i>Circuito de acondicionamiento</i>	113
Figura 47 <i>Diagrama de tecnologías para configuración y programación</i>	113
Figura 48 <i>Configuración de módulo XBee como elemento final</i>	114
Figura 49 <i>Configuración de dirección IP</i>	115
Figura 50 <i>Habilitación de auto inicio de Node-RED y Mosquitto Broker</i>	116
Figura 51 <i>Acceso a registros de la Simatic IoT2040</i>	117

Figura 52 <i>Configuración de archivos interfaces e interfaces.bak</i>	118
Figura 53 <i>Configuración del archivo resolv.conf</i>	118
Figura 54 <i>Pestaña Input Data</i>	120
Figura 55 <i>Pestaña Puente 1</i>	120
Figura 56 <i>Pestaña Chatbot</i>	121
Figura 57 <i>Pestaña servidor local</i>	122
Figura 58 <i>Pestaña MySQL P1</i>	122
Figura 59 <i>Paquete XAMPP</i>	123
Figura 60 <i>Interfaz de programación de base de datos</i>	123
Figura 61 <i>Pantalla de Login</i>	124
Figura 62 <i>Acceso como usuario administrador</i>	125
Figura 63 <i>Acceso como usuario visualizador</i>	125
Figura 64 <i>Monitoreo de puente grúa 1 y puente grúa 2</i>	126
Figura 65 <i>Pantalla general</i>	127
Figura 66 <i>Históricos por puente grúa</i>	128
Figura 67 <i>Pantalla de registro de colisiones y reinicio de contadores</i>	128
Figura 68 <i>Pantalla mantenimiento</i>	129
Figura 69 <i>Pantalla usuarios</i>	130
Figura 70 <i>Pantalla ayuda</i>	130
Figura 71 <i>Medición de corriente en relés de entrada</i>	132
Figura 72 <i>Corriente por pin de entrada</i>	133
Figura 73 <i>Recepción de datos con el software XCTU</i>	134
Figura 74 <i>Prueba de rango de radio</i>	135
Figura 75 <i>Tablero Puente Grúa 2 en plataforma IoT Ubidots</i>	136
Figura 76 <i>Pantalla Puente Grúa 2 aplicación web</i>	137
Figura 77 <i>Históricos de tiempo de funcionamiento total</i>	138

Figura 78 <i>Registro de usuarios</i>	138
Figura 79 <i>Flujo de funcionamiento de chatbot</i>	139
Figura 80 <i>Monitoreo por chatbot</i>	140
Figura 81 <i>Notificación de tiempo máximo de funcionamiento de los motores</i>	140
Figura 82 <i>Notificación de riesgo de colisión</i>	141
Figura 83 <i>Notificación de mantenimiento</i>	141
Figura 84 <i>Montaje de módulos electrónicos</i>	142
Figura 85 <i>Reinicio de contadores</i>	142
Figura 86 <i>Búsqueda de información de la base de datos</i>	143

Resumen

En el presente trabajo se diseña e implementa un sistema de monitoreo y gestión IoT, que permita la visualización de información acerca del uso y funcionamiento de los puentes grúa de la empresa SEDEMI S.C.C. El sistema implementado consta de dos módulos electrónicos y un módulo coordinador que se comunican de forma inalámbrica mediante el protocolo ZigBee. El módulo electrónico contiene elementos que permiten la adquisición de datos de tablero de control principal del puente grúa, y están implementados sobre la viga principal de los puentes grúa de los departamentos de Abastecimiento y Armado Y Soldadura. El módulo coordinador integra una pasarela inteligente Simatic IoT2040 que permite la adquisición y procesamiento de datos para obtener la información del funcionamiento de los puentes grúa solicitada por el departamento de Mantenimiento y está ubicado dentro de la cabina de un operador de puentes grúa. Se accede a la información de los puentes grúa mediante una aplicación web desarrollada con los lenguajes de programación HTML, PHP y JavaScript, donde se puede monitorear y visualizar históricos del funcionamiento de los puentes grúa, así como planificar actividades de mantenimiento. La información de los puentes grúa también puede ser accedida mediante la plataforma Ubidots y por medio de un chatbot cuando se recibe una solicitud de información mediante la red social de Telegram. A partir de las pruebas de funcionamiento se determinó que el sistema tiene un bajo consumo energético; mientras que los resultados de las pruebas de transmisión, visualización y notificación, indican que la información presentada al usuario es fiable y continua.

Palabras clave: monitoreo y gestión iot, puente grúa, chatbot.

Abstract

In the present work, an IoT monitoring and management system is designed and implemented, which allows the visualization of information about the use and operation of the bridge cranes of the SEDEMI S.C.C. company. The implemented system consists of two electronic modules and a coordinator module that communicate wirelessly using the ZigBee protocol. The electronic module contains elements that allow the acquisition of data from the main control panel of the bridge crane, and are implemented on the main beam of the bridge cranes of the Abastecimiento and Armado Y Soldadura departments. The coordinator module integrates an IoT2040 smart gateway that allows the acquisition and processing of data to obtain information on the operation of the overhead cranes requested by the Maintenance department and it is located inside the cabin of an overhead crane operator. The information on the overhead cranes is accessed through a web application developed with the programming languages HTML, PHP and JavaScript, where it is possible to monitor and view the history of the operation of the overhead cranes, as well as plan maintenance activities. The information on the overhead cranes can also be accessed through the Ubidots platform and through a chatbot when it receives a request for information through the Telegram social network. The performance tests, found that the system has low energy consumption; while the results from the transmission, monitoring and notification tests showed that the information presented to the user is reliable and continuous.

Key words: lot monitoring and management, bridge crane, chatbot.

Capítulo I. Introducción

Antecedentes

La empresa SEDEMI S.C.C. localizada en Sangolquí se enfoca principalmente al diseño y fabricación de estructuras metálicas para las áreas de Hidrocarburos, Telecomunicaciones, Electricidad y Construcción Civil en general (SEDEMI, 2020). Actualmente, diseña y fabrica estructuras metálicas de gran tamaño y volumen que requieren manipulación y traslado de una cantidad elevada de material metálico dentro de las áreas involucradas en el proceso de producción de estructuras fijas (Abastecimiento, Armado Y Soldadura, Acabado Superficial y Pintura), donde los puentes grúas se han vuelto indispensables para reducir el esfuerzo físico, disminuir el tiempo empleado para la movilidad de las estructuras y facilitar la manipulación del material.

Los puentes grúa, debido a su constante funcionamiento, se ven expuestos al desgaste, tanto de la parte mecánica (estructura fija y móvil), como de la parte eléctrica y electrónica (sensores, actuadores, controladores y equipos de comunicación) que permiten brindar movilidad a los ejes con su sistema de control. La utilización de este tipo de máquinas y otras similares siempre generan un riesgo para la parte operativa y estructural de la empresa (Sánchez, 2017). Por lo tanto, es imprescindible la capacitación del personal para su utilización, planos de montaje estructurales, planos eléctricos y un manual de usuario identificando todas las partes fijas y móviles que lo conforman. Además, la norma UNE 58-105-76, indica que la entidad proveedora de la máquina debe proporcionar al cliente un plan de mantenimiento que contenga todas las instrucciones para efectuar el mantenimiento preventivo.

En la empresa, el área de Mantenimiento se encarga de ejecutar acciones para la reparación y conservación de todas las máquinas, incluido los puentes grúa. Como

indica Zelada (2017), para todos los dispositivos, equipos y máquinas el mantenimiento es un elemento primordial para su desempeño. Sin embargo, el área encargada no dispone de un sistema que registre automáticamente las horas de funcionamiento de los puentes grúa, de tal manera que no se puede gestionar las acciones de mantenimiento, controlar el tiempo de uso, dar seguimiento a las fallas eléctricas o mecánicas e históricos. La falta de ese control genera intermitencia en el uso de los puentes grúas, paros no planificados en la producción que impactan los procesos de fabricación, aumentan el riesgo de colisión entre grúas, y obstaculizan la circulación del personal y material entre las diferentes áreas de fabricación.

Dentro de la planta principal, de acuerdo con el personal encargado del mantenimiento, en el periodo 2020 - 2021, los costos de mantenimiento para los puentes grúa superaron los \$50.000,00 dólares y cerca de los \$30.000,00 dólares fueron invertidos en la adquisición de repuestos eléctricos y mecánicos. La mayoría de los equipos y dispositivos fueron reemplazados totalmente. Entre el mes de enero del 2021 y febrero del 2022 se produjeron veintitrés (23) detenciones no planificadas en los puentes grúa de las áreas de Abastecimiento y Armado Y Soldadura, donde cinco (5) detenciones fueron por averías en los motores eléctricos empleados en la traslación, ocho (8) detenciones por fallos en el motor eléctrico principal para el izaje y diez (10) detenciones por desgaste mecánicos de las guías que encarrilan el puente para el movimiento de traslación y troyellig. De igual manera se registraron tres (3) colisiones, entre dos puentes grúa que comparten el mismo sistema de rieles para realizar el movimiento de traslación del conjunto carro-polipasto. El choque producido afectó principalmente a las ruedas motrices e inducidas de los cabezales que se encargan de transmitir el movimiento de los motores para generar el desplazamiento. Según Galarza (2012), el choque de los topes del cabezal puede producir daños graves en la estructura

metálica, si la velocidad del movimiento de traslación supera los 0.7 m/s. Por lo tanto, se indica que la mayor parte de tareas de mantenimiento son acciones correctivas después de producirse alguna falla y esta es notificada mediante requerimiento implementado por el área de mantenimiento.

Así también, el departamento de Mantenimiento no dispone de un sistema de notificación directo del estado de los puentes grúa, por lo que el personal individual o colectivamente debe acercarse directamente a los puentes grúas de las diferentes áreas para verificar si este se encuentra en funcionamiento o su vez realizar una consulta al coordinador del grupo de operadores de las áreas de abastecimiento y Armado Y Soldadura mediante la aplicación Microsoft Teams o correo electrónico.

La aplicación de soluciones de monitoreo y gestión mejoran significativamente el desempeño de las empresas. Por ejemplo, según Orrego (2018), en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bellos en Medellín, la implementación de sistemas de gestión para el mantenimiento de puentes grúa permitió disminuir las fallas, mejorar las condiciones de operación para los trabajadores y potencializar el control del inventario de repuestos.

Justificación e Importancia

Hoy en día, el monitoreo de máquinas y equipos industriales en tiempo real para las pequeñas y grandes empresas se ha vuelto primordial, debido a que dicha estrategia permite un mayor control del proceso productivo, planificación de mantenimiento y optimización de recursos.

En planta principal de SEDEMI S.C.C. se realizan trabajos de diseño y fabricación de estructuras metálicas para el sector metalmecánico, y por medio de máquinas como los puentes grúa realizan la manipulación y traslado del material

metálico entre las diferentes áreas del proceso de producción. Por ello, el monitoreo del tiempo de funcionamiento de los puentes grúa en base al uso en horas de funcionamiento de los motores eléctricos que generan el movimiento de cada uno de los ejes, permite planificar y programar el mantenimiento, así como notificar al área responsable. De esta forma los datos de tiempo acerca del último mantenimiento son más exactos, al no tomar en consideración los periodos correspondientes a las jornadas de trabajo y aumenta la correlación entre la vida útil que tienen las máquinas y los equipos eléctricos y electrónicos del panel de control que se encuentra montado en la parte superior del carro del puente grúa.

Al disponer de una mayor planificación para las actividades de mantenimiento se consigue coordinar la adquisición de repuestos eléctricos y mecánicos de los puentes grúa, principalmente cuando se requiere realizar la importación de los controladores y equipos para el sistema de control y el sistema de telemando. La importación puede tardar de tres a cuatro semanas después de realizar el pedido a la empresa proveedora de los puentes grúa y los costos aumentan conforme al peso y el tiempo de entrega de los equipos.

Constantemente el personal de mantenimiento se moviliza dentro de las áreas de producción de la planta principal para la respectiva verificación de equipos y máquinas, por ende, un sistema de notificación acerca de los puentes grúa permiten tener mayor acceso a la información del uso y funcionamiento de los puentes grúas, lo que mejora la comunicación para la planificación de actividades.

En el mercado se pueden encontrar equipos de monitoreo remoto para grúas que brindan información del tiempo de su funcionamiento. Sin embargo, su precio resulta ser alto. Ante el costo que involucra la adquisición de equipos sofisticados para el monitoreo de puentes grúa y la migración del sistema del control actual para la

empresa es de suma importancia desarrollar un sistema que permita el monitoreo y almacenamiento de datos en tiempo real acerca del funcionamiento de los puentes grúa con un costo más bajo, de tal forma que contribuya al desarrollo y programación de planes de mantenimiento preventivo. La empresa SEDEMI S.C.C. busca potencializar las acciones de mantenimiento, de tal manera que los paros no planificados generados por fallas de las máquinas sean reducidos y se disminuya la necesidad de frenar el proceso de producción para la ejecución del mantenimiento correctivo (Tencio, 2018). Además, en la planta principal de la empresa varios de los puentes grúa comparten el mismo sistema de rieles, por lo tanto, es importante el monitoreo de la proximidad entre los conjuntos carro-polipasto. De tal manera que reduzca la posibilidad de colisión, salvaguardando la integridad de los elementos mecánicos y eléctricos que proporcionan el movimiento.

Alcance del Proyecto

Dentro de la planta principal de la empresa SEDEMI S.C.C. ubicada en Sangolquí, se desarrolló un sistema de gestión y monitoreo del funcionamiento de los puentes grúa, permitiendo monitorear mediante una aplicación web los parámetros solicitados por el personal de mantenimiento, especificados en la Tabla 1.

Tabla 1

Parámetros de monitoreo por puente grúa

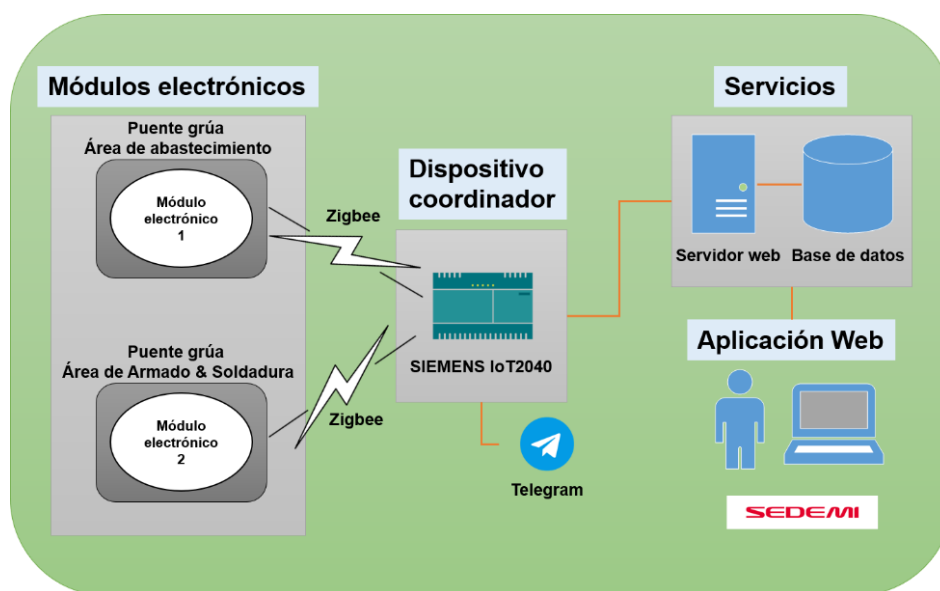
Parámetro	Descripción
Estado del puente grúa	Encendido/Apagado
Velocidad de movimiento	Lento/Rápido
Dirección del movimiento	Traslación/Troyelling/Izaje
Estado de motor 1	Puente Atrás/Puente Adelante
Estado de motor 2	Puente Izquierda/Puente Derecha

Parámetro	Descripción
Estado de motor 3	Subir/Bajar
Tiempo de funcionamiento parcial	Motor 1/Motor 2/Motor 3
Tiempo de funcionamiento global	Tiempo uso del puente

Así también se gestiona el funcionamiento de los puentes grúas mediante el registro de actividades de mantenimiento, históricos del tiempo de funcionamiento de cada motor, históricos de tiempos de funcionamiento general, notificación al personal de mantenimiento sobre el uso de los puentes grúa y notificación directa al analista eléctrico cuando el puente alcanza un tiempo de funcionamiento específico.

Figura 1

Esquema general del proyecto



En la Figura 1 se muestra un esquema general del proyecto implementado, conformado por módulos electrónicos de bajo costo instalados de forma paralela a los tableros del sistema de control actual de los puentes grúa, un dispositivo coordinador

que recibe información mediante comunicación inalámbrica y un terminal para el almacenamiento y visualización de información.

El módulo electrónico de cada puente grúa permite adquirir datos del estado del puente grúa, velocidad de movimiento y dirección del movimiento producido por el accionamiento de los tres (3) motores eléctricos de corriente alterna. Para reducir la probabilidad de colisión entre los puentes grúa que comparten el mismo sistema de rieles, se incorporó un sensor de distancia que, mediante una acción de control implementada en el mismo módulo electrónico, que permite bloquear el movimiento de traslación del puente grúa en la dirección de riesgo de colisión.

Los datos adquiridos por cada módulo electrónico son transmitidos de forma inalámbrica usando tecnología ZigBee hacia un dispositivo coordinador, por ser un estándar abierto, con alcance de hasta 100 metros, bajo consumo energético, muy seguro y estable (Kalaivani et al., 2014). Para Mounica y Subbareddy (2017), este es uno de los protocolos de comunicación más utilizados en aplicaciones de IoT por su fácil conectividad, modularidad, reducido tamaño y alta eficiencia energética.

El dispositivo coordinador ubicado estratégicamente dentro de la cabina de control del personal del área de Abastecimiento y Armado Y Soldadura recibe los datos de los módulos electrónicos y los ingresa a la pasarela inteligente Simatic IoT2040, la misma que se encarga de tratar los datos para establecer los tiempos de funcionamiento de cada motor y tiempo de funcionamiento global para cada puente grúa, gestionar las notificaciones y almacenar la información en una base de datos.

La información acerca del estado, velocidad de movimiento, dirección de movimiento, tiempos de funcionamiento de los tres (3) motores AC y tiempos de

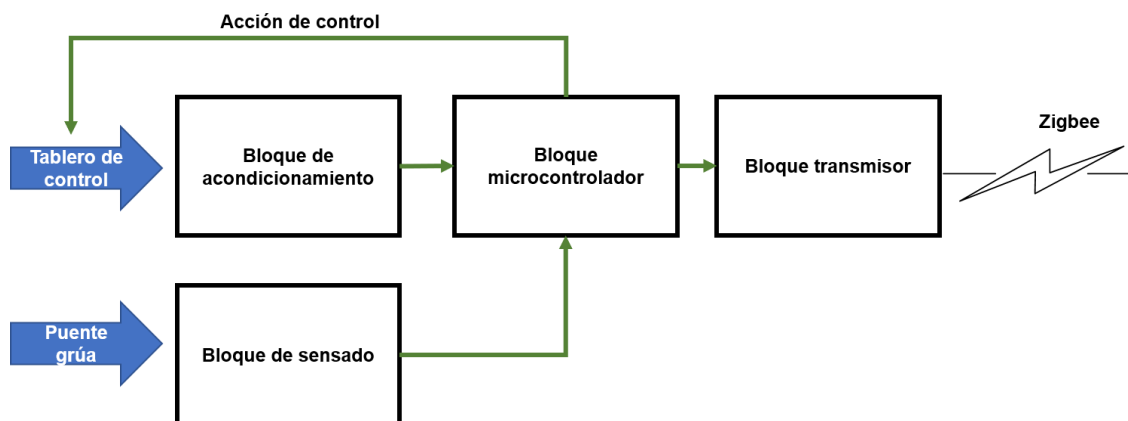
funcionamiento global de cada puente es presentada al usuario mediante una aplicación web.

El proyecto se dividió en varias etapas: la primera corresponde a la caracterización del sistema de control actual de los puentes grúa de la planta principal de SEDEMI S.C.C., con el objetivo de analizar la conexión e identificar las señales eléctricas para obtener la información solicitada en la Tabla 1.

En la segunda etapa se diseñaron e implementaron dos (2) módulos electrónicos para el monitoreo de dos (2) puentes grúas, cada módulo incorpora un bloque de acondicionamiento de señales, un bloque microcontrolador, un bloque de sensado y un bloque transmisor que emplea un dispositivo XBEE para la transmisión de datos, ver Figura 2. Así también, se implementó un dispositivo coordinador conformado por un dispositivo XBEE para la recepción de datos que posteriormente ingresan a la pasarela inteligente Simatic IoT2040 para su procesamiento.

Figura 2

Diagrama de bloques del módulo electrónico



En la tercera etapa denominada procesamiento y visualización, por medio de la herramienta de programación (Node-RED) se gestiona las notificaciones de información

utilizando chatbot de Telegram, se efectúa el tratamiento de los datos recibidos de los módulos electrónicos para determinar el tiempo de funcionamiento de cada motor y el tiempo global para cada puente grúa monitoreado. Finalmente, la información del uso y funcionamiento de los puentes grúas será presentada en la aplicación web.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y gestión del uso y funcionamiento de los puentes grúa de la empresa SEDEMI S.C.C. a través de tecnología ZigBee y la pasarela SIMATIC IOT2040.

Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de control actual de los puentes grúa para identificar las señales control que permitan obtener los parámetros solicitados por el área de mantenimiento de la empresa SEDEMI S.C.C.
- Diseñar los módulos electrónicos para la adquisición de datos sobre el uso de los puentes grúa y transmisión a través del protocolo de comunicación ZigBee dentro de las áreas de Abastecimiento y Armado Y Soldadura.
- Diseñar una aplicación web empleando indicadores y gráficas históricas para la visualización del funcionamiento de los puentes grúa.
- Desarrollar un sistema de notificación basado en un chatbot de Telegram para la comunicación sobre el estado de los puentes grúa durante su funcionamiento.
- Comprobar el desempeño del sistema implementado a base de un protocolo de pruebas.

Descripción del Proyecto

El presente trabajo de titulación se divide en cinco capítulos, en el Capítulo 1 se realiza el planteamiento del proyecto a través de los antecedentes, la justificación e importancia, el alcance y los objetivos del proyecto implementado dentro de la empresa SEDEMI S.C.C.

El Capítulo 2 describe el estado del arte con base en las temáticas centrales para el diseño e implementación del proyecto, explicando los elementos y la clasificación de los puentes grúa, así como la normativa nacional e internacional que regula su implementación en la industria. Se exponen los conceptos y tecnologías inalámbricas utilizadas en el Internet de las Cosas y la Industria 4.0 y se puntualiza en las características del protocolo ZigBee y los Servicios Web.

El Capítulo 3 muestra el diseño del hardware y software, partiendo de la caracterización del sistema de control actual y estableciendo los requerimientos funcionales y no funcionales del proyecto tanto a nivel de hardware y como de software.

En el Capítulo 4 se describe la implementación del proyecto por medio del diseño final de los módulos electrónicos y la arquitectura de la red. Se presenta el Frontend y Backend desarrollados para la visualización de información, así como el sistema de Chatbot para la notificación al usuario final.

Finalmente, en el Capítulo 5 se exponen las conclusiones y recomendaciones generadas durante el diseño e implementación del sistema.

Capítulo II. Estado del arte

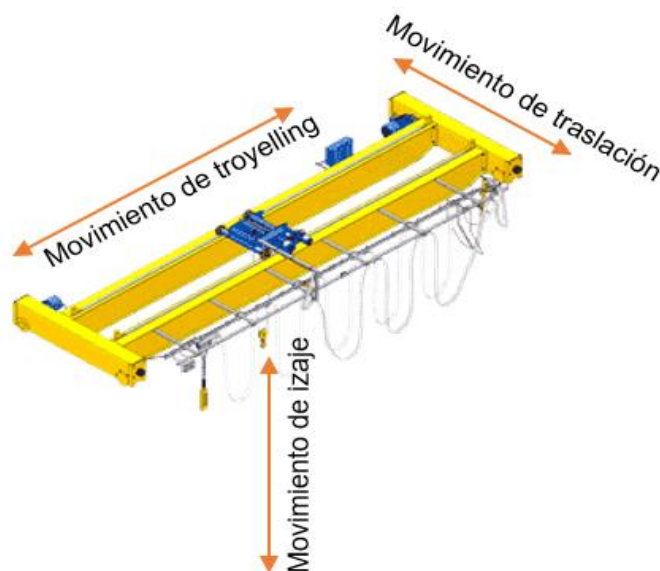
Puentes grúas

Los puentes grúa son un tipo de maquinaria empleada para la elevación, movilización y colocación de cargas pesadas tanto en interiores como en exteriores. Principalmente, dentro de una planta industrial los puentes grúa permiten ejecutar trabajos de almacenamiento y transporte de material para procesos de fabricación y proceso de montaje. De acuerdo con norma NTP 736 (2004), un puente grúa está conformado por una estructura y un carro que le permiten alcanzar cualquier punto de la superficie que se encuentra delimitada por el largo y separación entre los rieles que forman la estructura.

Un puente grúa por lo general realiza movimientos en los ejes para alcanzar un punto en el espacio delimitado, como se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Movimientos característicos de un puente grúa



Nota: Adaptado de *Puente Grúa Birrail*, por Fenix Ingeniería, 2020,

<https://ec.all.biz/puentes-gra-birrail-g4381>

Joan Guerra (2018), señala que el número de movimientos está restringido por el diseño y tipo de puente grúa y de acuerdo a Jaramillo (2018), los movimientos característicos son: traslación, torlleying e izaje, descritos a continuación:

- Traslación: Es el desplazamiento de las vigas principales sobre las vigas carrileras (Jaramillo, 2018).
- Troyelling: Es el desplazamiento del carro sobre las vigas principales.
- Izaje: Es el desplazamiento vertical del gancho que permite subir y bajar la carga.

Elementos de un puente grúa

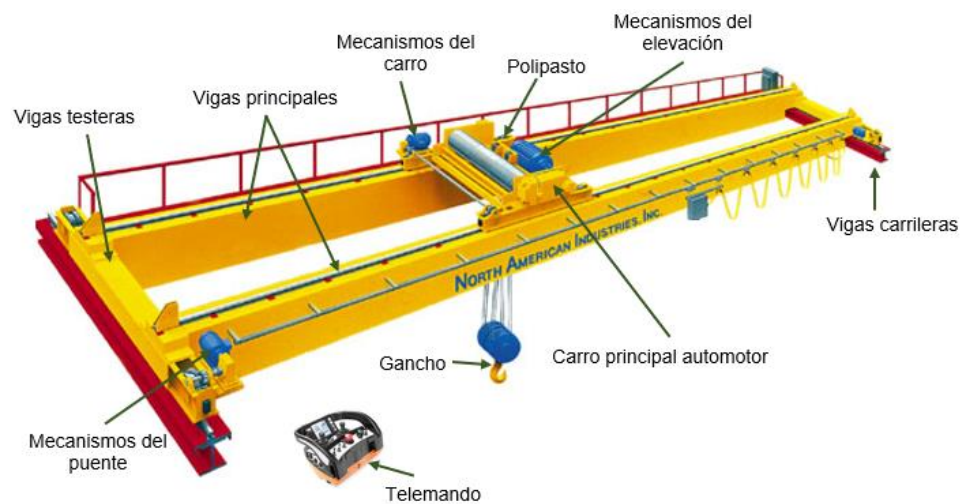
Los elementos básicos que conforman un puente grúa y que se muestran en la Figura 4 son:

- Polipasto: Mecanismo conformado por un conjunto de poleas que permiten la elevación de cargas empleando una fuerza menor al peso de la carga (Jaramillo, 2018).
- Carro principal automotor: Elemento que se apoya sobre la viga principal y traslada el polipasto del puente grúa.
- Viga principal: También llamado viga puente, es un elemento diseñado para soportar el peso de la carga.
- Vigas testeras: Son vigas laterales que encaminan hacia los apoyos aquellos esfuerzos generados en la viga principal.
- Vigas carrileras: Apoyan y movilizan el conjunto carro-polipasto mediante las guías logrando soportar el peso a lo largo de su movimiento.

- Mecanismo de elevación: Conjunto de motores para realizar el movimiento de izaje.
- Mecanismos del carro: Conjunto de motores para realizar el movimiento de troyelling.
- Mecanismos del puente: Conjunto de motores para realizar el movimiento de traslación del puente grúa (Jorge Guerra, 2015).
- Telemando: Dispositivo electrónico inalámbrico que permite manejar el puente grúa (NTP 736, 2004).
- Gancho: Elemento metálico de alta resistencia y durabilidad para sostener cargas.

Figura 4

Elementos básicos de un puente grúa



Nota: Adaptado de *Puente Grúa*, por Instituto CEFA, 2022.

<https://maquinaria.cefaformacion.com/portfolio-view/puentegrúa/>

Clasificación de los puentes grúa



La creciente demanda de maquinaria para movilizar grandes cargas dentro de una planta ha potencializado el desarrollo de los puentes grúas, con el fin de brindar soluciones personalizadas que se adapten a diversos factores como: espacio de trabajo, capacidad de carga, ambiente, accesibilidad al medio, entre otras. Los puentes grúas de manera general se clasifican de acuerdo a su diseño y su capacidad de servicio.

El diseño de los puentes grúas brinda una solución a las necesidades de montaje y movilidad dentro del espacio de trabajo (Jaramillo, 2018). La Tabla 2 muestra la clasificación por el diseño.

Tabla 2

Clasificación del puente grúa según su diseño

Tipo	Descripción	Gráfico
Monorriel	Formada de un rail para el desplazamiento del carro, con capacidad de carga pequeña y con aplicación en rutas fijas de transporte.	
Birriel	Formada de dos vigas principales para el desplazamiento de carro y su capacidad de carga es mayor.	

Tipo	Descripción	Gráfico
Pórtico	Formada por dos columnas, cada una montada sobre un mecanismo en la parte inferior que soporta y desplaza el puente sobre rieles fijados en el piso.	
Semipórtico	Un extremo se encuentra montado sobre una columna similar a la del puente grúa tipo pórtico y el otro extremo está montado sobre una estructura fija carrilera.	

Nota: Adaptado de *Diseño de puente grúa y sistema stand reel para mejorar el transporte de bobinas de papel en el proceso de rebobinado de la empresa Cartopel*, por Geovanny Jaramillo, 2018.

Para la clasificación de los puentes grúa por su capacidad de servicio, la normativa CMAA 70 los asocia en seis grupos, descritos en la Tabla 3.

Tabla 3

Clasificación del puente grúa según su capacidad de servicio

Tipo	Servicio	Descripción	Elevaciones/h
Clase A	Infrecuente	Puentes grúa de baja repetición y velocidad lenta de funcionamiento.	1
Clase B	Ligero	Puentes grúa de carga ligera y de baja velocidad.	2 a 5

Tipo	Servicio	Descripción	Elevaciones/h
Clase C	Moderado	Agrupar los puentes grúa que manejan cargas del 50% de su capacidad nominal.	5 a 10
Clase D	Pesado	Agrupar los puentes grúa que manejan cargas del 50% de su capacidad a elevadas velocidades.	10 a 20
Clase E	Intenso	Puentes grúa que manejan cargas con peso próximo a la capacidad total.	20 o más
Clase D	Intenso continuo	Puentes grúas que manejan cargas con peso cercano o igual a la capacidad total y son personalizados para el cliente.	20 o más

Nota: Adaptado de *Especificación 70*, por Crane Manufacturers Association of America, 2020.

Normativas de control para los puentes grúas

En el Ecuador se emplean normas nacionales e internacionales para regular el diseño, fabricación, montaje de los puentes grúas con el fin de evitar daños y brindar un entorno de trabajo seguro al operador. Antes de instalar un puente grúa se requiere evaluar o diseñar la estructura metálica del local o recinto, para ello la normativa ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS proporciona criterios para la evaluación del suelo, metodologías para el diseño de estructuras sísmo resistentes y requisitos constructivos de manera que la infraestructura soporte el peso del puente grúa y su capacidad de carga (NEC-SE-DS, 2014).

Para el diseño del conjunto de elementos mecánicos del puente grúa, la normativa NEC-SE-AC indica especificaciones para la selección del material, diseño de

pórticos, conexiones y juntas, así como también los requerimientos de soldadura (NEC-SE-AC, 2014). Para elevar y trasladar la carga dentro del espacio de trabajo, es necesario determinar la sección transversal del cable del conjunto polipasto de tal manera que soporte el peso de la carga, la normativa NTE INEN-ISO 4308-1, indica metodologías para el diseño y selección del cable de acuerdo a la carga máxima (NTE INEN-ISO 4308-1, 2014).

Los movimientos del puente grúa se producen al encender los motores eléctricos instalados en la estructura, por lo tanto, se requiere un sistema de control que generalmente se encuentran instalados sobre la estructura del carro principal. Para ello, la normativa NTE INEN 2568, establece dimensiones, espesor y tipo de material de los tableros y gabinetes, mientras que la normativa NTE INEN 2569 indica los grados de protección IP que deben tener los tableros y gabinetes de acuerdo su aplicación (NTE INEN 2568, 2010; NTE INEN 2569, 2011).

Para el diseño del sistema de control es necesario establecer los voltajes de operación tanto del circuito de fuerza como de control, los niveles de voltaje son regulados de acuerdo a la norma NTE INEN 3098, (2016). Así como todos los circuitos deben estar protegidos contra las fallas de sobrecarga, cortocircuito y falla de voltaje con el fin de salvaguardar la vida útil de los componentes eléctricos y electrónicos, la normativa CPE INEN 019 contiene métodos y especificaciones para el dimensionamiento de protecciones y sistema puesta a tierra (CPE INEN 019, 2001).

Los puentes grúas también son diseñados bajo normativas internacionales, la Tabla 4 contiene normativas europeas para la construcción de los elementos estructurales y el sistema de control de los puentes grúa.

Tabla 4

Normativas Europeas para el diseño de puentes grúas

Normativa	Descripción
UNE 58-102-74	Reglas para el cálculo de las estructuras
UNE 58-117-83	Solicitaciones para el cálculo de la estructura
UNE 58-509-79	Características y ensayos de los ganchos para los puentes
UNE 36-710-73	Orientación de los cables del puente grúa
UNE 58-120-84	Selección de cables
UNE 58-105-76	Normas de seguridad
UNE 58-105-76. Apdo. 6	Dimensionamiento eléctrico de protecciones y elementos de mando y control
IEC 60364-5-52	Parte 5-52: Selección y montaje de equipos eléctricos Sistemas de cableado.
IEC 61439-1	Tableros eléctricos de baja tensión

Nota: Adaptado de *NTP 736: Grúas tipo puente (I): generalidades*, por Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2004.

Las normativas americanas, también proporcionan metodologías, métodos, sugerencias y especificaciones para la implementación de puentes grúa en el sector industrial, las normativas empleadas son descritas en la Tabla 5.

Tabla 5

Normativas americanas para el diseño de puentes grúas

Normativa	Descripción
ANSI/AISC 360-10	Diseño y fabricación de infraestructura en acero
CMAA-70	Diseño y fabricación de elementos fijos y móviles

Normativa	Descripción
CMAA-74	Cálculo de cargas aplicadas en las vigas
NFPA 70	Especificaciones para el montaje de equipos eléctricos
ASME B 30-17	Diseño y construcción de grúas de pórtico, puente superior de una viga y polipasto suspendido
ASME B 30-2	Diseño y construcción de grúas tipo puente y pórtico, con una o varias vigas superiores
ASME B 30-9	Eslingas
ASME B 30-10	Ganchos

Para mejorar el grado de seguridad de los trabajadores y garantizar una correcta funcionalidad de los puentes grúa, las entidades reguladoras bajo las normas ISO/IEC 17020 y UNE 58-10576 certifican este tipo de maquinarias industriales. Por otra parte, el Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 010 señala los requerimientos mínimos que deben ser cubiertos por el personal para operar la maquinaria (CPE INEN 010, 2013). Debido a que los puentes grúa realizan trabajo de elevación de carga, los operadores tienen la obligación de certificarse en habilidades de izaje (ISO/IEC 17024, 212).

Los puentes grúa requieren de un mantenimiento periódico de los elementos mecánicos y eléctricos con el fin de incrementar su vida útil. En conformidad con la norma UNE 59.105-76, el constructor tiene como obligaciones proporcionar instrucciones para llevar a cabo el mantenimiento correcto de los puentes grúas, así como también el cliente se ve obligado a acatar las sugerencias y tareas proporcionadas en el plan de mantenimiento tanto para los componentes mecánicos y eléctricos (Galarza, 2012).

Equipos de monitorización de puentes grúa

Inicialmente, los equipos de monitoreo para maquinaria de movilización de carga fueron desarrollados para tener mayor control en las actividades mantenimiento tanto de las partes mecánicas como eléctricas, esto ayuda a mantener un excelente nivel de funcionalidad (Martínez et al., 2020).

Uno de los primeros métodos empleados es la instalación de horómetros y totalizadores de ciclos. Los horómetros indican el tiempo real de funcionamiento que tiene un dispositivo desde que fue reiniciado y los totalizadores de ciclo indican la sumatoria del tiempo de funcionamiento de varios dispositivos (Rosales, 2020). Tanto de los horómetros y totalizadores de ciclo pueden ser del tipo electromecánico y electrónicos, con la diferencia de que estos dispositivos electrónicos tienen mayores prestaciones en almacenamiento de datos, formatos de tiempo y medios de comunicación (Lema, 2016).

Con el desarrollo de la instrumentación, los equipos de monitoreo implementaron diferentes tipos de sensores para la adquisición de las variables que se relacionan directamente con el desempeño de los puentes grúa. De acuerdo a (Konecranes, 2022) las variables indispensables son:

- Temperatura
- Posición
- Vibración
- Voltaje
- Corriente
- Frecuencia

Los horómetros Legrand de Riel Din como los de Figura 5 son comúnmente utilizados en aplicaciones cuyo funcionamiento de equipos o dispositivos es indispensable y no pueden parar de manera inesperada, son de fácil montaje y no manejan protocolos de comunicación (Legrand, 2022). El costo aproximado es de 138,52 USD para el mercado local.

Figura 5

Horómetro tipo riel din



Nota: Tomado de *Horómetro Riel Din*, por Legrand, 2022.

<https://dartel.cl/horometro-riel-din-469404-legrand.html>

El tiempo de funcionamiento de los equipos son datos importantes para la programación de alarmas, esta información puede ser transmitida bajo protocolos de comunicación. El cronómetro contador de tiempo M60-CR-H-RTU es de fácil instalación, incorpora un puerto de comunicación Modbus RTU y es para un solo equipo. El costo es de \$266,89 y se muestra en la Figura 6.

El uso de horómetros y totalizadores de ciclos son más utilizados en maquinarias con un sistema de control de lógica cableada. Algunos sistemas de control de los puentes grúa utilizan un controlador lógico, de tal manera que los medidores de tiempo pueden ser programados como parte del programa principal (Medina, 2019).

Figura 6

Contador de tiempo con Modbus RTU



Nota: Tomado de *Cronómetro contando de tiempo M60-CR-H-RTU*, por FEMA, 2022. <https://fema.es/producto/detalle.php?id=1008&tipo=modelo>

En el mercado los servicios de monitoreo son proporcionados por los propios fabricantes, la empresa GH Cranes ofrece un servicio de monitoreo IoT empleando tecnología TECSER como se ve en la Figura 7, el equipo denominado CoreBox toma datos del puente grúa, los envía a la nube y la información sobre el funcionamiento del puente y alarmas producidas por sobrecargas, cambios de temperaturas y los variadores de velocidad puede ser visualizada mediante un control remoto por radio (CoreBox DFB), la aplicación CoreBox en un teléfono inteligente (CoreBox App) o la plataforma CoreBoxService (GH Cranes, 2022). Debido a que el equipo es modular tiene mediana complejidad de instalación y su costo supera los 4.000 USD de acuerdo a sus funcionalidades.

Figura 7

Monitoreo IoT mediante CoreBox



Nota: Tomado de *CoreBox*, por GH Cranes & Components, 2022, <https://peru.ghcranes.com>

Otra empresa es KONECRANES que ha desarrollado el monitoreo remoto denominado TRUCONNECT para supervisar las grúas Konecranes CXT y otras grúas empleadas en trabajos con cargas pesadas, como se muestra en la Figura 8. El sistema incorpora un conjunto de sensores capaces de obtener datos de variables como temperatura y vibración y con ello presentar al usuario información acerca de las horas de operación, ciclo de trabajo y tiempos restante para el funcionamiento del polipasto (Konecranes, 2022). La instalación de este equipo es de mediana complejidad por la instalación sobre el sistema de polipasto y su costo es superior a los 5.000 USD.

Figura 8

Monitoreo remoto con TRUCONNECT



Nota: Tomado de *Your guide to TRUCONNECT data on your*, por Konecranes, 2022, <https://www.konecranes.com>

Con el fin de perfeccionar el funcionamiento de los puentes grúas, SWF KRANTECHNIK lanzó al mercado un sistema inteligente denominado Crane Intelligence, mostrado en la Figura 9, el mismo que funciona como un segundo cerebro (SWF KRANTECHNIK, 2022). Este dispositivo permite monitorear el puente grúa y ejecutar acciones de control que mejoran el rendimiento y reducen los riesgos de

accidente durante su operación. La instalación del equipo es de alta complejidad debido a la calibración del equipo y su costo en el mercado es superior a los 6.000 USD.

Figura 9

Control y monitoreo Crane Intelligence SWF



Nota: Tomado de *Crane Intelligence SWF – Control y Monitoreo*, por INGEVAL, 2022, <https://www.ingeval.com.co>

Generalmente el sistema de control de los puentes grúa es aislado de otros sistemas de control interno de las plantas de producción debido a que ejecutan movimiento en los tres ejes y por ende sus elementos son de menor acceso por parte del personal, esto motiva la integración de nuevas tecnologías que permitan obtener y transmitir información para ser presentada de forma más directa y rápida al usuario final.

Internet de las Cosas e Industria 4.0

Concepto Internet de las Cosas

En 1999 el escritor Neil Gershenfeld en su obra literaria “Cuando las cosas empiezan a pensar” describió como la tecnología permitirá comunicar múltiples objetos y equipos que utiliza el ser humano en su vida cotidiana (Gershenfeld, 1999). En el

mismo año, Kevin Ashton empleó por primera vez el término IoT, que proviene del inglés “Internet Of Things” para describir un sistema interconectado por identificación mediante radiofrecuencia, donde cada dispositivo tendría un identificador único para mayor facilidad de almacenamiento de información (Mavromoustakis, et al., 2016).

Posteriormente, con la integración de la Internet y redes inalámbricas se logró crear un sistema tecnológico donde las personas y objetos están interconectados y se tiene una mayor circulación de datos en las redes y manejo de requerimientos de almacenamiento (Aguilar, 2021). De esta forma, la Internet de las Cosas se ha vuelto una potente herramienta para la automatización de procesos y recolección de grandes volúmenes de datos que son empleados en el análisis de resultados y planificación de actividades (Barrio, 2020).

Hoy en día, de acuerdo a Moh et al. (2021), el término Internet de las Cosas describe una infraestructura de red dinámica, en la que sensores, actuadores y otros dispositivos se encuentran comunicados por medio del Internet, estos dispositivos envían información de un entorno físico hacia un medio virtual para ser posteriormente procesados y presentados a un usuario final.

Características del IoT

La Internet de las Cosas emplea principalmente el Internet y las tecnologías de la información y comunicación (TIC) para proporcionar la conectividad entre los dispositivos. Según Barrio (2020), IoT cuenta con las siguientes características:

- **Conectividad:** Describe la capacidad que tienen los dispositivos para interconectarse con las personas y otros dispositivos (Barrio, 2020).
- **Sensibilidad:** Capacidad de los dispositivos mediante sensores para medir los cambios en los valores de las variables.

- **Interacción:** Proporciona una interfaz mediante la cual interactúan los usuarios finales con los dispositivos implementados dentro del mundo físico.
- **Seguridad:** Los datos que circulan deben estar protegidos de tal manera que la privacidad sea la mayor posible.
- **Almacenamiento:** Capacidad de guardar los datos que son adquiridos y enviados por los dispositivos del mundo físico. Así como la información obtenida del procesamiento y monitoreo.

Elementos técnicos del IoT

Según Escobar (2020) y Quiñonez (2019), la Internet de las Cosas está formado por tres elementos descritos a continuación:

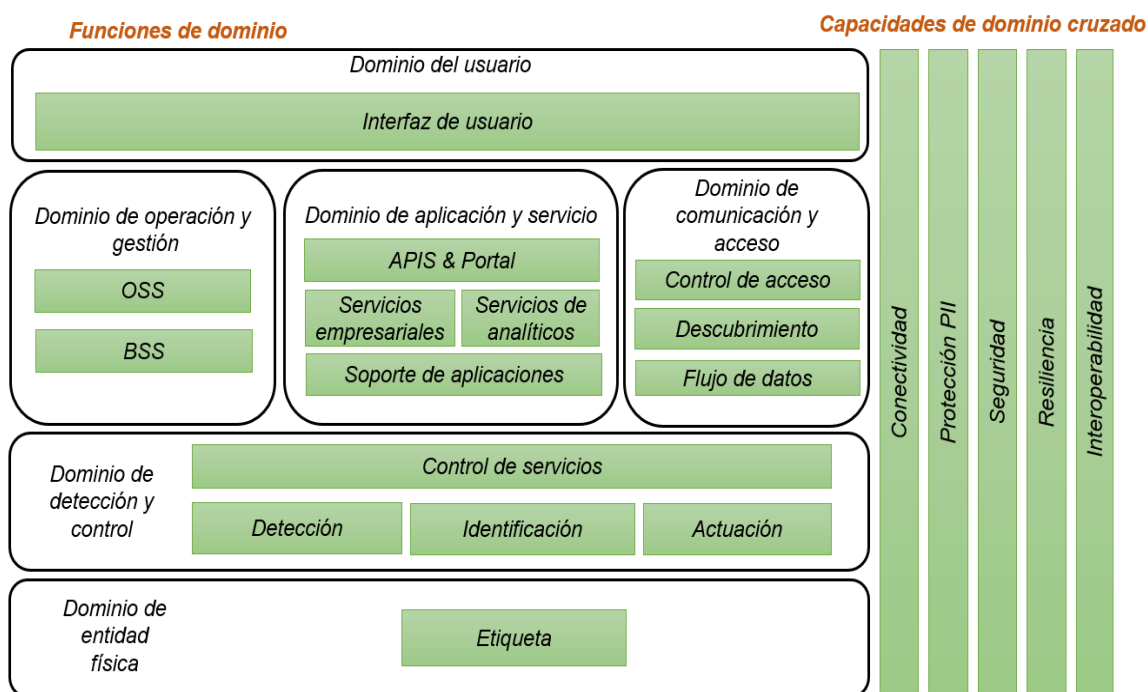
- **Hardware:** Se encuentra formado por todos los sensores, actuadores y elementos para la comunicación.
- **Middleware:** Conformado por microcontroladores y herramientas de desarrollo que permiten la circulación de información y su análisis.
- **Visualización:** Conjunto de plataformas para mostrar la información al usuario final.

Estándar IoT

El término Internet de las Cosas se ha ido desarrollando durante los últimos años y continúa formándose. Sin embargo, a partir del año 2018, la organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica internacional (IEC) publican al mundo el estándar ISO/IEC 30141 que contiene la primera arquitectura IoT para cumplir con sus características en los sistemas que utilizan IoT, misma que se indica en la Figura 10.

Figura 10

Arquitectura de referencia para IoT



Nota: Adaptado de *Internet de las cosas (IoT) - Arquitectura de referencia*, por ISO, 2018.

Industria 4.0

El término Industria 4.0, surge en Alemania en el año 2010 cuando especialistas de diferentes sectores industriales buscaban desarrollar un programa para aumentar la capacidad de producción del sector manufacturero, en la Feria de Hannover del 2013 se presentó la idea que de la Industria 4.0 se basa en sistemas ciberfísicos, múltiples servicios y la aplicación de la Internet para la comunicación (Basco et al., 2018).

Para que los procesos sean más productivos y satisfacer la demanda mundial, las industrias han ido integrando nuevas tecnologías dentro de sus diferentes líneas de producción. La digitalización, el crecimiento exponencial de los procesadores, las comunicaciones inalámbricas y algoritmos de inteligencia artificial han permitido

principalmente manejar mayor cantidad de información para mejorar y controlar de manera más eficiente los procesos industriales.

El concepto de industria 4.0 abarca toda el área de la producción industrial, mientras que el Internet de las Cosas (IoT) está centralizado en los productos individuales (Jan, 2017), es decir que en la Industria 4.0 los sistemas de producción son inteligentes capaces de detectar e interactuar con el entorno físico y pueden tomar decisiones en el tiempo (Kanagachidambaresan et al.,2020).

Características de la Industria 4.0

La industria 4.0 aplica el modelo de Internet de las Cosas a nivel de todos los procesos de fabricación industrial, de acuerdo a Llorenc (2019) las características principales de la Industria 4.0 son:

- Dependencia de las nuevas tecnologías
- Implementación de múltiples canales
- Interconexión de elementos por múltiples canales
- Mayor velocidad de transmisión
- Definida por las últimas novedades y tendencias
- Condiciona la información
- Los resultados definen su utilidad y validez

Pilares de la Industria 4.0

La digitalización de la industria manufacturera, emplea múltiples pilares tecnológicos para la implementación de soluciones eficientes en los procesos

productivos, los mismos que se explican en la Tabla 6 de acuerdo a lo descrito por (Basco et al., 2018).

Tabla 6

Pilares tecnológicos de la Industria 4.0

Pilar	Descripción
Sistemas de integración	Incorporación de las tecnologías de operación con las TICs.
Máquinas y robots	Aplicación de maquinaria inteligente, robots industriales y robots colaborativos.
Internet de las Cosas (IoT)	Conectividad entre las máquinas, el personal y el producto final.
Manufactura aditiva	Fabricación de piezas sin moldes con el uso de capas.
Big data	Manejo de un gran un gran volumen de datos estructurados y no estructurados.
Computación en la nube	Almacenamiento y servicios informáticos.
Simulación en entornos virtuales	Implementación virtual de sistemas de producción.
Ciberseguridad	Protección para el acceso de los datos.
Inteligencia artificial	Aplicación de algoritmos computacionales.
Realidad aumentada	Visualización de objetos virtuales sobrepuestos en el entorno físico.

Nota: Adaptado de *Industria 4.0 fabricando el Futuro*, por Basco, Beliz, Coatz, & Garnero, 2018.

La interconectividad entre las diferentes etapas de un proceso productivo brinda un mayor control de la producción dentro de las empresas. Para establecer una

comunicación de forma cableada o inalámbrica entre equipos o dispositivos se implementan redes de comunicación industrial que pueden integrar uno o múltiples protocolos.

Redes Industriales

En la industria una red de comunicación está diseñada para funcionar en tiempo real, aumentando el control y salvaguardando los datos que se transmiten desde un elemento emisor a un receptor, de acuerdo a un sistema de transmisión industrial (Valdivia, 2019). Los beneficios que provee una red industrial a una empresa son las siguientes:

- Disminuir el costo en el proceso productivo
- Calidad en el manejo de datos
- Reducción de almacenamiento
- Mayor flexibilidad en la integración de sistemas
- Reducir costos para el mantenimiento de la red

Medios de transmisión

El medio de transmisión es la vía de comunicación por la cual el emisor transmite información hacia un receptor en forma de ondas electromagnéticas (Barbancho et al, 2020). La Tabla 7 describe los medios de transmisión y sus principales aplicaciones.

En la industria no se especifica un protocolo o medio específico para implementación de una red, el funcionamiento de las máquinas y manipulación de herramientas puede generar interferencias capaces de comprometer la confiabilidad de los datos, por ende, se han desarrollado múltiples protocolos que pueden integrarse con

el fin de que la información que se transmite desde un punto a otro tenga el menor número de errores posible.

Tabla 7

Medios de transmisión

Medio de transmisión	Tipo de medio	Frecuencias	Aplicación
	Hilo de cobre	0 a 3.5 kHz	Redes telefónicas
Guiados	Cable par trenzado	0 a 3.5 kHz	Redes de edificaciones
	Cable coaxial	0 a 500 MHz	Redes de largo alcance
	Fibra óptica	186 a 370 MHz	Redes de defensa
No guiado o medio inalámbrico	Radio	10 kHz a 1 GHz	Redes de telefonía
	Microondas	1-300 GHz	Redes de radiodifusión
	Infrarrojos	200 GHz a 400 THz	Controles remotos

Nota: Adaptado de *Redes locales, por* (Barbancho et al., 2020).

La Tabla 8 describe algunos protocolos con su respectivo medio de transmisión que son empleados en la industria para la implementación de redes industriales.

Tabla 8

Protocolos industriales

Protocolo	Velocidad	Norma	Medio
Profibus DP	12 Mbps	IEC 61158	Par trenzado
Profibus Pa	31.25 Mbps	IEC 61158-2	Par trenzado y fibra óptica
As-i	167 kbps	IEC 62026-2	Dos hilos de cobre
DeviceNet	500 kbps	IEC 62026-3	Par trenzado y dos hilos
ControlNet	5 Mbps	IEC 61158	Cable coaxial y fibra óptica
FielBus	31.25 kbps	IEC 61158	Par trenzado

Protocolo	Velocidad	Norma	Medio
WiFi	11 Gbps	IEEE 802.11	Radio
Bluetooth	50 Mbps	IEEE 802.15.1	Radio
ZigBee	250 kbps	IEEE 802.15.4	Radio
WiMAX	100 Mbps	IEEE 802.16	Radio

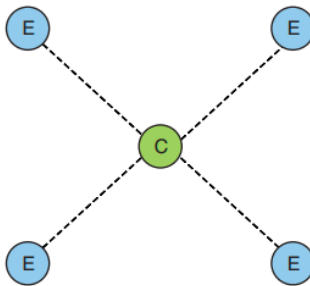
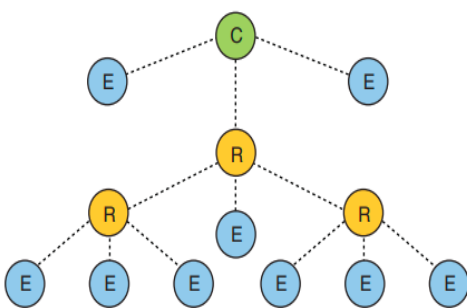
Nota: Adaptado de *Redes locales, por* (Barbancho et al., 2020)

Arquitectura de comunicación inalámbrica

La arquitectura define como los nodos de una red (equipos, dispositivos, servidores, terminales, entre otros) se encuentran conectados empleando protocolos y estándares de comunicación (Barbancho, y otros, 2020). En la Tabla 9 se describen las arquitecturas de comunicación inalámbrica.

Tabla 9

Arquitectura de comunicación inalámbricas

Topología	Característica	Esquema de arquitectura
Estrella	Los dispositivos finales (E) se encuentran conectados de forma directa a un nodo central llamado coordinador (C).	
Árbol	Resultado de la integración de múltiples topologías en estrella de manera que las ramificaciones parte de la raíz.	

Topología	Característica	Esquema de arquitectura
Malla	Los dispositivos se encuentran interconectados, de forma que el envío de información se realiza por múltiples saltos, la información puede llegar por diferentes rutas.	

Nota: Adaptado de ZigBee Wireless Sensor and Control Network, por Ata Elahi & Adam Gschwender, 2009.

Redes de comunicación inalámbrica

Las redes de comunicación inalámbricas emplean un medio de transmisión no guiado y se encuentran clasificadas de acuerdo a la cobertura. Este tipo de redes brinda un servicio semejante a las redes que utilizan medios guiados. Dentro del área industrial, una red inalámbrica suprime la utilización e instalación del cableado estructurado, el cual requiere de un espacio físico para ser fijado y un costo mayor en el montaje de la estructura.

Red de área personal (WPAN). Este tipo de redes tienen un alcance de 10 a 100 metros y sus principales aplicaciones son dispositivos personales: Algunas de la tecnología empleadas son Bluetooth, ZigBee, entre otras.

Bluetooth. El protocolo IEEE802.15.1 fue desarrollado en 1998 y opera en la banda de 2400 MHz a 2483.5 MHz, su primera versión oficial denominada Bluetooth 1.0a tuvo un alcance menor a los 10 m, con velocidad de 732.2 Kbps (Olivia, 2013). En el 2020 se presentó la versión Bluetooth 5.2 que tiene una mayor calidad de audio, menor consumo energético, transferencia a múltiples dispositivos, alcance de 240 m y velocidad de transferencia de hasta 50 Mbps (Joyanes, 2021). En julio del 2021 se

lanzó la versión de Bluetooth 5.3 que mejora la eficiencia energética al permitir que los periféricos proporcionan canales preferidos y filtren los mensajes recibidos.

ZigBee. El protocolo se encuentra basado en IEEE 802.15.4 que opera en la banda de 868 MHz para Europa, 915 MHz para USA y generalmente 2.4 GHz para otras partes del mundo, su velocidad de transmisión alcanza los 250 Kbps (Tang & Du, 2021). La primera versión llamada ZigBee 1.0 fue presentado en el 2004 para aplicaciones de domótica y en la actualidad se ha implementado la versión ZigBee 3.0 para las redes IoT y M2M que permite un alcance de 10 a 100 metros en la banda de 2.4 GHz y un máximo de 1024 nodos en la red (Armentano et al., 2021).

Red de área local (WLAN). Tiene un alcance de 100 a 1000 metros, WiFi es una de las tecnologías más empleadas para este tipo de redes.

IEEE 802.11b. El estándar fue aprobado en 1999 y denominado como WiFi 1, con características de velocidad de 11 Mbps y alcance de hasta 460 m en la banda de frecuencia de 2.4 GHz (Avalos, WiFi avanzado Parte 1, 2020).

IEEE 802.11a. Denominado como WiFi 2, fue presentado en el mismo año que el estándar WiFi 1, tiene un mayor consumo de energía, velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps y un alcance de 460 m en la banda de frecuencia de 2.4 GHz (Avalos, WiFi avanzado Parte 2, 2020).

IEEE 802.11g. El protocolo conocido como WiFi 3 fue presentado en el 2003, su velocidad de transmisión es de 54 Mbps y con alcance de hasta 460 m. La banda de operación es de 2.4 GHz (Gómez et al., 2018).

IEEE 802.11n. En el 2009, fue aprobado este protocolo n llamado WiFi 4, su velocidad alcanzó los 600 Mbps siendo 54 veces más rápido que el protocolo WiFi 1. Se convirtió en el primer protocolo capaz de operar en las bandas de 2.4 y 5 GHz a una

alta velocidad y con la característica de ser compatible con los protocolos WiFi 1 y WiFi 3 (Berral, 2020).

IEEE 802.11ac. Este protocolo presentado en el 2013 fue nombrado como WiFi 5 o también como WiFi Gigabit, brindando velocidades de hasta 1300 Mbps en la banda de 5 GHz con un alcance de 460 m (Roa, 2020).

IEEE 802.11ax. Apareció en el 2019 y se nombró como WiFi 6, su velocidad de transferencia es de 11 Gbps, funciona en las bandas de 2.4 y 5 GHz y debido a su tecnología tiene una menor interferencia y bajo consumo energético (Roa, 2020).

Red de área metropolitana (WMAN). Una red de área metropolitana tiene una cobertura aproximada de 5 a 10 km y WiMAX es una de las tecnologías más empleadas para la implementación de este tipo de redes.

WiMAX. Basado en el estándar IEEE 802.16, tiene un alcance de 50 a 70 Km, con velocidades de transmisión de hasta 100 Mbps, opera en las bandas de 2 a 11 GHz, 2.4 GHz y 5 GHz y los servicios como VoIP e IPTV son brindados por redes WiMAX a un bajo costo (Chacón, 2017).

Red de área amplia (WWAN). Una red WWAN tiene un alcance mucho mayor a las redes de área metropolitana, su cobertura abarca centenares de kilómetros (100 km). Para la implementación de redes especializadas en IoT se utilizan redes de espectro licenciado como LoraWAN (Aguilar, 2021).

LoraWAN. Es un protocolo presentado en el año 2015, tiene alta eficiencia energética, permite un alcance de 5 a 15 Km con velocidades entre los 0.3 kbps a 50 kbps en las bandas de frecuencia de 433, 868 y 915 MHz (Cérda & Gas, 2020).

ZigBee

Dentro de la nave principal de la empresa SEDEMI S.C.C. donde ubican los puentes grúa, se puede encontrar solamente una red inalámbrica correspondiente al sistema de telemandos que opera en una banda de los 433 MHz y las redes inalámbricas instaladas dentro de las oficinas utilizan el protocolo WiFi 3. Debido a que se requiere integrar una red de área personal PAN, el protocolo ZigBee resulta ser una buena opción para transmisión de datos por sus características de bajo consumo, escalabilidad y frecuencia de operación que no genera interferencia con la red inalámbrica de sistema de telemandos.

ZigBee fue desarrollado en 1998 por la asociación de más de 270 empresas que formaron ZigBee Alliance, para el 2003 se presentó el estándar IEEE 802.15.4-2003 y bajo sus especificaciones se publicó ZigBee 1.0 (Perry, 2020). En el 2006 se desarrolla ZigBee 1.1 que contiene mayores especificaciones en su estructura y en el 2007 se lanza la versión ZigBee PRO agregando un grupo de librerías y restricción de compatibilidad con versiones obsoletas.

ZigBee Alliance continúa estableciendo el estándar IEEE 802.15.4, es decir, las especificaciones de la capa física y la capas MAC para las redes de bajo consumo. En la actualidad se maneja la versión ZigBee 3.0 que permite una conexión de hasta 1024 nodos, una cobertura de aproximadamente 100 metros y alta eficiencia energética (Armentano et al., 2021).

Frecuencia. La frecuencia de operación para las aplicaciones que utilizan ZigBee como tecnología para la comunicación inalámbrica varía de acuerdo a la localización y la capa física, en la Tabla 10 se describen las bandas de operación de ZigBee.

Tabla 10*Frecuencia de ZigBee*

Capa física	Banda de frecuencias	Localización
868/915 MHz PHY	868.0-868.6 MHz	Europa
	902.0-928.0 MHz	USA
2.4 GHz PHY	2.4-4.4835 GHz	Nivel mundial

Nota: Adaptado de *IEEE 802.15.4*, por *IEEE*, 2020.

Velocidad. La velocidad de transmisión de ZigBee, también varía de acuerdo a la capa física implementada, por ende, está relacionada con la frecuencia de operación como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11*Velocidad de transmisión de ZigBee*

Capa física	Velocidad de transmisión
868/915 MHz PHY	20 kbps
	40 kbps
2.4 GHz PHY	250 kbps

Nota: Adaptado de *IEEE 802.15.4*, por *IEEE*, 2020.

Potencia y sensibilidad. El rango de cobertura de la red, depende de la potencia y sensibilidad de transmisor y receptor respectivamente. La sensibilidad de la banda de 868/915 MHz es de -85 dBm mientras que para la banda de 2.4 GHz es de -92 dBm y para alcanzar entre los 10 a 20 m de cobertura el transmisor ZigBee debe tener una potencia de al menos 1 mW, de esta forma si existe un aumento de la potencia del transmisor y una sensibilidad por parte receptor se pueden generar redes amplias, conforme al tipo de arquitectura que se utilice (Ikbal et al., 2019).

Norma industrial. ZigBee fue implementado en el área industrial para reforzar los sistemas de fabricación y se rige bajo la norma IEEE 802.15.4. En la Tabla 12 se describen las propiedades de la norma IEEE 802.15.4 aplicativas al sector industrial.

Tabla 12

Propiedades de IEEE 802.15.4

Propiedad	Descripción
Cobertura	10-20 m
Latencia	Menos de 15 ms
Direccionamiento	8 bits o 64 bits
Temperatura industrial	-40°C a 85°C
Control de acceso	CSMA-CA

Nota: Adaptado de IEEE 802.15.4, por IEEE, 2020.

Aplicaciones industriales. Las soluciones mediante redes inalámbricas han ido predominando en el mercado por su bajo costo de implementación debido a que se suprimen los requerimientos de cableado estructurado y brinda mayor confiabilidad en los datos. La presencia del ruido y vibraciones producidas por el funcionamiento de las máquinas puede generar interferencias en los medios de comunicación guiados, generando un mayor número de errores (Santos, 2014).

En los sectores industriales donde las condiciones ambientales pueden afectar de manera crítica al cableado estructurado, las redes inalámbricas brindan una solución más eficiente, por ejemplo, en el sector petrolero se utiliza el protocolo ZigBee para la creación de redes de sensores inalámbricos que permiten monitorear la temperatura y presión del crudo que se transporta por las grandes tuberías que se extienden por lugares de difícil acceso y grandes elevaciones (Dender et al., 2017).

En industrias donde la iluminación es elemento primordial para suprimir riesgos y aumentar el rendimiento de los operadores, se aplican sistemas de comunicación mediante el protocolo ZigBee para generar una red amplia e intercomunicada, capaz de compartir datos sobre la iluminación y mediante un sistema de control central gestionar las luminarias (Aguilar, 2021).

En el sector energético, ZigBee ha permitido implementar redes para la medición y gestión de energía, en la estructura de los tableros eléctricos se incorporan una serie de sensores y dispositivos que monitorean constantemente las líneas de alimentación para evitar que exista una fusión o incendio en los cables de conexión (Electroleg, 2022).

Las principales aplicaciones de ZigBee en la automatización industrial es el monitoreo de variables como temperatura, presión, humedad, vibración, entre otras. La información obtenida permite gestionar los procesos de producción e implementar estrategias para aumentar la productividad y disminuir los fallos en los equipos (Bollaín, 2018).

Las redes inalámbricas brindan soluciones robustas para la comunicación entre dispositivos donde las condiciones del espacio de trabajo no permiten la implementación de un cableado estructurado. La información obtenida por el procesamiento de datos que se transmiten por las redes requiere la integración de tecnologías que permiten la visualización de la información a los usuarios.

Servicio Web

Un servicio web permite el intercambio de información a través de la Internet mediante el uso de varios protocolos, entre aplicaciones de dos elementos de una red

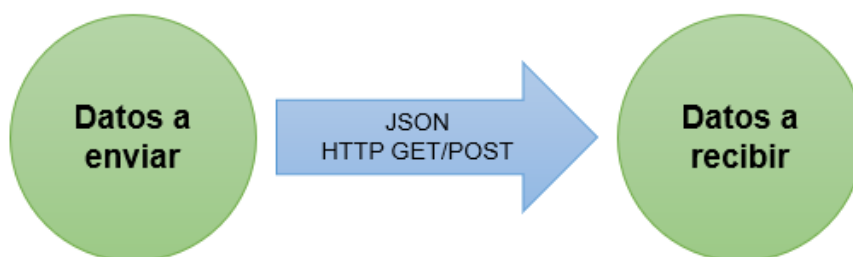
cuyos lenguajes de programación no deben ser necesariamente iguales (López et al., 2014).

Tipos de servicios web

Servicio Web RESTful. Fue desarrollado por Roy Thomas Fielding con el fin de hacer más eficiente los servicios web y se fundamenta en recursos, además el servicio REST tiene una estructura arquitectónica y emplea los formatos XML y JSON (Kleppmann, 2017), el diagrama de un servicio web RESTful se indica en la Figura 11.

Figura 11

Servicio Web RESTful



El servicio web RESTful siempre es independiente del lenguaje y la plataforma en la cual se ejecuta, sin embargo, para el intercambio de información siempre se necesita de un productor y un consumidor, los métodos que maneja RESTful son:

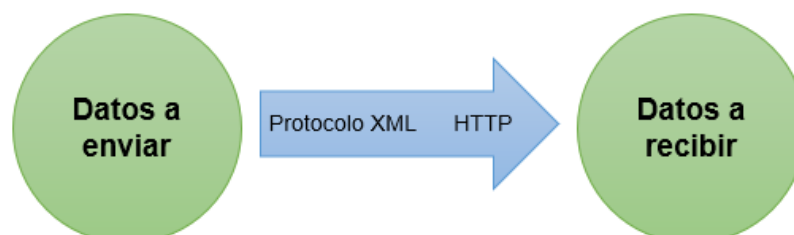
- Get: Leer
- Put: Actualizar
- Post: Crear
- Delete: Eliminar

Servicio Web SOAP. Este servicio web establece restricciones en el formato, mediante el lenguaje WSDL se fija el formato para una solicitud o respuesta XML, es decir que SOAP especifica el envoltorio para el envío de un mensaje por Internet

empleando protocolos HTTP, FTP o TCP (Aguirre, 2020), el diagrama de un servicio web SOAP se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Servicio Web SOAP



Arquitectura Cliente-Servidor

Para compartir información entre elementos de una red, es necesario plantear una comunicación, generalmente esto se realiza por medio de una interacción cliente-servidor. El servidor siempre se encuentra a la espera de una petición, al recibir la petición ejecuta un proceso de tal forma que el resultado es enviado al cliente (Jiménez et al., 2017).

En la parte de cliente se encuentran los elementos finales o programas del usuario, estos son encargados de formular la petición, enviarla al elemento servidor y posteriormente esperar la respuesta del mismo.

El rendimiento de una arquitectura cliente/servidor es evaluado conforme a las peticiones, la complejidad de la red, el número de clientes y las limitaciones establecidas por el usuario al servidor, en base de ello se puede evaluar la confiabilidad de un servidor para proporcionar respuestas a los clientes dentro de una red de comunicación (Ince, 2001).

El desarrollo web moderno integra una arquitectura cliente-servidor que permite reducir la carga en el lado del servidor, es decir que en la actualidad se busca que el

cliente prepare la petición mientras que el servidor brinda en respuesta todas las funciones que necesita el cliente (Hidalgo, 2020). Para ello se identifica el Backend y el Frontend.

Backend. Son los elementos utilizados por parte del servidor para administrar tanto las peticiones de información realizadas por el cliente y la gestión de instrucciones para el manejo de la base de datos mediante lenguajes como PHP, Java, MySQL, entre otras. Esta información es enviada al terminal para que el cliente pueda visualizar la información (Aranda, 2018).

Frontend. Son los elementos instalados en los terminales, para que el cliente pueda realizar la conexión al servidor por medio del internet. Los navegadores de internet ya incorporan tecnologías como HTML, CSS, JavaScript, entre otras para la visualización de información (Villalba, 2015).

La información que se intercambia generalmente es de uso inmediato y único, sin embargo, también puede requerirse que se almacene la información para que pueda ser agregada, modificada o borrada de acuerdo a la necesidad de la aplicación.

Base de Datos

Representa un grupo de datos almacenados, que posteriormente pueden ser empleados para obtener un tipo de información, la base de datos distribuye los datos permitiendo almacenar y acceder mediante un sistema gestor (Benítez & Arias, 2017). Actualmente, se clasifican en bases de datos estructuradas y no estructuradas.

Base de datos estructurada. Los datos se guardan en registro que son ordenados en forma de tablas, dichas tablas pueden ser asociadas con el fin de tener una mayor gestión al momento de acceder o guardar los datos. El modelo aplicado a una base estructurada se denomina Entidad/Relación.

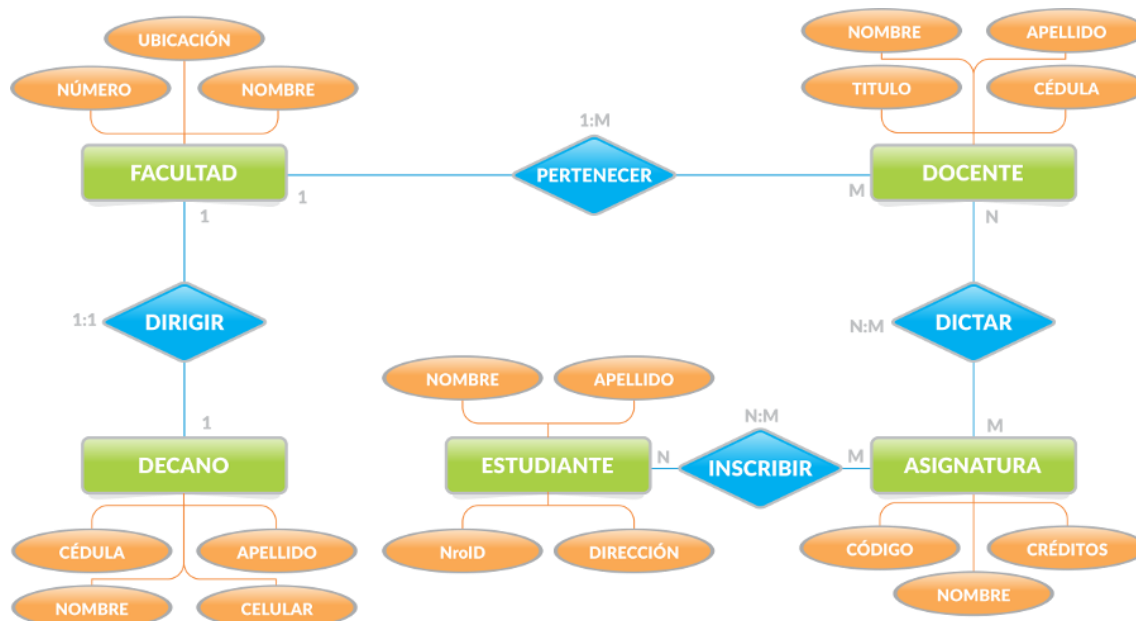
El modelo Entidad/Relación permite explicar el funcionamiento de la base de datos, la relación que existen entre la distribución de los datos y reglas para poder acceder o almacenar un dato (Postigo, 2021), sus elementos principales son:

- Entidad: Define al objeto
- Atributos: Característica de la entidad
- Relación: Conexión que existe entre las entidades.

Al desarrollar una aplicación, el programador mediante el modelo entidad/relación tiene mayor control del flujo de los datos debido a que puede formar las reglas necesarias para acceder a una tabla en particular y posteriormente a un registro, como se ve en la Figura 13.

Figura 13

Modelo Entidad/Relación



Nota: Tomado de *Modelo Entidad Relación*, por Cadavid et al., 2022.

<http://contenidos.sucerman.com/nivel2/web1/unidad2/leccion3.html>

Base de datos no estructurada. La base de datos NoSQL no cumple con el modelo entidad/relación, es decir que la organización de los datos no se realiza por medio de tablas y relaciones (Sarasa, 2019).

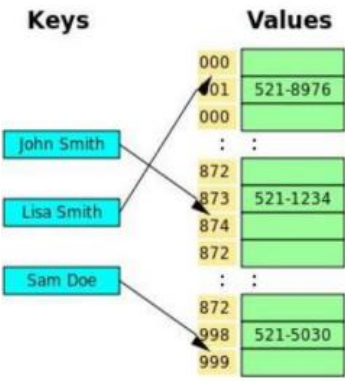
Un sistema de base de datos NoSQL se implementó a medida que los sistemas tradicionales quedaron limitados debido a que las aplicaciones actuales requieren un procesamiento de un mayor volumen de datos (Arroyo, 2018), sus ventajas son las siguientes:

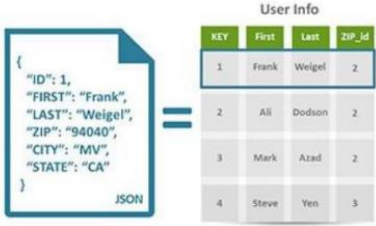
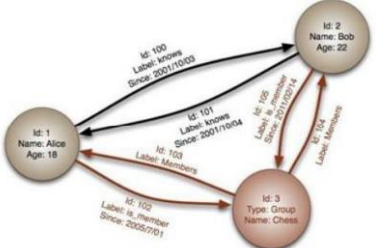
- Requerimiento de escasos recursos
- Facilidad de consultas
- Gestión de un gran volumen de datos
- Escalabilidad horizontal
- Modelamiento de datos flexible

La Tabla 13 muestra la clasificación de las bases de datos no estructuradas.

Tabla 13

Tipos de bases de datos NoSQL

Tipo	Descripción	Gráfico
Clave-Valor	Empleada cuando los datos deben ser procesados de forma consecutiva y rápida.	

Tipo	Descripción	Gráfico
Orientada a documentación	El almacenamiento se realiza en documentos como JSON brindando posibilidad de lectura simultánea.	 <p>The diagram illustrates the mapping between a JSON document and a relational table. On the left, a JSON document is shown with fields: "ID": 1, "FIRST": "Frank", "LAST": "Weigel", "ZIP": "94040", "CITY": "MV", "STATE": "CA". On the right, a table titled "User Info" has columns: KEY, First, Last, ZIP_id. The table contains four rows of data: (1, Frank, Weigel, 2), (2, All, Dodson, 2), (3, Mark, Azad, 2), and (4, Steve, Yen, 3).</p>
Orientada a grafos	Los grafos forman la entidad y la arista su relación.	 <p>The diagram shows a graph with three nodes: Node 1 (Id: 1, Name: Alice, Age: 18), Node 2 (Id: 2, Name: Bob, Age: 22), and Node 3 (Id: 3, Type: Group, Name: Chess). Edges connect the nodes with labels and dates: Id: 100 (Label: knows, Since: 2011/10/09) between Node 1 and Node 2; Id: 101 (Label: knows, Since: 2011/10/14) between Node 1 and Node 2; Id: 102 (Label: Member, Since: 2005/7/01) between Node 1 and Node 3; Id: 103 (Label: Members) between Node 1 and Node 3; Id: 104 (Label: Member, Since: 2011/10/14) between Node 2 and Node 3; and Id: 105 (Label: Members) between Node 2 and Node 3.</p>

Nota: Adaptado de *Testing Entre Bases de Datos SQL y NoSQL*, por Diego Arroyo, 2018.

En las aplicaciones IoT se busca presentar la información almacenada en las bases de datos de acuerdo a un tipo de petición realizada por parte del cliente en cualquier instante de tiempo, para ello se desarrollan sistemas capaces de proporcionar respuestas inmediatas utilizando los medios más frecuentados como son las redes sociales.

Chatbots

Un chatbot es un sistema que mantiene una conversación mediante audios o textos como se indica en la Figura 14, el objetivo es simular una conversación humana de tal manera que el usuario final envía un mensaje y de forma inmediata recibe una respuesta por parte del bot (Militaru, 2018).

Las principales aplicaciones de los chatbots son los servicios de mensajería en las redes sociales como Facebook, Messenger, WhatsApp, Telegram, entre otros (Cebra, 2017). Un chatbot puede enviar textos, audios, imágenes y direcciones previamente establecidos en base al reconocimiento de un patrón en el mensaje que

recibe. Sin embargo, también puede utilizarse algoritmos de inteligencia artificial, de manera que la conversación sea más real.

Figura 14

Chatbot



Nota: Tomado de *El uso de chatbots en Latinoamérica viene creciendo a pasos agigantados*, por Pilar Cornieles, 2019, <https://ia-latam.com/2019/04/01/el-uso-de-chatbots-en-latinoamerica-viene-creciendo-a-pasos-agigantados/>

Para el desarrollo de un chatbot, se realiza el diseño de un backend que comprende toda la información que va a manejar el chatbot y el diseño del frontend que permitirá la interacción con el usuario final, para esto se puede hacer uso de las plataformas de redes sociales (Navas & Navajas, 2019).

Capítulo III. Diseño de Hardware y Software

El diseño del hardware y software se realiza de acuerdo a los requerimientos del departamento de Mantenimiento y las características actuales del sistema de control de los puentes grúa.

Caracterización del sistema de control

El sistema de control actual de la empresa SEDEMI S.C.C. permite controlar el funcionamiento del puente grúa para alcanzar un punto en el espacio delimitado por el largo y la separación de los rieles de la estructura mecánica y el número de movimientos. Por otro lado, en el tablero principal se encuentran fuentes de alimentación, equipos de telemando, elementos de protección, elementos de maniobra, drivers y controladores.

Uno de los conceptos importantes de los puentes grúa es el manejo de diferentes niveles de voltajes para la alimentación de los circuitos de potencia y control. El voltaje de alimentación del circuito de potencia es de 440 VAC, mientras que para el circuito de control se utilizan 110 VAC. Para el manejo del puente grúa de forma inalámbrica se ha instalado un equipo de telemando con voltaje de alimentación de 440 VAC y voltaje de salida de 110 VAC.

El diagrama de bloques general para el control de los movimientos de izaje, traslación y troyelling se encuentra en el Apéndice A. Donde cada movimiento del puente grúa se realiza mediante el funcionamiento de motores eléctricos, cuyas características son:

Movimiento de izaje: motor eléctrico de 16.2 kW a 440 VAC y 60 Hz

Movimiento de traslación: dos motores de 1.54 kW a 440 VAC y 60 Hz

Movimiento de troyelling: un motor de 0.84 kW a 4440 VAC y 60 Hz.

Para el control de los movimientos de traslación, troyelling e izaje ingresan las señales eléctricas proporcionadas por el equipo receptor de telemando que son generadas conforme se presiona la botonera de mando. La lógica cableada del sistema de control de los puentes grúa establece las señales de sentido de giro que ingresan a los variadores de velocidad para accionar los motores eléctricos de acuerdo al accionamiento de la botonera por parte del operador.

Además, la velocidad de funcionamiento de los motores eléctricos para los movimientos de traslación y troyelling son fijos (600 rpm), mientras que para el movimiento de izaje por medio del circuito de cambio de velocidad, el motor eléctrico puede girar a 600 o 1200 rpm de acuerdo al pulsador de velocidad de la botonera.

Finalmente, las señales para el monitoreo del puente grúa se toman del tablero principal con el fin de obtener los datos de funcionamiento, para procesarlos y presentar al usuario la información solicitada. Como primer paso se identificó cada uno de los elementos instalados y conexiones, los mismos que son representados en planos eléctricos del lugar, pero debido a las políticas de confidencialidad de la empresa SEDEMI S.C.C. no pueden ser anexados, por lo cual se incluye solo en diagrama de bloques general como referencia.

Requerimientos del sistema

El sistema de monitoreo y gestión del puente grúa requiere el desarrollo de hardware y software sincronizado para un buen funcionamiento en la adquisición, procesamiento y presentación de datos al usuario final de tal manera que el equipo de comunicación tiene acceso a la red interna de la empresa SEDEMI S.C.C. para la transferencia de información con otros dispositivos de la red.

Requerimiento de Hardware

Los requerimientos de hardware están basados de acuerdo a las prestaciones y el sistema de control actual instalado en los puentes grúa, estos se clasifican en funcionales y no funcionales.

Requerimientos de hardware funcionales. Corresponden a todos los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema de monitoreo y gestión.

- Voltajes de alimentación de 110 VAC y 12 VDC
- Elemento de protección
- Elementos de mando o maniobra
- Microcontrolador
- Dispositivo de comunicación inalámbrica
- Pasarela inteligente

Requerimientos de hardware no funcionales. Corresponden a los periféricos de control de salida que son empleados para suspender el movimiento del puente grúa cuando se encuentra en riesgo de colisión y son conectados únicamente para los puentes grúa que comparten las mismas vigas carrileras.

Requerimiento de software

Los requerimientos de software deben tomar en cuenta la lectura de las señales eléctricas del tablero de control del puente grúa, la preparación de datos que son enviados de forma inalámbrica, el procesamiento de datos recibidos para obtener la información solicitada por el departamento de mantenimiento y el desarrollo del sistema de notificación por medio del chatbot.

Requerimientos de software funcionales.

- Adquisición de datos del tablero de control del puente grúa
- Envío y recepción de datos
- Procesamiento y análisis de datos
- Almacenamiento de información
- Monitorización e histórico del funcionamiento del puente grúa
- Planificación de actividades de mantenimiento

Requerimientos de software no funcionales.

- Notificación al usuario por medio del chatbot
- Registro de reinicio de tiempos de funcionamiento por motor

Requerimiento de red

La red debe proporcionar confiabilidad, seguridad y bajo consumo, además de la integración de diferentes dispositivos que manejan el estándar ZigBee y la conexión de la Pasarela Inteligente Simatic IoT2040 para el acceso a la red de Internet de la empresa SEDEMI S.C.C.

Diseño de hardware

El sistema está formado por los módulos electrónicos ubicados en los puentes grúa y un módulo coordinador localizado en la cabina de control del personal del departamento de Abastecimiento.

Módulo electrónico

Es un dispositivo que permite monitorear el uso del puente grúa mediante la adquisición de señales eléctricas del tablero de control y la transmisión de datos de

forma inalámbrica mediante el protocolo ZigBee. Así también medir la distancia entre puentes grúa y suspender el movimiento cuando están en riesgo de colisión.

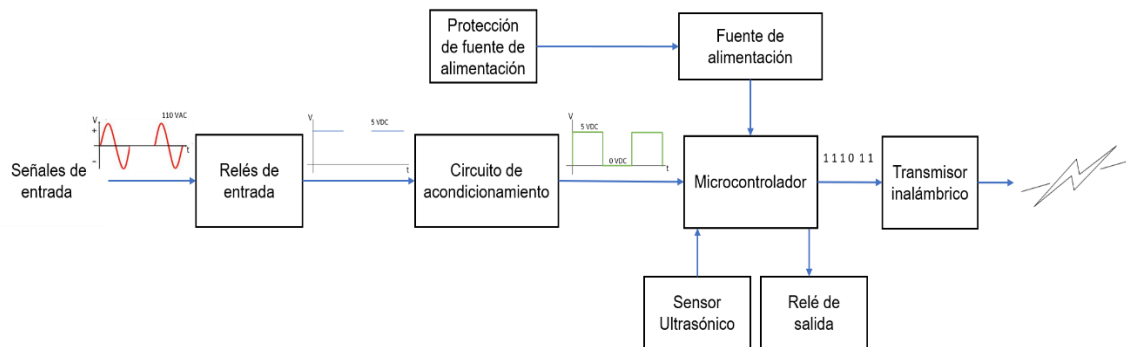
Los componentes del módulo electrónico son:

- Relés de entrada y salida
- Circuito de acondicionamiento
- Microcontrolador
- Transmisor inalámbrico
- Fuente de alimentación DC
- Protección de fuente 12 VDC
- Sensor ultrasónico

En la Figura 15 se presenta el diagrama de bloques del módulo electrónico.

Figura 15

Diagrama de bloques del módulo electrónico

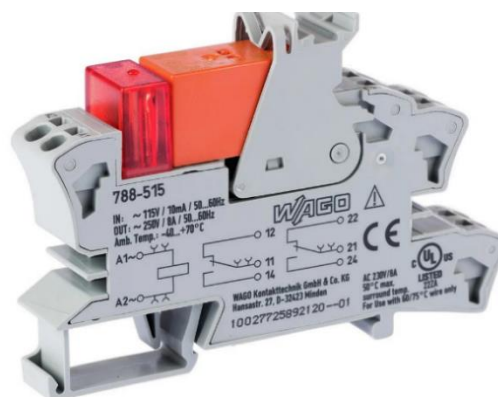


Relés de entrada y salida. El nivel de voltaje del circuito de control de los puentes grúas es 110 VAC, debido a que el microcontrolador opera con niveles de voltaje VDC, se emplean una serie de relés de entrada que permite obtener señales eléctricas en corriente continua y aislar el circuito de control actual del módulo

electrónico. Para esto se ha escogido el relé tipo bornera con voltaje de bobina de 115 VAC, mismo que se presenta en la Figura 16 y cuyas características se indican en la Tabla 14.

Figura 16

Relé tipo bornera con bobina de 115 VAC



Nota: Tomado de *Relé bornera 788-515*, por catálogo de Módulos y de Optoacopladores WAGO, 2022. <https://www.wago.com/es/m%C3%B3dulos-de-rel%C3%A9s-y-de-optoacopladores/m%C3%B3dulo-con-rel%C3%A9/p/788-515>

Tabla 14

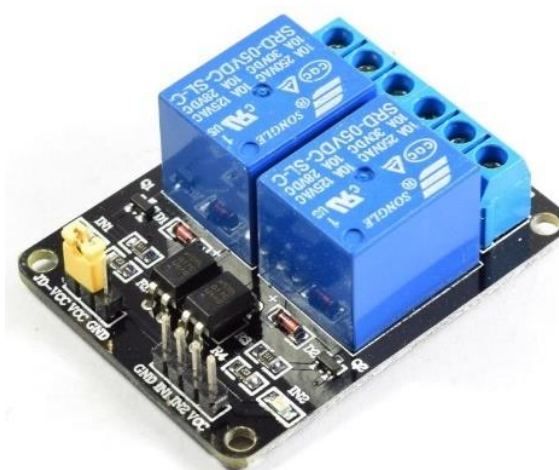
Características del relé tipo bornera 788-515

Característica	Valor
Voltaje de entrada	115 VAC
Corriente de consumo	10 mA
Frecuencia de entrada	50-60 Hz
Voltaje de salida máxima	250 VAC
Corriente de salida máxima	8 A
Frecuencia de salida	50-60 Hz
Salidas NA	2
Salidas NC	2

El relé de salida se emplea para suspender el paso de la señal eléctrica que activa el movimiento de traslación del puente grúa cuando este se encuentra en peligro de colisión. Para ello se utiliza un módulo relé de 2CH presentado en la Figura 17 que es activado por el microcontrolador y maneja señales eléctricas de hasta 250 VAC a 10 A, sus características se indican en la Tabla 15.

Figura 17

Módulo Relé 2CH



Nota: Tomado de *Módulo Relé 5V 2 canales con optoacopladores*, por ES ELECTROSTORE, 2022. <https://gruoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/modulos-rele/modulo-rele-5v-2-canales-con-optoacopladores/>

Tabla 15

Características del módulo relé 2CH 5 VDC

Característica	Valor
Voltaje de funcionamiento	5 VDC
Señal de control	3.3 o 5 VDC
Canales	2
Relé	SRD-05VDC-SL-C

Característica	Valor
Capacidad máxima	250 VAC/10 A, 30 VDC/10 A
Tiempo de acción	5-10 ms
Leds indicadores	2

Nota: Adaptado de *Datasheet Módulo Relay 2CH 5VDC*, por Naylamp Mechatronics, 2020. <https://naylampmechatronics.com/drivers/31-modulo-relay-2-canales-5vdc.html>

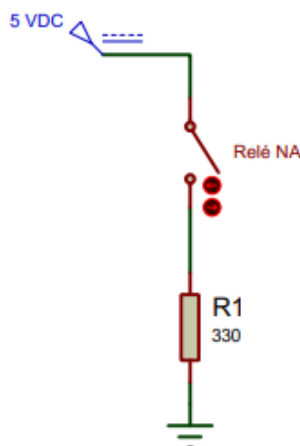
Circuito de acondicionamiento. Para generar las señales digitales con niveles de voltajes admisibles por el microcontrolador, se desarrolla un circuito de acondicionamiento que responde a:

$$Señal\ digital = \begin{cases} 5\ VDC, & \text{relé de entrada} = \text{activado} \\ 0\ VDC, & \text{relé de entrada} = \text{desactivado} \end{cases}$$

El circuito diseñado es un circuito pull-up, indicado en la Figura 18. Se debe tomar en cuenta que la resistencia pull-up calculada debe ser mayor a 125 ohmios, según la ecuación 3.1, para un voltaje de fuente de 5 VDC, un voltaje mínimo de 0 VDC y un nivel de corriente máxima de entrada de 40 mA que es la permitida en los pines de entrada digitales del microcontrolador.

Figura 18

Circuito Pull-Up



$$R_{pull-up} = \frac{V_{fuente} - V_h}{I_{pc}} \quad (3.1)$$

$$R_{pull-up} = \frac{5 \text{ VDC} - 0 \text{ VDC}}{40 \times 10^{-3} \text{ A}} = 125 \text{ } [\Omega]$$

La resistencia comercial seleccionada para el circuito de acondicionamiento es de 330 ohmios, que de acuerdo a la ecuación 3.1 genera una corriente de 15.15 mA que es menor que al nivel de corriente máxima de entrada.

Microcontrolador. Se emplea una placa Arduino Nano que incorpora un microcontrolador ATmega328 para la adquisición de señales y programación de lógica de control, las características de la placa Arduino Nano se describen en la Tabla 16.

Tabla 16

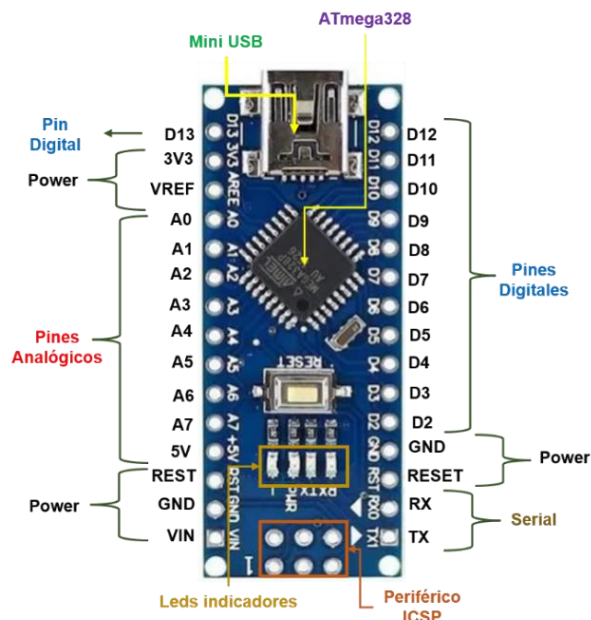
Características de la placa Arduino Nano

Característica	Valor
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de entrada	7-12 VDC
Voltaje de operación	5 VDC
E/S digitales	14
E/S analógicas	8
Memoria	32 KB
EEPROM	1 KB
SPRAM	2 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Nota: Adaptado de *Arduino Nano y características*, por Juan Damián, 2020.

<https://www.electrogeekshop.com/arduino-nano-pinout-y-caracteristicas>

La Figura 19 muestra la distribución de componentes de la placa Arduino Nano, que además se ha dotado de comunicación inalámbrica mediante un módulo XBee.

Figura 19*Arduino Nano*

Nota: Adaptado de *Arduino Nano*, por Naylamp Mechatronics, 2022.

<https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/88-arduboard-nano-ch340g-mini-usb.html>

Tarjeta Nano IO Shield-XBee. Los datos obtenidos del puente grúa son transmitidos mediante comunicación inalámbrica usando el estándar ZigBee. Para ello se emplea una tarjeta de expansión Nano IO Shield-XBee que incorpora una interfaz de comunicación serial entre la placa Arduino Nano y un dispositivo XBee, sus características se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17

Características de la tarjeta Nano IO Shield-XBee

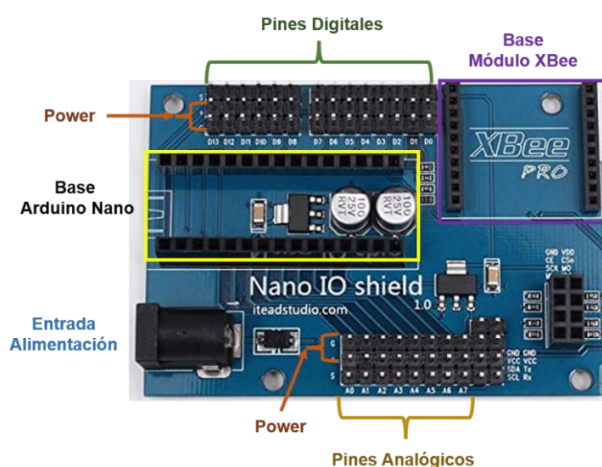
Característica	Valor
Pines E/S analógicos	8
Pines E/S digitales	14

Característica	Valor
Conector alimentación	7-12 VDC
Interfaz XBee	1

La Figura 20 muestra las partes principales de la tarjeta de expansión Nano IO Shield-XBee.

Figura 20

Tarjeta expansión Nano IO Shield-XBee



Nota: Adaptado de *Tarjeta de expansión Nano IO Shield-XBee*, por Amazon, 2022.

<https://app.bibguru.com/p/b5db7cf5-8bbd-4f36-a14f-4f0eedf22290>

Transmisor inalámbrico. Para transmitir los datos del puente grúa desde el módulo electrónico al módulo coordinador, utilizando el estándar ZigBee es necesario utilizar un dispositivo inalámbrico XBee.

XBee S2C. Es un módulo de comunicación inalámbrica de bajo consumo de energía que opera en la banda de los 2.4 Ghz que permiten la implementación de las diferentes topologías inalámbricas (Bell, 2020).

El módulo XBee S2C dispone de un periférico de comunicación serial para la transferencia de datos de forma rápida. Las especificaciones de los módulos XBee S2C se presentan en la Tabla 18 y se muestran en la Figura 21.

Tabla 18

Especificaciones módulo XBee S2C

Característica	Valor
Frecuencia	2.4 GHz
Velocidad máxima	250000b/s
Modulación	DSSS
Rango máximo	1200 m
Sensibilidad	-102 dBm
Voltaje	2.1-3.6 VDC
Interfaz	SPI, UART
Memoria	32kB Flash, 2kB RAM
Temperatura de operación	-40°C a 85°C

Nota: Adaptado de *Comunicación Inalámbrica para proyectos*, por XBee ZB S2C TH, 2017. <https://xbee.cl/xbee-zb-s2c-th/>

Figura 21

Módulo XBee S2C



Nota: Tomado de Módulo XBee, por Digi-Key, 2022.

<https://www.digikey.com/es/products/detail/digi/XB24CAPIT-001/6010101>

Fuente de alimentación DC. Para alimentar la tarjeta de expansión del microcontrolador con interfaz XBee se utiliza una fuente de alimentación de 12 VDC presentada en la Figura 22 y cuyas características se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Características de la fuente de alimentación DC

Característica	Valor
Voltaje de entrada	110-220 VAC
Corriente de entrada	1 A
Frecuencia	50-60 Hz
Voltaje de salida	12 VDC
Corriente de salida	5 A

Nota: Adaptado de *Fuente de poder 12V 5A 60W – 110/220VAC*, por FixOEM, 2022.

<https://www.fixoem.com/products/fuente-de-poder-12v-5a-60w-110-220-eliminador-de-voltaje>

Figura 22

Fuente de alimentación 110-220 VAC a 12 VDC 5A



Nota: Tomado de *Fuente de poder 12V 5A 60W – 110/220 VAC*, por FixOEM, 2022.

<https://www.fixoem.com/products/fuente-de-poder-12v-5a-60w-110-220-eliminador-de-voltaje>

Protección de fuente 12 VDC. La fuente de alimentación de 110-220 VAC a 12 VAC 5A tiene un consumo de 1 A de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Para dimensionar la protección se calcula la corriente de protección (I_p) conforme a la ecuación 3.2.

$$I_p = 1.25 \times I \quad (3.2)$$

Se emplea como elemento de protección un interruptor termomagnético con rango de corriente de protección correspondiente a 4 [A], que se muestra en la Figura 23, debido a que el consumo de la fuente de alimentación aplicando la ecuación 3.2 es de 1.25 [A] y se reserva 3 [A] para otras posibles conexiones futuras.

Figura 23

Termomagnético 4A



Nota: Tomado de *Interruptor termomagnético 1x4A*, por catálogo de productos Schneider, 2021

Sensor Ultrasónico. El método ultrasónico para medir distancias o detectar objetos es uno de los mejores debido a que los colores o el tipo de material de la superficie no afectan en la detección, además de que resultan ser inmunes a las partículas de polvo que circulan dentro del ambiente de trabajo (Cerdá & Gas, 2020).

Para ello se ha seleccionado el sensor HC-SR04 debido a su buen rango de medición, reducido tamaño, bajo consumo energético y costo. Las características del sensor HC-SR04 se describen en la Tabla 20.

Tabla 20

Características del sensor ultrasónico HC-SR04

Característica	Valor
Voltaje de funcionamiento	5 VDC
Corriente de operación	15 mA
Rango	2cm a 500 cm
Precisión	3 mm
Frecuencia	40 KHz
Duración mínima del pulso de disparo	10 uS

Nota: Adaptado de *Datasheet Sensor Ultrasónico HC-SR04*, por Naylamp Mechatronics, 2020. <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

Módulo coordinador

Es el encargado de recibir los datos enviados por cada uno de los módulos electrónicos, para posteriormente obtener la información del funcionamiento de los puentes grúa y presentarlos al usuario por medio de la aplicación web o el chatbot. Los componentes del módulo coordinador son:

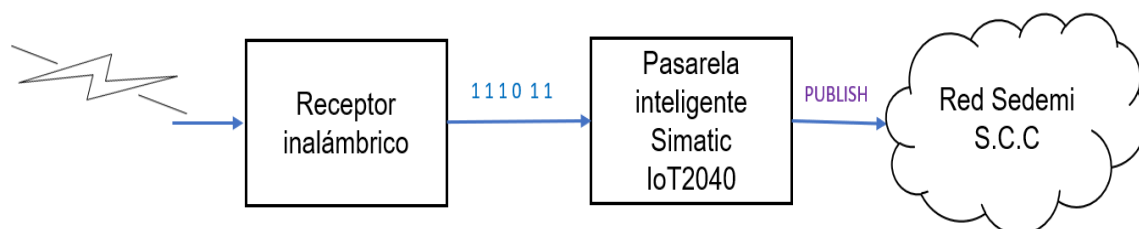
- Receptor inalámbrico
- Pasarela Inteligente Simatic IoT2040

Para la recepción de los datos proveniente del módulo electrónico se utiliza un módulo XBee S2C que por medio de la comunicación serial permite transmitir los datos

hacia la pasarela inteligente Simatic IoT2040, el diagrama de bloques del módulo coordinador se presenta en la Figura 24.

Figura 24

Diagrama de bloques del módulo coordinador



Pasarela Inteligente. En múltiples aplicaciones de Internet de las Cosas e industria 4.0 se requiere la integración de tecnologías de operación y las tecnologías de información y comunicación (TICS). La plataforma proporcionada por estos equipos permite recolectar, procesar y transferir datos dentro de un sistema aplicando múltiples protocolos de comunicación (Belmonte, 2018). Para el desarrollo del proyecto se utilizó la pasarela inteligente de comunicación SIEMENS IoT2040 que utiliza la empresa SEDEMI S.C.C.

SIMATIC IOT2040. Es un módulo desarrollado por la empresa SIEMENS para la implementación de aplicaciones de Internet de las Cosas y se presenta en la Figura 25. Las características de este módulo se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Características SIMATIC IoT2040

Característica	Valor
Voltaje de alimentación	9.36 VDC
Corriente	1.4 A
Procesador	Intel Quark x 1000, 400 MHz

Característica	Valor
RAM	512 Mb
BIOS SPI Flash	8 Mb
USB tipo A	USB 2.0
LAN Interface	X1 P1, RJ45 y X2, P1, RJ45
Grado de protección	IP20
Protocolos	S7, Ethernet/IP, Modbus TCP, Modbus RTU, MQTT, CoAP

Nota: Tomado de Diseño e implementación de sistema de supervisión, control y adquisición de datos con IoT: Aplicación en sistema de riego para jardines verticales, por David Sampedro, 2019.

Figura 25

SIMATIC IOT2040



Nota: Tomado de Pasarela Inteligente de comunicación SIMATIC IOT2040, por Catálogo SIEMENS, 2022. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7647-0AA00-1YA2>

La Tabla 22 detalla el costo aproximado para la implementación de un módulo electrónico y un módulo coordinador de acuerdo al mercado local.

Tabla 22

Costo aproximado del proyecto

Elemento	Cantidad	Precio unitario [\$]	Precio total [\$]
Relé tipo bornera 788-515	9	14	126
Fuente 112/220 VAC a 12 VDC 5A	1	6	6
Interruptor termomagnético 1x4 A	1	6	6
Tarjeta Nano IO Shield-XBee	1	20	20
Arduino Nano	1	10	10
Módulo XBee S2C	2	40	80
Circuito de acondicionamiento	1	10	10
Módulo Relé 2CH 5VDC	1	3	3
Módulo USB para XBee	1	10	10
Pasarela Inteligente Simatic IoT2040	1	520	520
Caja plástica	1	22	22
TOTAL			813

Distribución física

Módulo electrónico. El diagrama de bloques que representa la distribución de los componentes y flujo de conexiones principales dentro del módulo electrónico se muestra en la Figura 26, mientras que en la Figura 27 se presenta el circuito de conexión eléctrica general.

Figura 26

Diagrama de bloques módulo electrónico

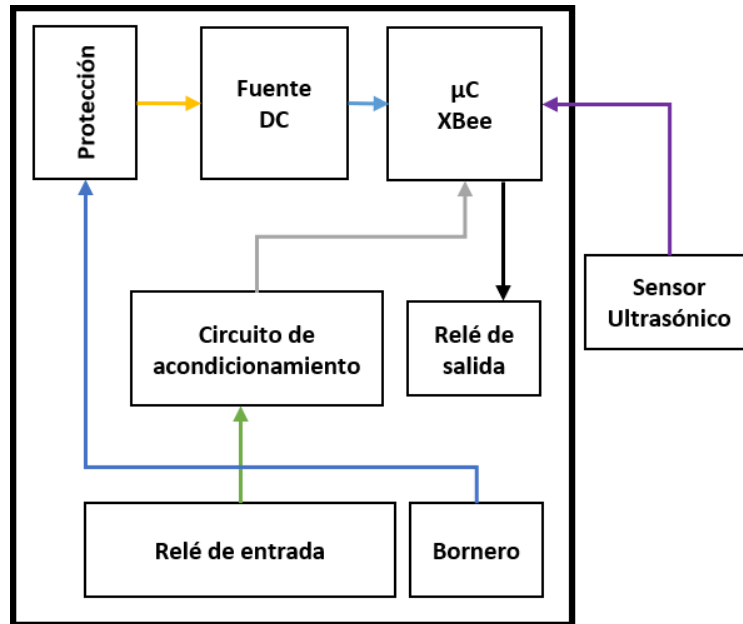
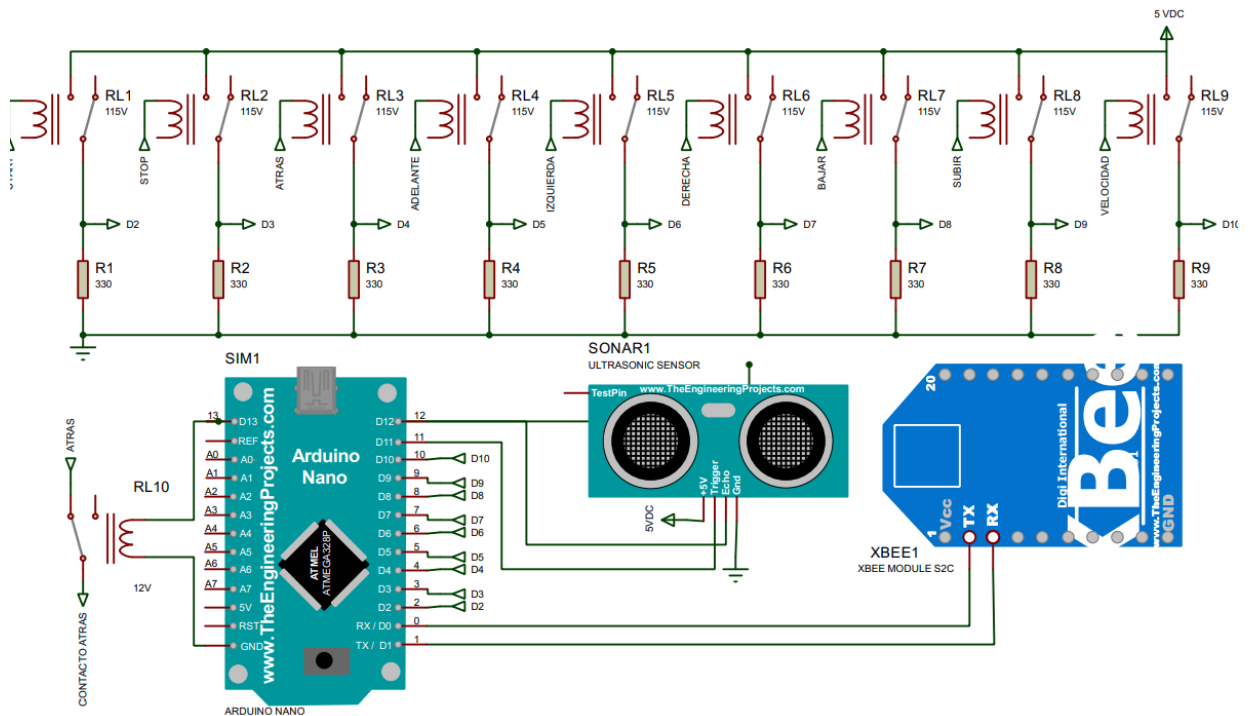


Figura 27

Circuito de conexión de módulo electrónico



Diseño de la red

Diseño de red inalámbrica

La red inalámbrica de área personal (WPAN) se encuentra conformada por módulos XBee S2C configurados como dispositivos finales y un módulo XBee S2C configurado como coordinador, estos dispositivos se comunican por medio del estándar ZigBee en la banda de 2.4 GHz. La Tabla 23 muestra la configuración empleada para los módulos XBee S2C que se encuentran en la red.

Tabla 23

Configuración de red inalámbrica

Dispositivo	PAN ID	Coordinar Enable	Función
Dispositivo final 1	12xa	Disabled [0]	Enviar datos del puente grúa 1 al coordinador
Dispositivo final 2	12xb	Disabled [0]	Enviar datos del puente grúa 2 al coordinador
Coordinador	12xc	Enabled [1]	Controlar la red ZigBee Recibir los datos de los dispositivos finales

Red de área local (LAN)

La red de área local corresponde a la red de datos interna de la empresa SEDEMI S.C.C. Esta red local de tipo empresarial dispone de una red clase C (172.XXX.XXX.XXX/24) con máscara de 24 bits, típicamente usada en redes privadas de tamaño pequeño como es la red de SEDEMI S.C.C.

Para incorporar la pasarela inteligente Simatic IoT2040 y el servidor local se solicitó al Departamento de Sistemas dos direcciones IPs fijas para que los equipos

estén comunicados y tengan acceso a Internet. Además de que se mantengan las políticas de seguridad TI. La Tabla 24 muestra el direccionamiento IP de los dispositivos incorporados a la red.

Tabla 24

Direccionamiento IP de equipos

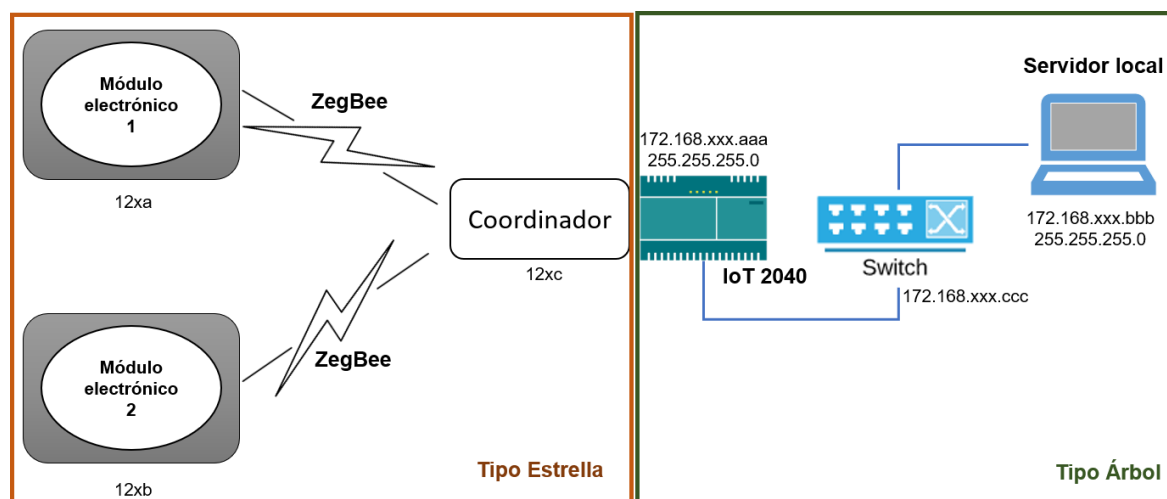
Dispositivo	IP	Máscara de red	Puerta de enlace
SIMATIC IoT2040	172.168.xxx.aaa	255.255.255.0	172.168.xxx.ddd
Servidor local	172.168.xxx.bbb	255.255.255.0	172.168.xxx.ddd

Topología de red

La topología de la red inalámbrica ZigBee es del tipo estrella, donde los dispositivos finales correspondientes a los módulos electrónicos están comunicados directamente al nodo coordinador para el envío de datos. Mientras la red empresarial de SEDEMI S.C.C. es del tipo árbol permitiendo la comunicación entre la pasarela inteligente Simatic IoT2040 y el servidor local y el acceso a internet. La Figura 28 muestra la topología de red del sistema.

Figura 28

Topología de red



Diseño de software

Diseño de lógico del microcontrolador

Se requiere desarrollar una secuencia que permita programar de forma efectiva el microcontrolador optimizando el número de recursos internos. En la Tabla 25 se describen las variables para la adquisición de datos y acciones de control respectivamente.

Tabla 25

Variables del proceso

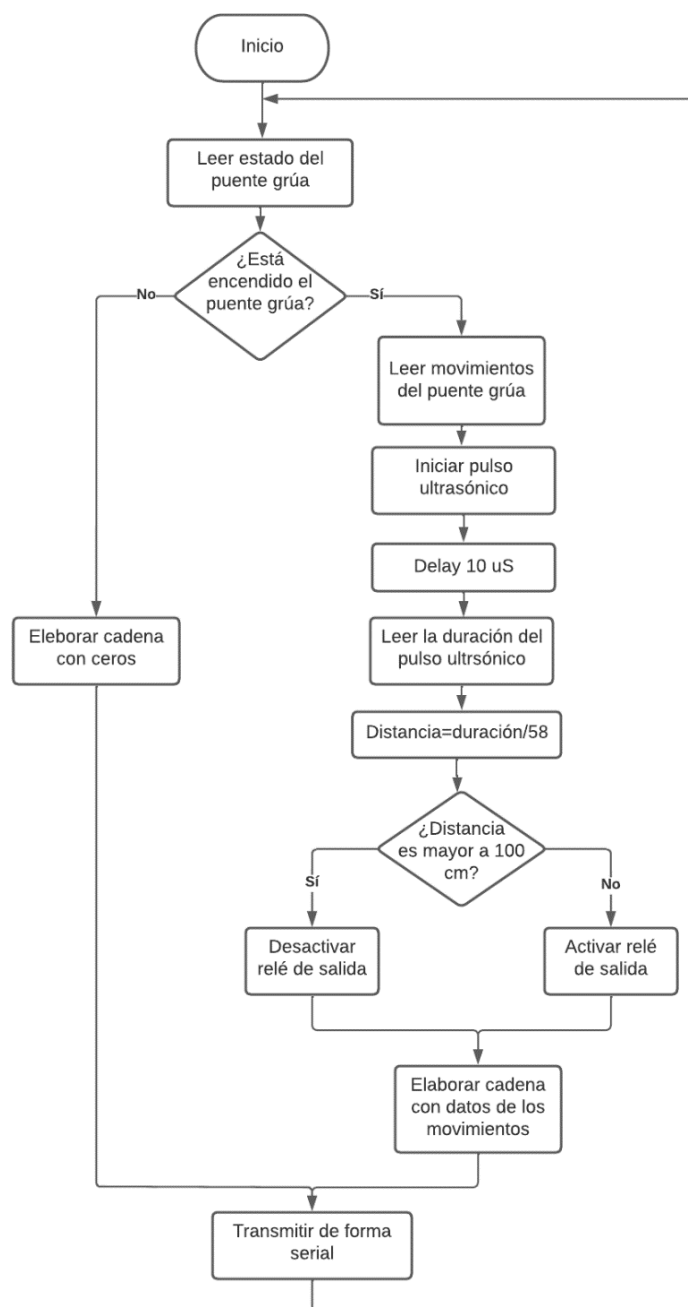
Variable	Descripción
Start	Indica el estado de encendido
Stop	Indica el estado de apagado
Atrás	Indica el movimiento hacia atrás
Adelante	Indica el movimiento hacia delante
Izquierda	Indica el movimiento hacia la izquierda
Derecha	Indicada el movimiento hacia la derecha
Bajar	Indica el movimiento hacia abajo
Subir	Indica el movimiento hacia arriba
Velocidad	Indica la velocidad de funcionamiento
Duración	Indica el tiempo del pulso ultrasónico
Distancia	Indica la distancia detectada

Flujo de operación. La Figura 29 muestra el diagrama de flujo para medir la distancia, ejecutar la lógica de control y adquirir los datos del puente grúa. En la secuencia primero se verifica el estado del puente grúa, cuando el puente grúa esté encendido se realiza una lectura de todas las direcciones del movimiento del puente

grúa, consecuentemente se mide la distancia y se ejecuta una acción de control para permitir o bloquear el movimiento de traslación y finalmente se genera una cadena de datos con los valores leídos. Sin embargo, cuando el puente grúa está apagado, los valores de la cadena son ceros.

Figura 29

Diagrama de flujo del microcontrolador



La distancia de referencia de 100 cm fue establecida de acuerdo a pruebas de manejo de los puentes grúa, realizadas por el personal del departamento de Investigación y Desarrollo, la misma que permite frenar totalmente al puente grúa antes de que colisione.

El puente grúa recorre una distancia promedio de un metro cada 120 segundos o 0.85 cm/seg, por lo tanto, el tiempo mínimo de 10 useg de la duración del pulso ultrasónico no afecta las lecturas constantes de las señales de entrada. Finalmente, la cadena de datos tiene la siguiente estructura:

{Identificador

/Estado de puente, atrás, adelante, izquierda, derecha, abajo, arriba, velocidad, 0,0, distancia}

Donde:

- El parámetro identificador de puente puede ser P1 o P2
- El parámetro estado de puente puede ser 0 o 1 si el puente grúa esté encendido o apagado respectivamente
- El parámetro atrás es 1 si el puente grúa se mueve hacia atrás
- El parámetro adelante es 1 si el puente grúa se mueve hacia adelante
- El parámetro izquierda es 1 si el puente grúa se mueve hacia la izquierda
- El parámetro derecha es 1 si el puente grúa se mueve hacia la derecha
- El parámetro bajar es 1 si el puente grúa se mueve hacia la abajo
- El parámetro subir es 1 si el puente grúa se mueve hacia la arriba
- El parámetro velocidad es 0 o 1 si el puente grúa se mueve lento o rápido respectivamente

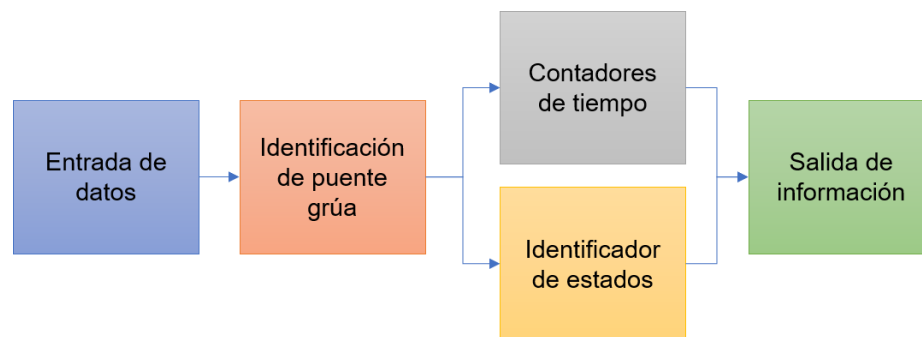
- El parámetro distancia contiene el valor de la distancia medida por el sensor ultrasónico.

Diseño de flujo de procesamiento de datos

Una vez recibidos los datos de los módulos electrónicos se requiere separarlos y procesarlos con el fin de obtener la información de cada uno de los puentes grúa. En la Figura 30 se muestra el diagrama de bloques del flujo del procesamiento de datos.

Figura 30

Diagrama de bloques del flujo de procesamiento de datos



La etapa de identificación de puente grúa permite reconocer el módulo electrónico del cual provienen los datos, cada mensaje recibido en el coordinador tiene un elemento identificador inicial (P1 o P2) con esto los mensajes son separados al flujo correspondiente.

En la etapa de identificador de estados se determina:

- Estado de encendido o apagado del puente grúa
- El motor 1 realiza el movimiento de traslación cuando la dirección de movimiento es hacia atrás o hacia delante.
- El motor 2 realiza el movimiento de troyelling cuando la dirección de movimiento es hacia la izquierda o hacia la derecha.

- El motor 3 realiza el movimiento de izaje cuando la dirección de movimiento es hacia abajo o hacia arriba.
- Velocidad del puente grúa (lenta o rápida)

En la etapa “contadores de tiempo” se calcula el tiempo de funcionamiento del motor 1, motor 2 y motor 3 y posteriormente el tiempo de funcionamiento total del puente grúa. Cuando el operador realiza un movimiento en cualquier dirección del puente grúa, el valor del parámetro respectivo de la cadena de datos cambia a 1.

Debido a que los mensajes se envían cada segundo, se realiza un contador parcial por parámetro que incrementa en 1 cuando su valor es 1, de tal manera que el tiempo parcial de cada dirección de movimiento se calcula aplicando la ecuación 3.3.

$$Tiempo\ parcial = \frac{\text{contador parcial por parámetro}}{3600} [h] \quad (3.3)$$

De esta forma se puede obtener en variables independientes tiempo como se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26

Variables de tiempo

Tiempo de funcionamiento	Variable
Atrás	TAPX
Adelante	TADPX
Izquierda	TIPX
Derecha	TDPX
Bajar	TBPX
Subir	TSPX

Para calcular los tiempos de funcionamiento del motor 1, motor 2, motor 3 y el tiempo de funcionamiento total se emplean las siguientes ecuaciones:

$$Motor1 = TAPX + TADPX \quad (3.4)$$

$$Motor2 = TIPX + TDPX \quad (3.5)$$

$$Motor3 = TBPX + TSPX \quad (3.6)$$

$$TFPX = Motor1 + Motor2 + Motor3 \quad (3.7)$$

La metodología empleada para el cálculo de los tiempos de funcionamiento fue presentada por el Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa SEDEMI S.C.C. después de ser evaluada y documentada en el Informe del proyecto “Monitoreo de factor de operación de soldadoras Lincoln” (Moncayo & Loya, 2020).

Para la salida de información se agrupan los indicadores y los temporizadores. Los mismos que serán almacenados en la base de datos para su posterior visualización en la aplicación web, así también se emplearán en el flujo del sistema de notificación por chatbot.

Diseño de base de datos

La base de datos empleada en el proyecto es del tipo estructurada y de acuerdo a los requerimientos de información del Departamento de Mantenimiento se define su estructura. Para el monitoreo y gestión del puente grúa la información almacenada es la siguiente:

- Monitoreo actual de los puentes grúa
- Tiempos de funcionamiento del puente grúa 1
- Tiempos de funcionamiento del puente grúa 2
- Reinicio de contadores

- Planificación de actividades de mantenimiento
- Registro de usuarios
- Registro de reinicios y colisiones

Diseño conceptual. La base de datos está formada por ocho entidades cada una con sus respectivos atributos y se muestran a continuación:

Tabla 27

Entidad puente actual

Variable	Descripción
Idpuente	Identificador del número de puente grúa
le	Estado del puente grúa
la	Movimiento atrás
lad	Movimiento adelante
lz	Movimiento izquierdo
ld	Movimiento derecho
lb	Movimiento bajar
lsu	Movimiento subir
lv	Velocidad del puente
Tra	Movimiento de traslación
Tro	Movimiento de troyelling
lza	Movimiento de izaje
Motor1	Tiempo de funcionamiento del motor 1
Motor2	Tiempo de funcionamiento del motor 2
Motor3	Tiempo de funcionamiento del motor 3
Tiempototal	Tiempo de funcionamiento total del puente grúa

Tabla 28*Entidad puente grúa 1*

Variable	Descripción
Id	Identificador de dato
Motor1	Tiempo de funcionamiento del motor 1
Motor2	Tiempo de funcionamiento del motor 2
Motor3	Tiempo de funcionamiento del motor 3
Tiempofinal	Tiempo de funcionamiento total
Tiempo	Fecha del dato

Tabla 29*Entidad puente grúa 2*

Variable	Descripción
Id	Identificador de dato
Motor1	Tiempo de funcionamiento del motor 1
Motor2	Tiempo de funcionamiento del motor 2
Motor3	Tiempo de funcionamiento del motor 3
Tiempofinal	Tiempo de funcionamiento total
Tiempo	Fecha del dato

Tabla 30*Entidad mantenimiento*

Variable	Descripción
Idmante	Identificador de dato
Puente	Numero de puente grúa
Mantenimiento	Tipo de mantenimiento preventivo o correctivo

Variable	Descripción
Actividad	Trabajo a realizar
Encargado	Técnico responsable del trabajo
Fecha	Fecha de la actividad

Tabla 31*Entidad reinicio*

Variable	Descripción
Id	Identificador de dato
Motor1	Reiniciar contador 1 puente grúa 1
Motor2	Reiniciar contador 2 puente grúa 1
Motor3	Reiniciar contador 3 puente grúa 1
Motor4	Reiniciar contador 1 puente grúa 2
Motor5	Reiniciar contador 2 puente grúa 2
Motor6	Reiniciar contador 3 puente grúa 2

Tabla 32*Entidad usuario*

Variable	Descripción
Idusuario	Identificador de dato usuario
Nombre1	Nombres
Apellido1	Apellidos
Nombre2	Usuario
Apellido2	Contraseña
Ekon	Código de trabajador
Cargo	Cargo administrativo

Variable	Descripción
Acceso	Acceso de administrador o visualizador

Tabla 33*Entidad registro reinicio*

Variable	Descripción
Id	Identificador de dato
Fecha	Fecha de reinicio de contador
Hora	Hora de reinicio de contador
Contador	Contador reiniciado
Usuario	Usuario que reinicio

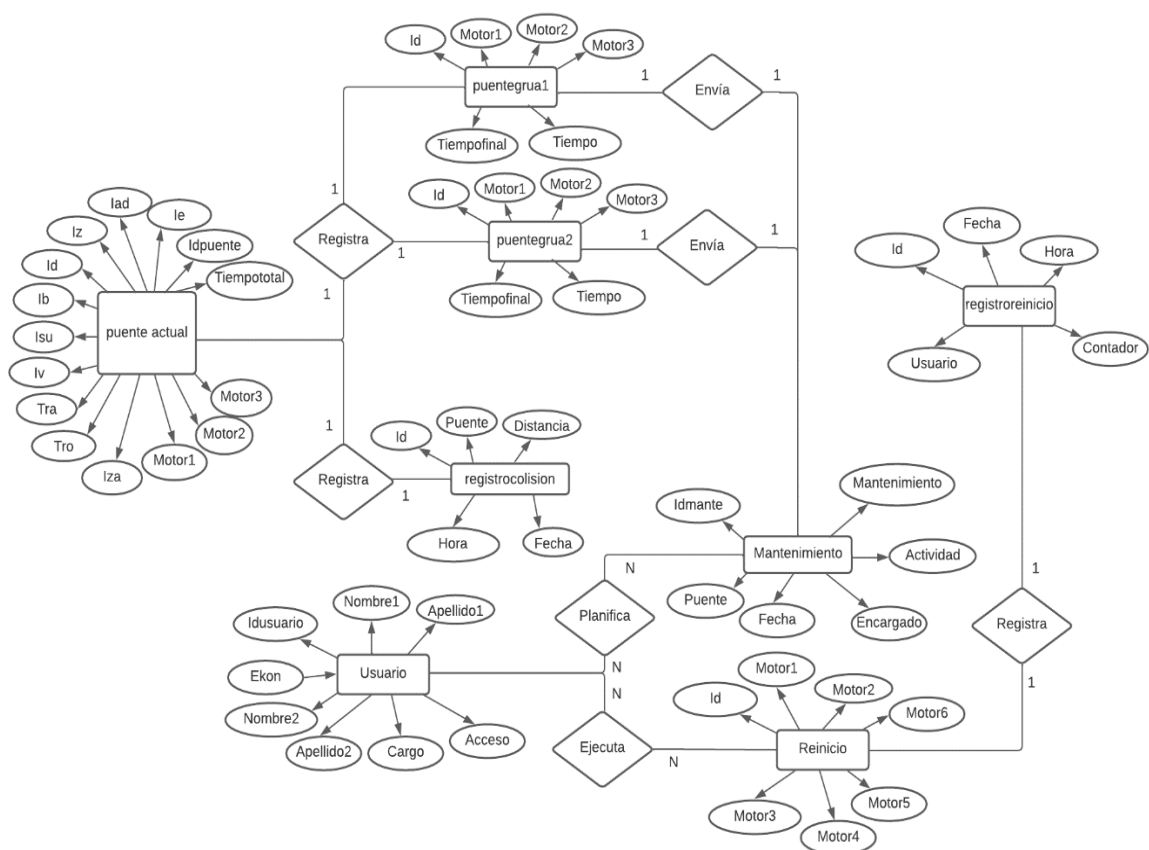
Tabla 34*Entidad registro colisión*

Variable	Descripción
Id	Identificador de dato
Puente	Número de puente grúa
Distancia	Distancia entre puentes
Fecha	Fecha de colisión
Hora	Hora de colisión

Diseño lógico. La Figura 31 presenta el diagrama entidad-relación de la base de datos estructurada diseñada para el monitoreo y gestión del funcionamiento de los puentes grúa.

Figura 31

Diagrama entidad-relación



Las entidades presentadas en la Tabla 28 y Tabla 29 están relacionadas por el número identificador y el tiempo debido a que la información de tiempo de funcionamiento parcial por motor y el tiempo total de funcionamiento de los puentes grúa son almacenados diariamente a las 16:00 horas, que corresponde al horario de fin de jornada matutina. Por políticas internas de la empresa, en la jornada de la noche no se realiza el ingreso de material metálico al área de abastecimiento y el departamento de mantenimiento realiza tareas de mantenimiento a la estructura de los puentes grúa.

La entidad mantenimiento de la Tabla 30 almacena información de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo que se planifican conforme a la situación actual de los puentes grúa, tanto de la estructura mecánica como de la parte

eléctrica. De acuerdo al departamento de Mantenimiento y por políticas internas de la empresa, no se puede planificar el mantenimiento de más un puente grúa en una misma fecha.

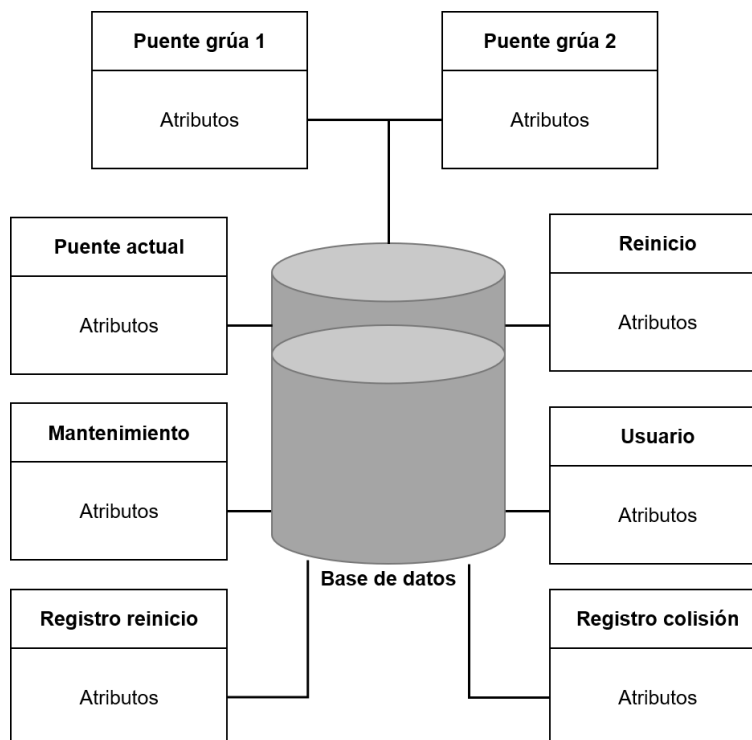
La entidad usuario presentada en la Tabla 32 almacena información del personal que tiene acceso a la aplicación web, debido a que existe una baja rotación de personal dentro del departamento de Mantenimiento e Investigación y Desarrollo, los usuarios que requieren acceso son pocos y sus datos pueden ser almacenados localmente.

En la Tabla 33 se presenta la entidad registro reinicio que almacena la fecha, hora y usuario que ejecutó tareas de reinicio de contadores teniendo acceso como administrador. La entidad registro colisión de la Tabla 34, permite registrar la fecha y hora donde el movimiento de los puentes grúa generó un riesgo de colisión.

Diseño físico. En las entidades creadas se manejan los siguientes tipos de datos:

- Enteros
- Flotantes
- Cadenas de caracteres
- Fecha

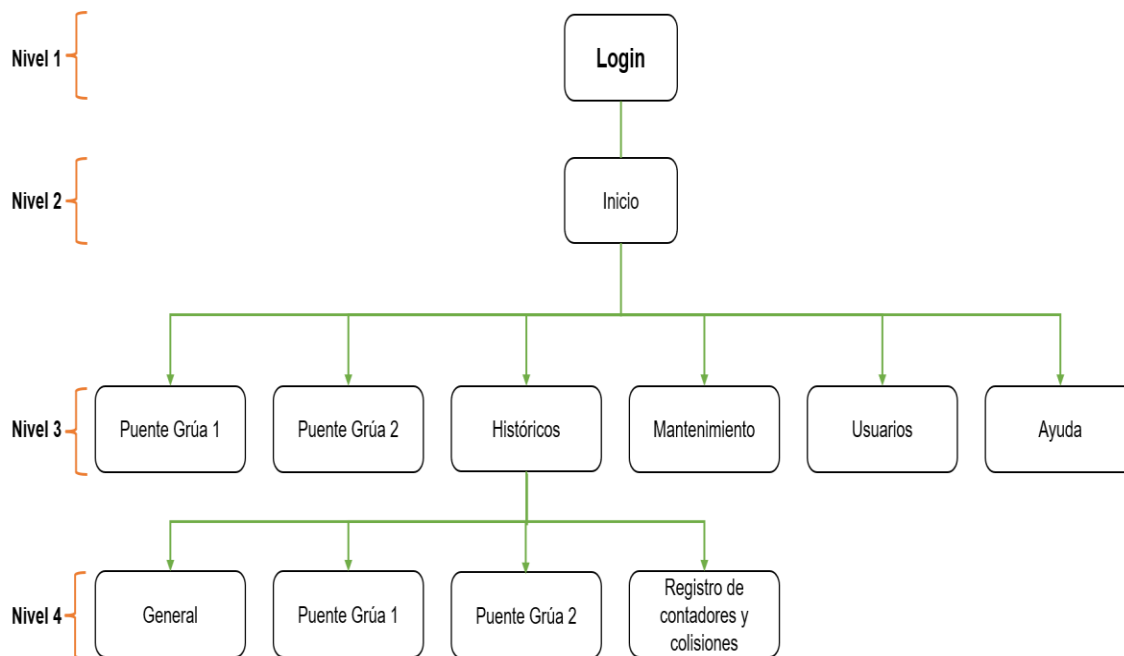
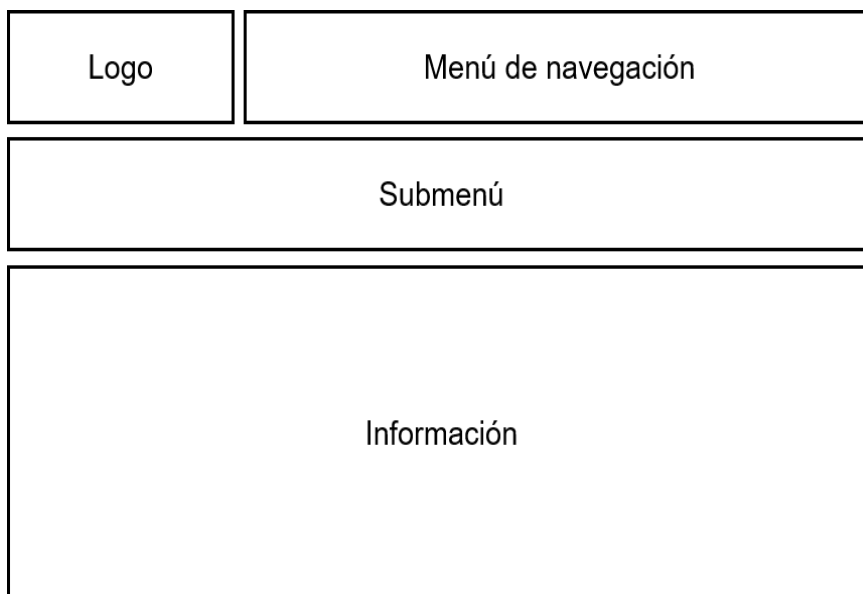
En la Figura 32 se presentan la estructura de la base de datos, donde se puede visualizar la relación entre las entidades puente grúa 1 y puente grúa 2 por el atributo tiempo, mientras que el resto de entidades se manejan por separado para almacenar información que se actualiza en el tiempo de acuerdo al tipo de usuario que puede ser visualizador o administrador.

Figura 32*Estructura de base de datos***Diseño de página web**

En la página web se muestra información correspondiente al funcionamiento de los puentes grúa una vez que los datos recibidos por el módulo coordinador son separados, procesados y almacenados en la base de datos.

Arquitectura de pantallas. La Figura 33 presenta la relación entre las diferentes pantallas de acuerdo a la ejecución del sistema y el tipo de acceso que tiene el usuario.

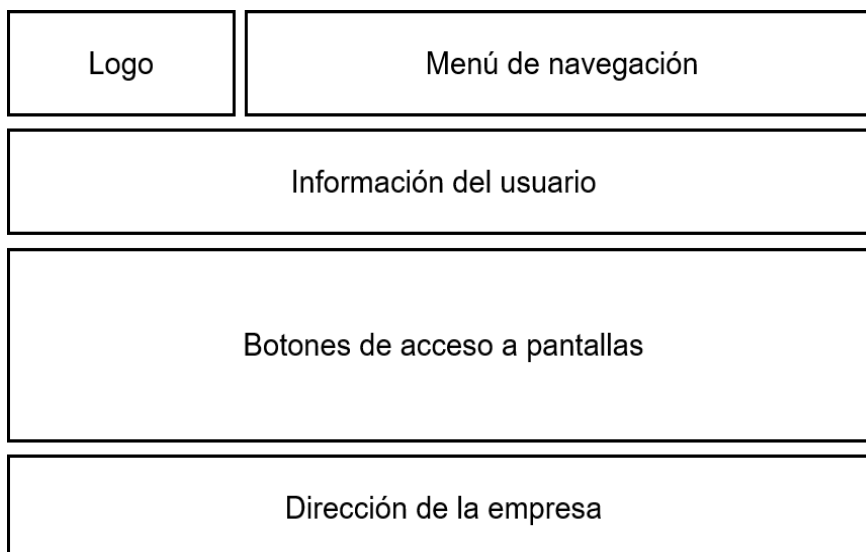
Las normativas brindan al desarrollador guías para la organización de información dentro de las pantallas, así también recomiendan el uso de tonos grises para evitar la fatiga visual, todas las pantallas desarrolladas tienen la distribución presentada en la Figura 34.

Figura 33*Arquitectura de pantallas***Figura 34***Distribución de pantallas*

El menú de navegación cambia conforme el tipo de acceso que tenga el usuario. Por lo tanto, en la Tabla 35 se muestra la accesibilidad a las pantallas cuando el usuario es administrador o visualizador.

Tabla 35*Accesibilidad de pantallas según el tipo de usuario*

Pantallas	Administrador	Visualizador
Inicio	✓	✓
Puente grúa 1	✓	✓
Puente grúa 2	✓	✓
Histórico general	✓	✓
Histórico puente grúa 1	✓	✓
Histórico puente grúa 2	✓	✓
Registro contadores y colisiones	✓	✓
Mantenimiento	✓	✗
Usuarios	✓	✗
Ayuda	✓	✓

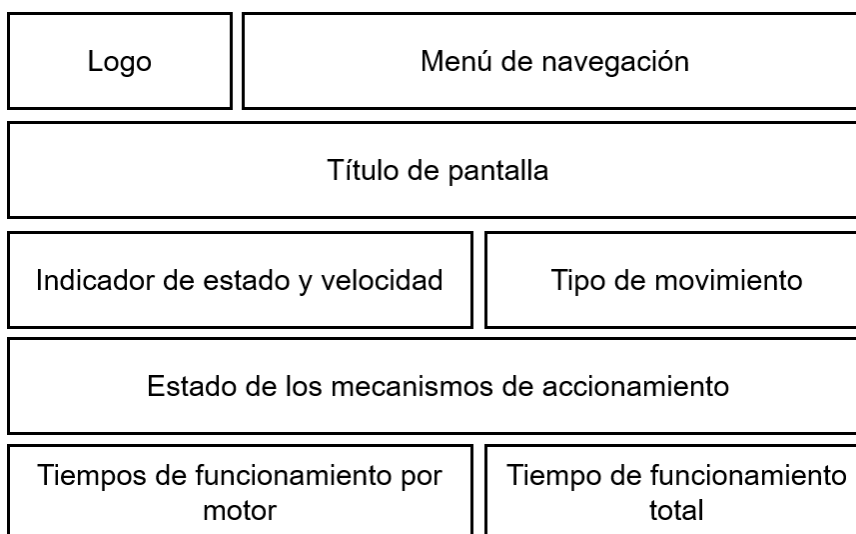
Figura 35*Pantalla de Inicio*

La información que se puede visualizar en la pantalla inicio que se presenta en la Figura 35.

La pantalla puente grúa 1 y puente grúa 2 muestra información acerca del funcionamiento de los puentes grúa y su distribución se indica en la Figura 36.

Figura 36

Pantalla puente grúa 1 y puente grúa 2



La pantalla históricos muestra información diaria de los puentes grúa bajo una métrica de tiempo y dispone de un submenú con las siguientes pantallas:

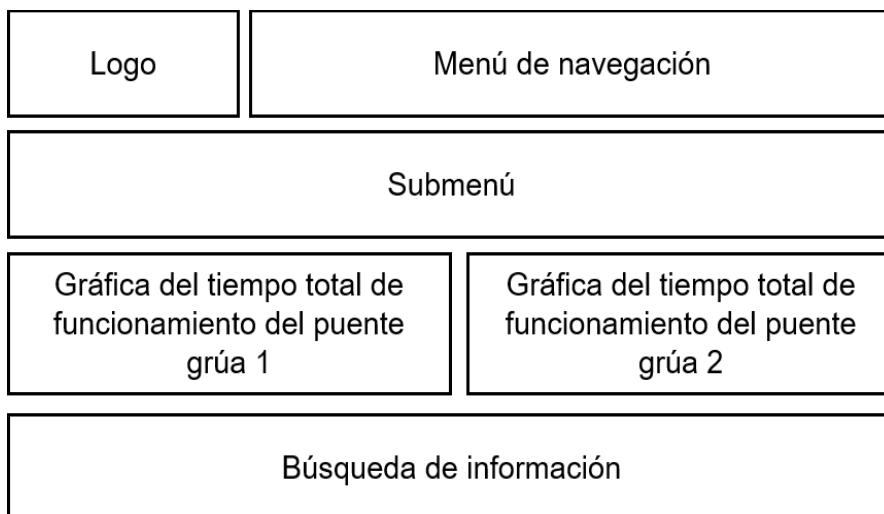
- General
- Puente grúa 1
- Puente grúa 2
- Registro de contadores y colisiones

La pantalla general del submenú de históricos permite visualizar mediante gráficas información sobre el tiempo de funcionamiento total de los puentes grúa, la

gráfica es adaptable de acuerdo a un rango de fechas, el contenido se muestra en la Figura 37.

Figura 37

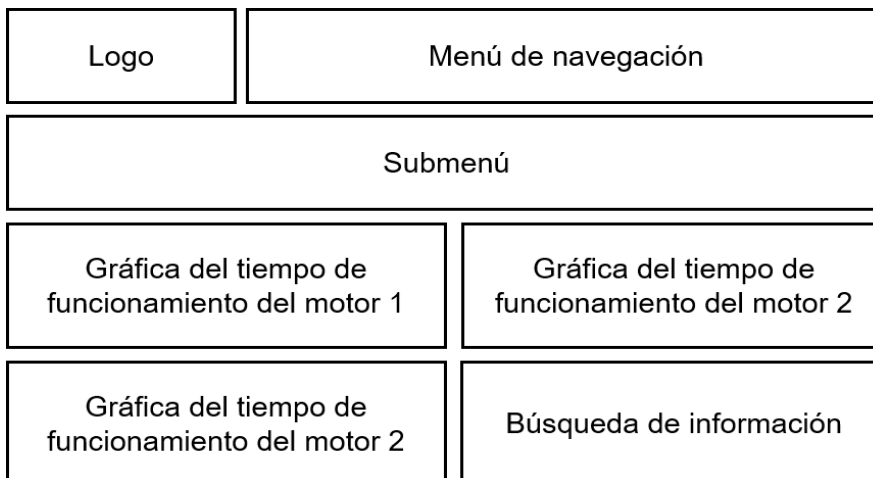
Pantalla general



La pantalla puente grúa 1 y 2 del submenú de históricos permite visualizar mediante gráficas información sobre el tiempo de funcionamiento parcial de los motores de los puentes grúa, las gráficas son adaptables de acuerdo a un rango de fechas, el contenido se muestra en la Figura 38.

Figura 38

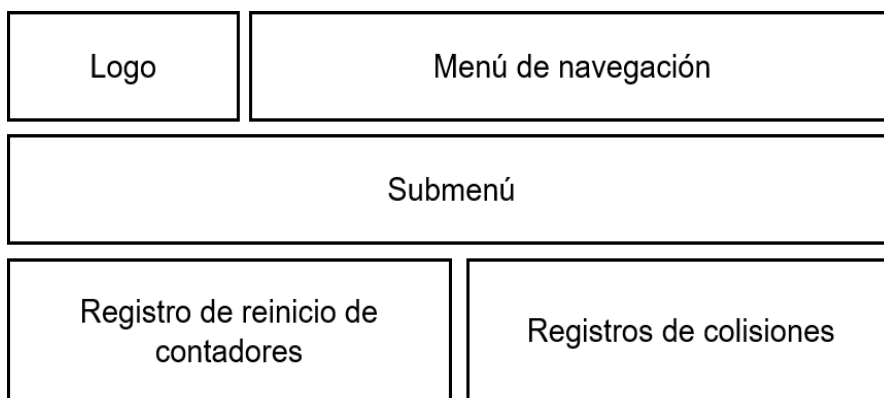
Pantalla puente grúa 1 y 2



La pantalla registro de contadores y colisiones muestra un registro con información de las actividades de reinicio de contadores de los puentes grúa. Así también se registra los eventos de colisión que tienen los puentes grúa que comparten las mismas vigas carrileras, su distribución se muestra en la Figura 39.

Figura 39

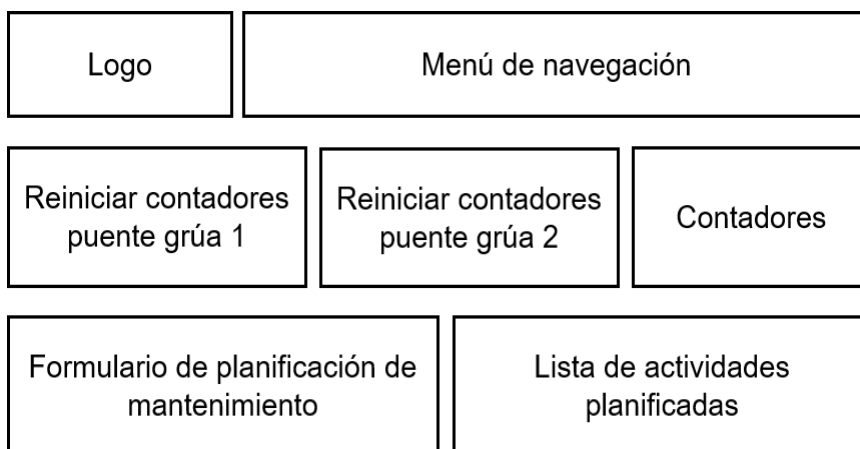
Pantalla registro de contadores y colisiones



La pantalla mantenimiento permite reiniciar los contadores, además de que permite el ingreso y visualización de actividades, las mismas que pueden ser agregadas, modificadas o eliminadas. La distribución se muestra en la Figura 40.

Figura 40

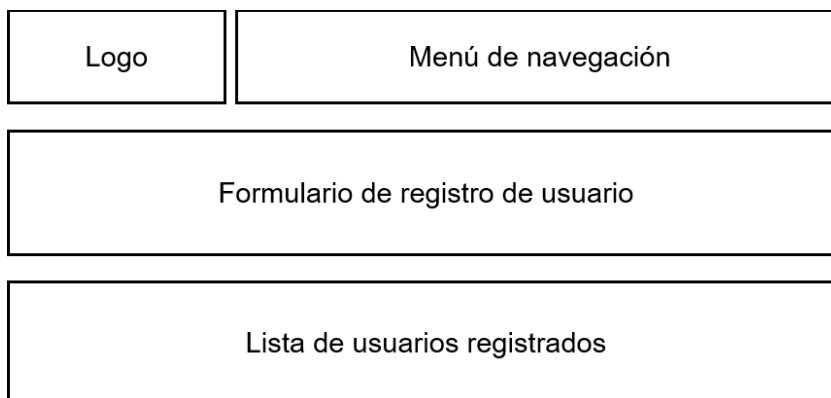
Pantalla de mantenimiento



La pantalla usuarios permite el registro de usuarios al sistema, donde sus datos pueden ser modificados y eliminados. La distribución se presenta en la Figura 41.

Figura 41

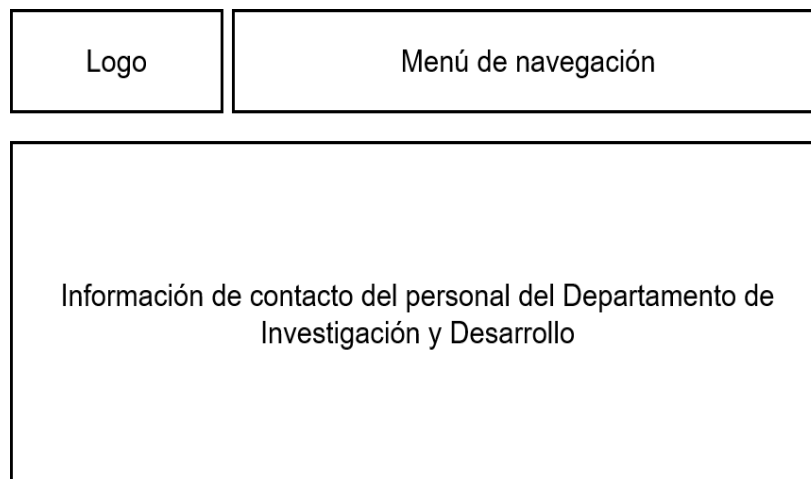
Pantalla usuarios



Finalmente, la pantalla ayuda proporciona al usuario información del personal del departamento de Investigación y Desarrollo, ver Figura 42.

Figura 42

Pantalla ayuda



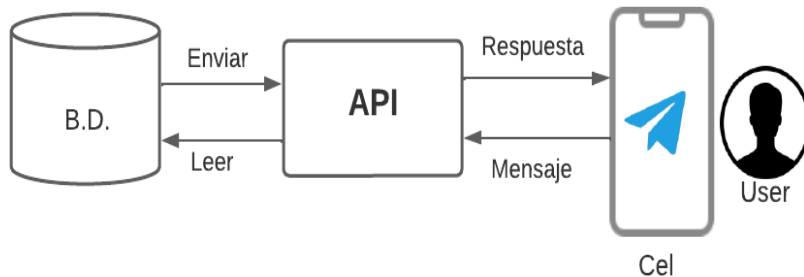
Diseño de chatbot

La implementación del chatbot dentro de la empresa SEDEMI S.C.C. permite principalmente disminuir los costos de integración de sistemas informativos para la

automatización de los procesos, debido a que puede usar las redes sociales como interfaz entre el proceso y el usuario. El diagrama general de la estructura y funcionamiento del chatbot se presenta en la Figura 43.

Figura 43

Diagrama general del chatbot



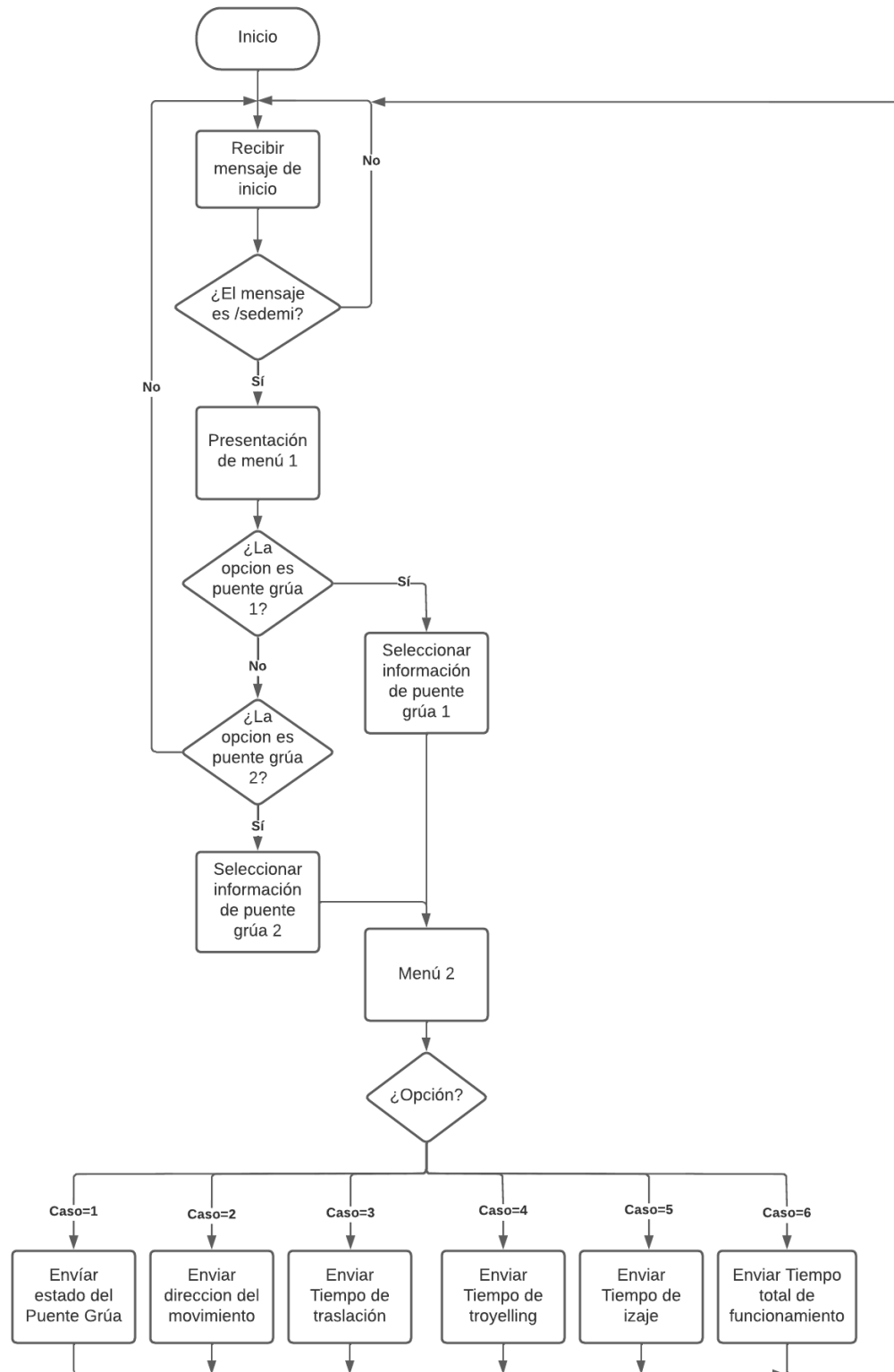
El chatbot proporciona información acerca del funcionamiento de los puentes grúa cuando el usuario lo solicite y está configurado como parte de seguridad para iniciar la conversación solamente cuando recibe la palabra inicial “/sedemi”, así como también la información solicitada es enviada a un único grupo.

En la Figura 44 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de chatbot y la información que puede ser consultada de los puentes grúa por parte de los usuarios mediante la red social Telegram es la siguiente:

- Estado del puente grúa
- Dirección del movimiento
- Tiempo de traslación
- Tiempo de troyelling
- Tiempo de izaje
- Tiempo de funcionamiento total

Figura 44

Flujo del chatbot



La parte del backend del chatbot maneja la información proporcionada por el flujo de procesamiento de datos, mientras que el frontend está conformado por la red social de Telegram que actualmente permite el envío de mensajes de texto, imágenes, audios y videos.

Así también, el chatbot permite realizar las siguientes actividades de notificación:

- Los motores eléctricos alcanzan un tiempo de uso promedio superior a 500 horas debido a que en el plan de mantenimiento de los puentes grúa de la SEDEMI S.C.C. se recomienda realizar una revisión y mantenimiento de la parte eléctrica y mecánica de forma trimestral o semestral.
- Notificación de planificación de tareas de mantenimiento dos días antes a la fecha establecida, con el objetivo de que el encargado del mantenimiento pueda revisar los manuales y planes de mantenimiento de los diferentes equipos y solicitar en bodega los materiales y herramientas para ejecutar la actividad.

Capítulo IV. Implementación y pruebas

La implementación del sistema se realiza conforme al diseño del hardware y software detallado en el capítulo anterior.

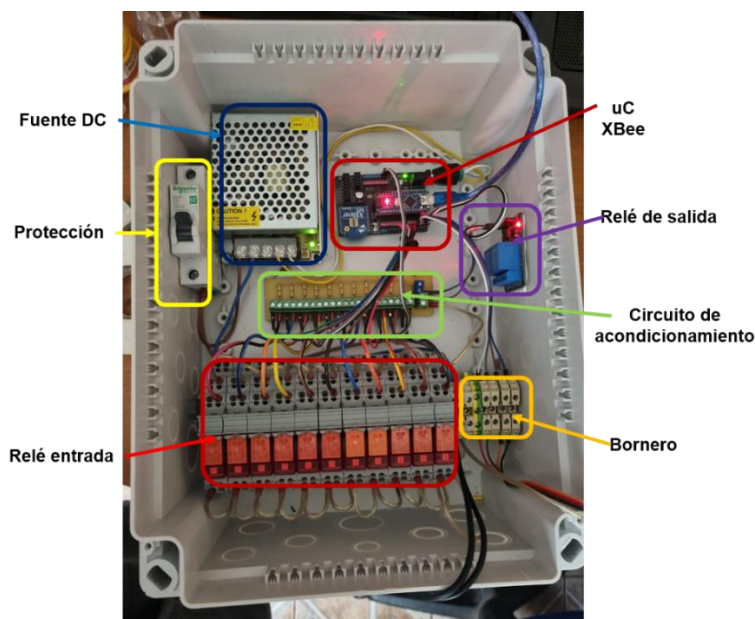
Implementación del Hardware

Módulo electrónico

El módulo electrónico está instalado sobre la viga principal puente grúa junto al tablero de control y tiene dimensiones de 330x260x130 mm, con protección IP55 que de acuerdo la norma IEC 60529 son de buena protección frente a polvo y a los chorros de agua. Para la instalación de los relés tipo bornera se instaló una Riel Din. Además, las características de los elementos de protección cumplen con el dimensionamiento realizado en la etapa de diseño. En la Figura 45 se muestra la implementación total del módulo electrónico. Para conocimiento del Departamento de Mantenimiento y presentación del presente trabajo se realizó un diagrama general del módulo electrónico presentado en el Apéndice B.

Figura 45

Implementación módulo electrónico

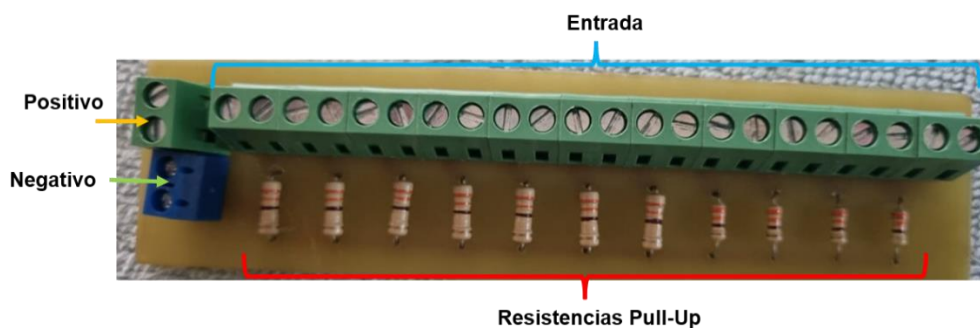


Circuito de acondicionamiento

Este circuito está conformado por once circuitos pull-up que permiten acondicionar las nueve señales eléctricas de los relés de entrada tipo bornera y mantener dos circuitos de reserva. La Figura 46 muestra el circuito de acondicionamiento.

Figura 46

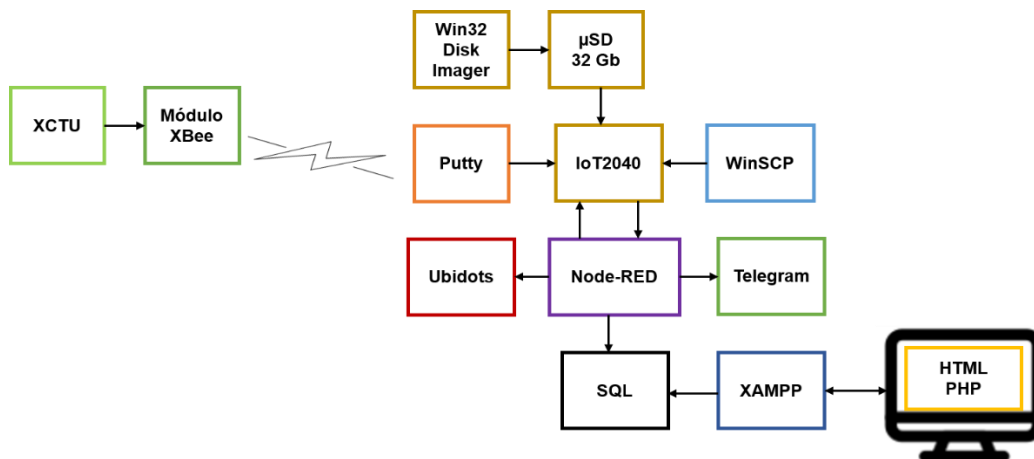
Circuito de acondicionamiento



Una vez implementado el hardware se requiere configurar y programar los dispositivos empleados tanto en los módulos electrónicos y coordinador, para ello en la Figura 47 se indica el diagrama de tecnologías para la configuración y programación del proyecto.

Figura 47

Diagrama de tecnologías para configuración y programación



Configuración de dispositivo de comunicación inalámbrica

Para la configuración de los módulos de comunicación inalámbrica XBee se emplea el software XCTU de acuerdo a los parámetros presentados en la Tabla 23.

El software XCTU, es un paquete multiplataforma para la configuración de módulos DIGI y puede ser descargado la página oficial de DIGI utilizando el enlace: <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu>. La instalación es sencilla y no requiere configuraciones avanzadas del software.

La Figura 48 muestra la configuración en XCTU de los módulos XBee que funcionan como dispositivos finales y transmiten los datos del uso de puente grúa recolectados por el módulo electrónico. Mientras que para configurar en XCTU el módulo XBee como dispositivo coordinador se requiere poner el valor Enabled [1] en el parámetro CE Coordinator Enable.

Figura 48

Configuración de módulo XBee como elemento final

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, a 'Radio Modules' panel displays the configuration for a 'ZIGBEE TH Reg' module with the following details:

- Name: ZIGBEE TH Reg
- Function: ZIGBEE TH Reg
- Port: COM11 - 9600/8/N/1/N - AT
- MAC: 0013A200418E3B30

The main window shows the 'Radio Configuration' for the selected module. The 'Networking' section is expanded, showing a list of parameters. The 'CE Coordinator Enable' parameter is highlighted with a red box and is currently set to 'Disabled [0]'.

Parameter	Value	Unit
ID PAN ID		
SC Scan Channels	7FFF	Bitfield
SD Scan Duration	3	exponent
ZS ZigBee Stack Profile	0	
NJ Node Join Time	FF	x 1 sec
NW Network Watchdog Timeout	0	x 1 minute
JV Channel Verification	Disabled [0]	
JN Join Notification	Disabled [0]	
OP Operating PAN ID	20	
OI Operating 16-bit PAN ID	C07E	
CH Operating Channel	15	
NC Number of Remaining Children	14	
CE Coordinator Enable	Disabled [0]	
DO Device Options	8	Bitfield

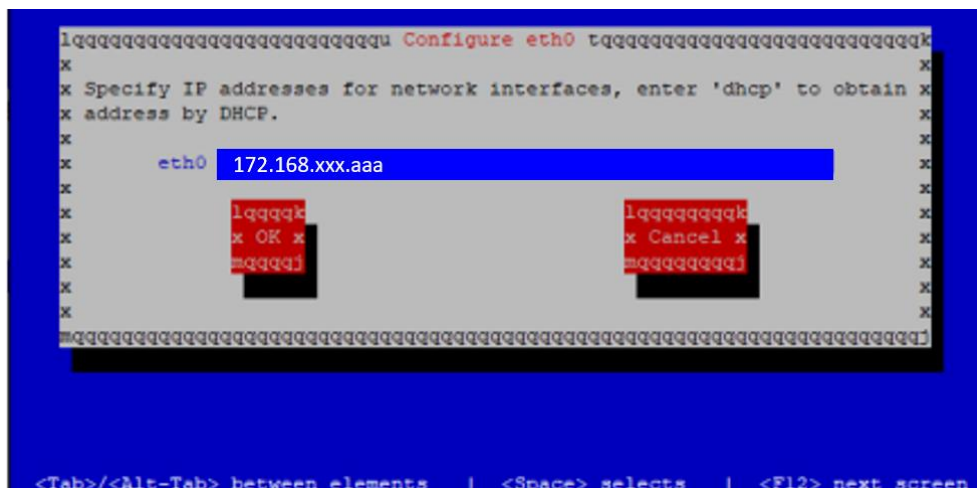
Configuración de la Simatic IoT2040

La Simatic IoT2040 de Siemens es una interfaz inteligente para IoT que permite conectar fácilmente máquinas o instalaciones a Internet. Para la configuración de la pasarela inteligente Simatic IoT2040 se requiere de una imagen del firmware, para obtenerlos es necesario registrarse en el foro de soporte Siemens Industry. Una vez autorizado el registro se procede a descargar la imagen actual V3.1.1. Para comenzar a configurar la IoT2040 se requiere la instalación adicional de los programas: Win32 Disk Imager, Putty y WinSCP.

Con la herramienta Win32 Disk Imager se procede a grabar la imagen en una memoria Micro SD de 32Gb, que es ingresada en el slot para tarjeta SD en el interior de la pasarela inteligente Simatic IoT2040. Para permitir el ingreso a la red empresarial se requiere configurar la dirección IP de la pasarela inteligente Simatic IoT240 de acuerdo a la Tabla 24 y con el fin de acceder a la Simatic IoT2040 se usa un cliente SSH Telnet denominado Putty, este software es open source y está disponible en la red para descarga. La Figura 49 muestra la configuración de puerto eth0 utilizando la herramienta Putty.

Figura 49

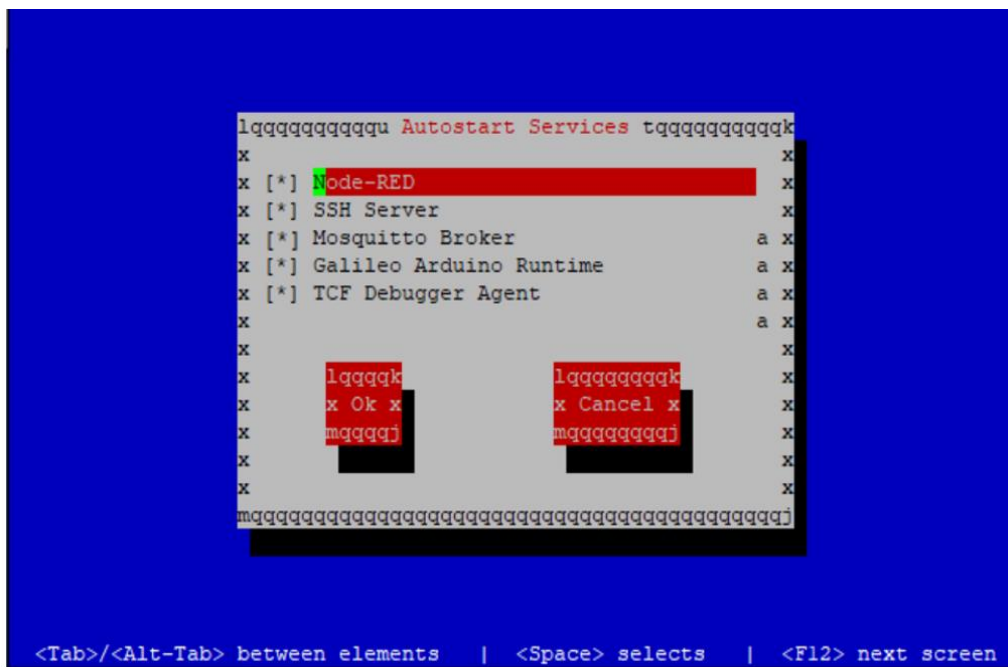
Configuración de dirección IP



Ahora como la programación del proyecto se encuentra basada en flujos, es necesario configurar el auto inicio tanto de las herramientas Node-RED que permite procesar los datos provenientes de los módulos electrónicos para obtener la información del funcionamiento de los puentes grúa y Mosquitto Broker que es un servidor para disponer dicha información a otros dispositivos de la red mediante el protocolo MQTT, con el fin de que las herramientas se inicien automáticamente al momento de alimentar la pasarela inteligente Simatic IoT2040, la configuración se muestra en la Figura 50.

Figura 50

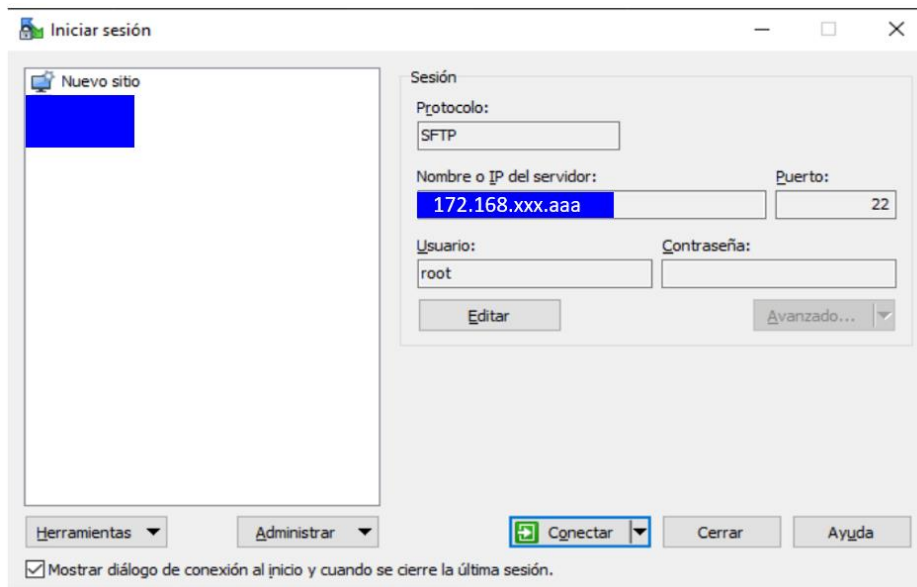
Habilitación de auto inicio de Node-RED y Mosquitto Broker



Una vez configurados los puertos de red de la pasarela inteligente Simatic IoT2040, mediante la herramienta WinSCP que permite manejar un cliente SFTP a través de SSH, se accede a los registros internos de la Simatic IoT2040 para completar la información de las puertas de enlace para el acceso a Internet, como se muestra en la Figura 51.

Figura 51

Acceso a registros de la Simatic IoT2040



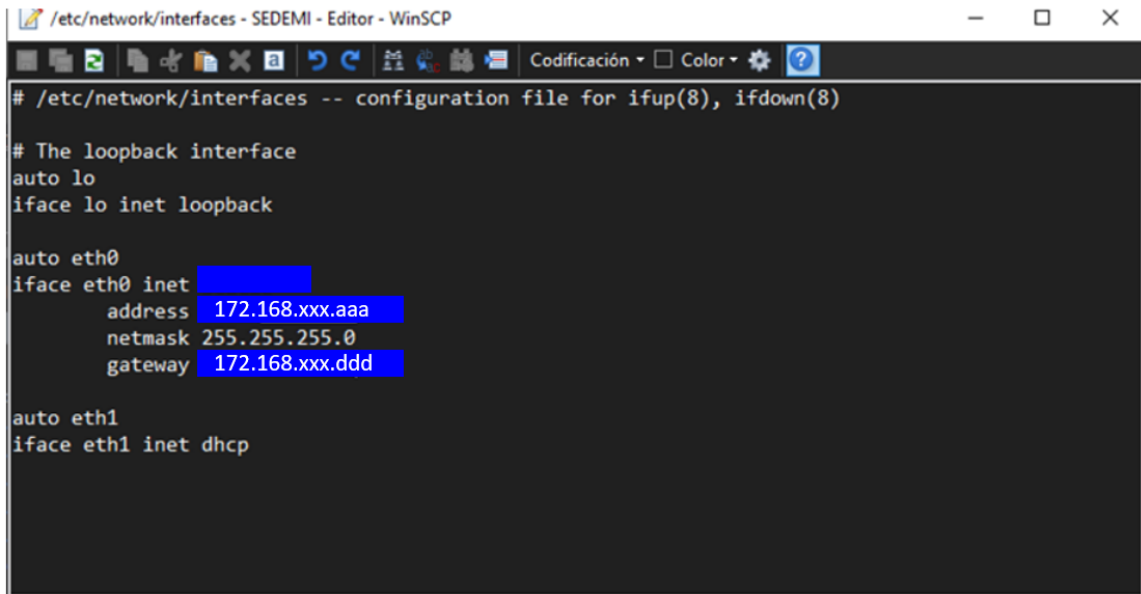
En la ruta `/etc/network` es necesario validar los archivos “interfaces” y “interfaces .bak” de tal manera que la dirección IP, la máscara de red y la puerta de enlace correspondan a la configuración de la red indicada por el departamento de sistemas, como se indica en la Figura 52.

En la ruta `/etc/opkg` los archivos `arch.conf` y `opkg.conf` permiten agregar las direcciones para la actualización e instalación de nuevos nodos, sin embargo, para las imágenes actuales de acuerdo al foro de Siemens Industry no se requiere dicha configuración.

En la ruta `/run/` es necesario configurar las direcciones del servidor en el archivo `resolv.conf` cada vez que se desconecta de la alimentación a la pasarela inteligente Simatic IoT2040. Esta configuración permite el acceso a internet, por ende, es necesaria y se muestra en la Figura 53.

Figura 52

Configuración de archivos interfaces e interfaces.bak



```
# /etc/network/interfaces -- configuration file for ifup(8), ifdown(8)

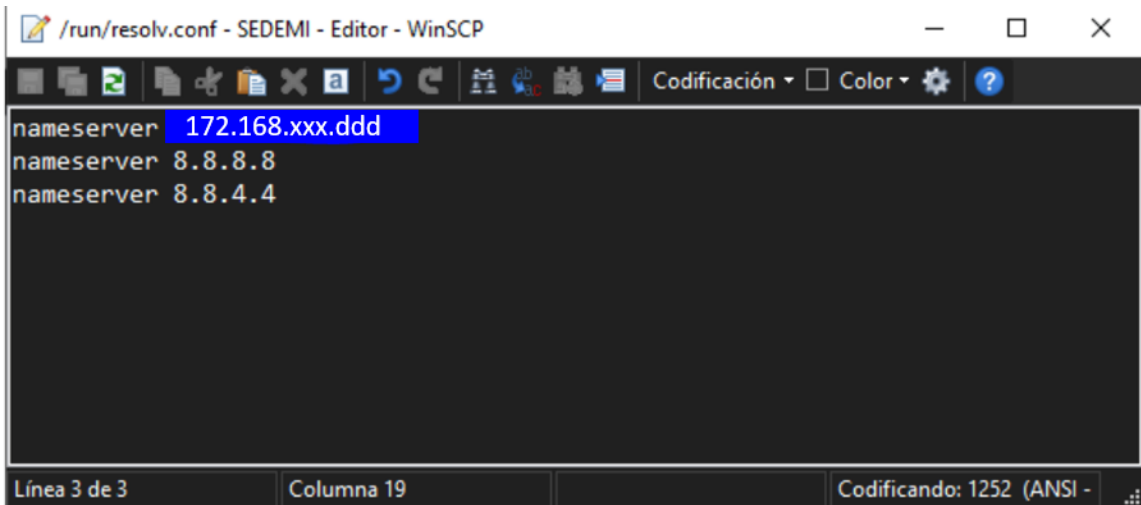
# The loopback interface
auto lo
iface lo inet loopback

auto eth0
iface eth0 inet
    address 172.168.xxx.aaa
    netmask 255.255.255.0
    gateway 172.168.xxx.ddd

auto eth1
iface eth1 inet dhcp
```

Figura 53

Configuración del archivo resolv.conf



```
nameserver 172.168.xxx.ddd
nameserver 8.8.8.8
nameserver 8.8.4.4
```

Línea 3 de 3 Columna 19 Codificando: 1252 (ANSI -

Programación de la Simatic IoT2040

Node-RED es una herramienta de programación basada en flujos para enlazar dispositivos de hardware, APIs y servicios para aplicaciones IoT (Hagino, 2021).

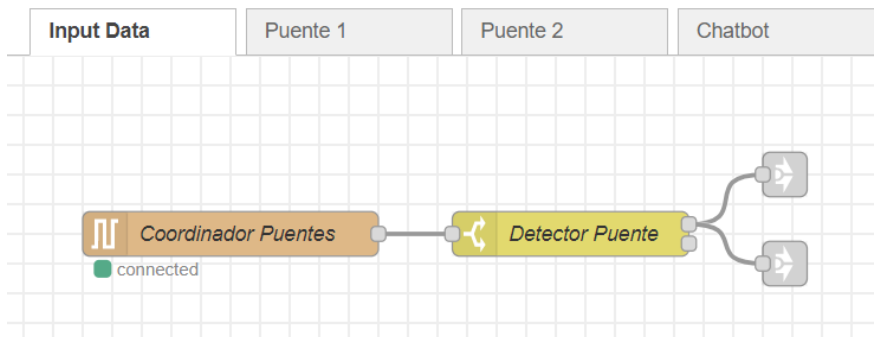
En la instalación de las herramientas se integra un conjunto de nodos de función específicos, sin embargo, de ser necesarias otras funciones se puede realizar programación en el lenguaje JavaScript o integrar nuevas librerías. Algunas de las librerías empleadas son:

- Ubidots: Permite crear la comunicación, recibir y enviar datos a la plataforma IoT Ubidots.
- Telegram: Permite recibir y enviar mensajes de textos, imágenes, videos, menús de opción por medio de un chatbot desarrollado en la red social Telegram.
- Counter: Realiza el conteo de mensajes que ingresan con un valor de paso.
- Serial: Permite el ingreso y salida de datos por medio del puerto USB.
- Mysql: Permite crear, actualizar, eliminar datos de las tablas de una base de datos sql.
- Function: Permite programar una secuencia para el tratamiento de datos.
- Switch: Enruta la salida de los mensajes de acuerdo a un parámetro de selección.
- Split: Permite separar una cadena de acuerdo a un parámetro de división.
- Join: Generar una cadena de salida con los mensajes de entrada.

En la Figura 54 se muestra la pestaña Input Data, los mensajes recibidos por el receptor ingresan mediante el puerto serial a la pasarela inteligente Simatic IoT2040, de acuerdo al parámetro identificador se separan los mensajes que corresponden al puente grúa 1 y puente grúa 2.

Figura 54

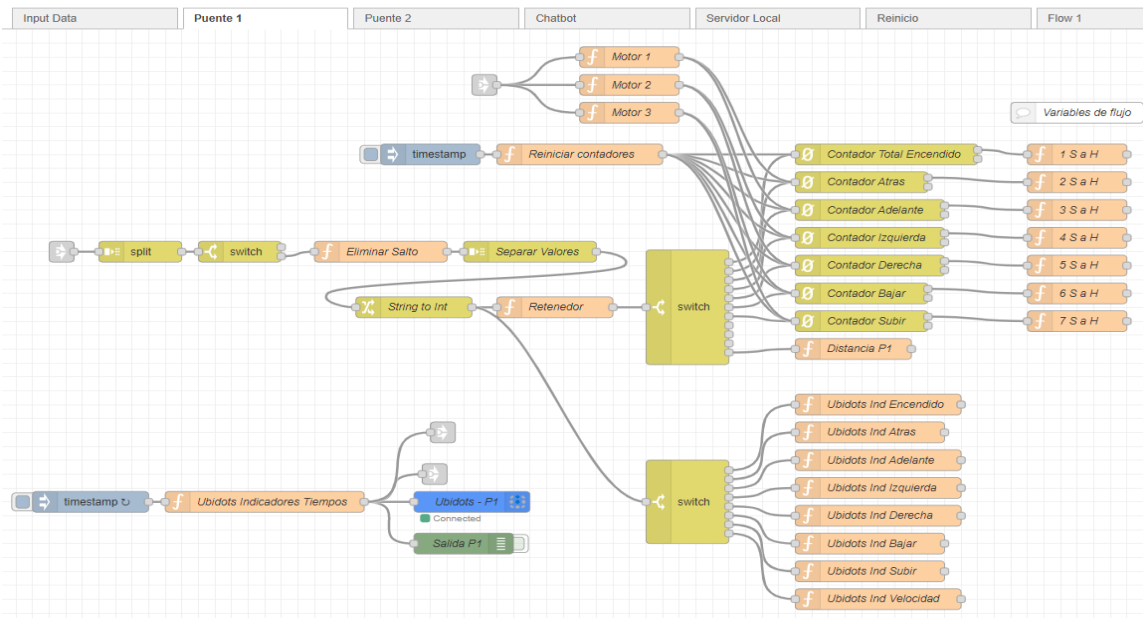
Pestaña Input Data



Las pestañas Puente 1 y Puente 2 que se indican en la Figura 55 manejan el mismo flujo de programación, la cadena de datos es separada para determinar los indicadores de funcionamiento del puente grúa y realizar el cálculo del tiempo de funcionamiento de cada motor y el tiempo de funcionamiento total.

Figura 55

Pestaña Puente 1



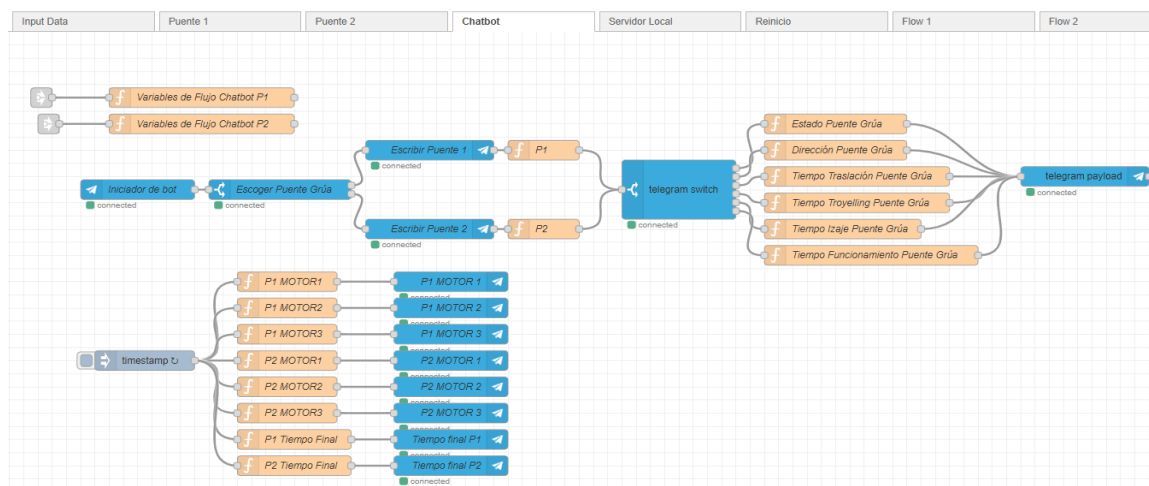
Uno de los requerimientos por parte del Departamento de Mantenimiento es almacenar y presentar la información en la plataforma IoT Ubidots, para ello mediante el

flujo se prepara una cadena de datos del tipo Json que posteriormente es enviada para almacenar en un dispositivo virtual creado en la plataforma.

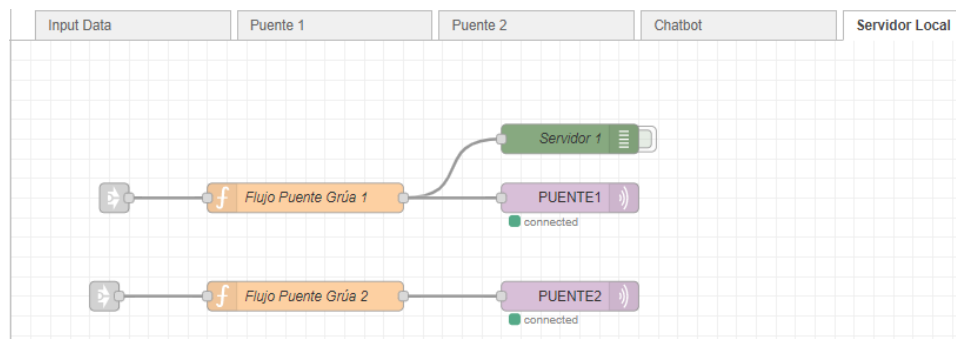
La pestaña Chatbot presentada en la Figura 56 permite realizar la secuencia descrita en la sección de diseño de chatbot. La información es tomada del flujo de cada uno de los puentes grúa y procesada para presentarla al usuario mediante la red social Telegram. Así también se implementa el flujo de notificación al usuario diario cuando los motores eléctricos y el puente grúa alcanza el tiempo promedio de funcionamiento para ejecutar las tareas de mantenimiento.

Figura 56

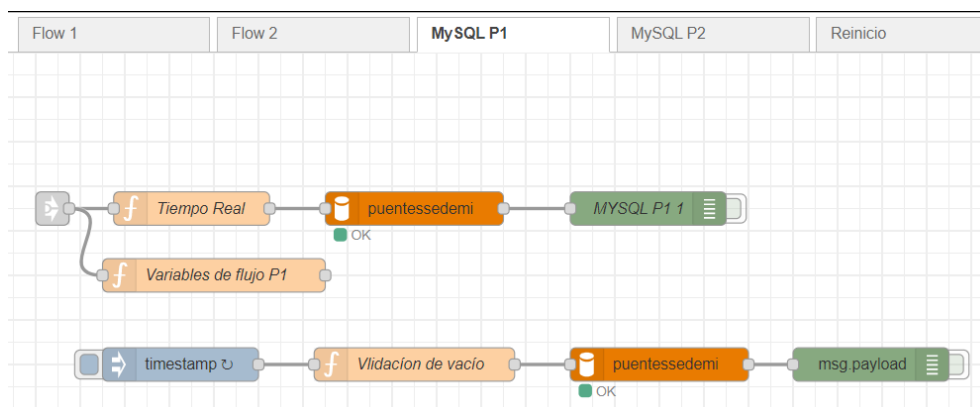
Pestaña Chatbot



En la Figura 57, se muestra la pestaña servidor local que permite el ingreso de la información de los puentes grúa que es enviada al servidor local mediante el protocolo MQTT tomado de las siglas (Message Queuing Telemetry Transport), el cual permite llevar información de un dispositivo hacia un servidor remoto de forma bidireccional con pocos recursos y es soportado por múltiples proveedores de servicios a la nube como puede ser Ubidots, Google Cloud, entre otras (Pizarro, 2020).

Figura 57*Pestaña servidor local*

Las pestañas MySQL P1 y MySQL P2 permiten almacenar la información de los puentes grúa en la base de datos instalada en el servidor local con dirección IP 172.168.xxx.bbb, como se ve en la Figura 58.

Figura 58*Pestaña MySQL P1*

Implementación de Base de datos

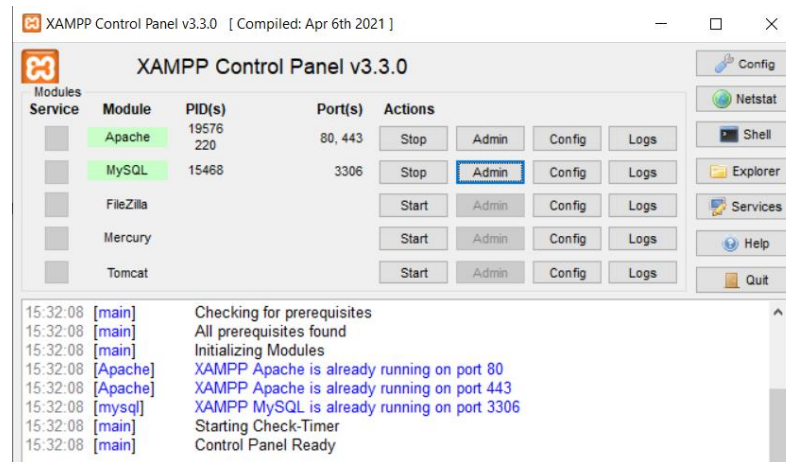
En el presente trabajo se emplea una base de datos estructurada ubicada en el servidor local, que utiliza MySQL con phpmyadmin para la gestión de base de datos. Así también, debido a que la información es enviada a la plataforma Ubidots, los dispositivos desarrollados almacenan la información en forma de tablas.

Creación de base de datos

Se instala el paquete XAMPP en el servidor, que permite administrar la base de datos y crear el servicio web Apache, misma que se presenta en la Figura 59.

Figura 59

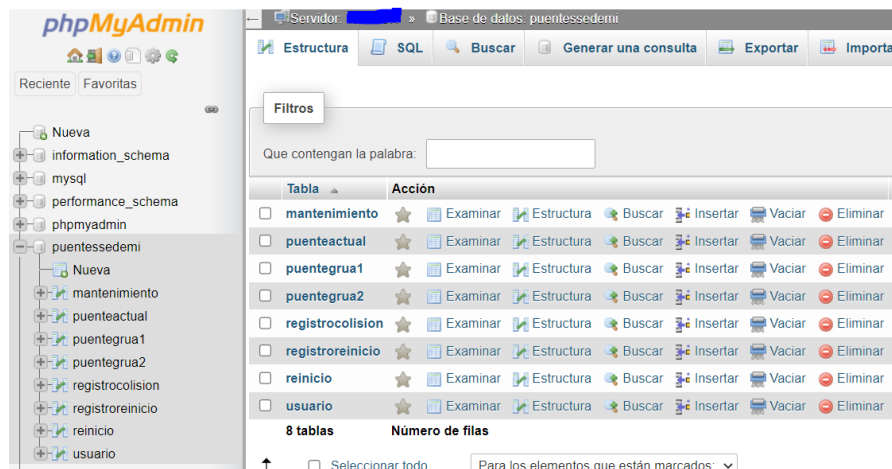
Paquete XAMPP



Para la gestión de la base de datos se utiliza PhpMyAdmin y la base de datos es nombrada como “puentesedemi” como se muestra en la Figura 60. Las tablas creadas fueron descritas en el diseño de la base de datos, la información almacenada es empleada por la aplicación web y por la pasarela inteligente Simatic IoT2040.

Figura 60

Interfaz de programación de base de datos



Implementación de aplicación web


Para la implementación del servicio web se realizó utilizando varios lenguajes de programación:

- HTML: Lenguaje para el desarrollo de páginas web.
- CSS: Lenguaje para dar forma al documento HTML.
- JavaScript: Lenguaje de programación para servicios web (Puciarelli, 2020).
- SQL: Lenguaje para guardar, buscar, eliminar información de la base de datos.
- PHP: Lenguaje para los comandos del servidor.

En la Figura 61 se presenta la pantalla de Login que permite el ingreso del nombre de usuario y la contraseña. Antes de acceder al contenido del sistema se realiza una validación de usuario y contraseña para después identificar si el usuario es administrador o visualizador.

Figura 61

Pantalla de Login



Inicio de Sesión

SEDEMI
COLABORADORES

Usuario:
Escribe tu usuario

Contraseña:
Escribe tu contraseña

Iniciar Sesión

En la sección de diseño de página web se presentó la arquitectura de pantallas y sus niveles en la aplicación, ver Figura 33. El usuario administrador tiene acceso a todas las pantallas como se indica en la Figura 62, mientras que el usuario visualizador tiene restringido el acceso a la pantalla de mantenimiento y usuarios como se muestra en la Figura 63.

Figura 62

Acceso como usuario administrador

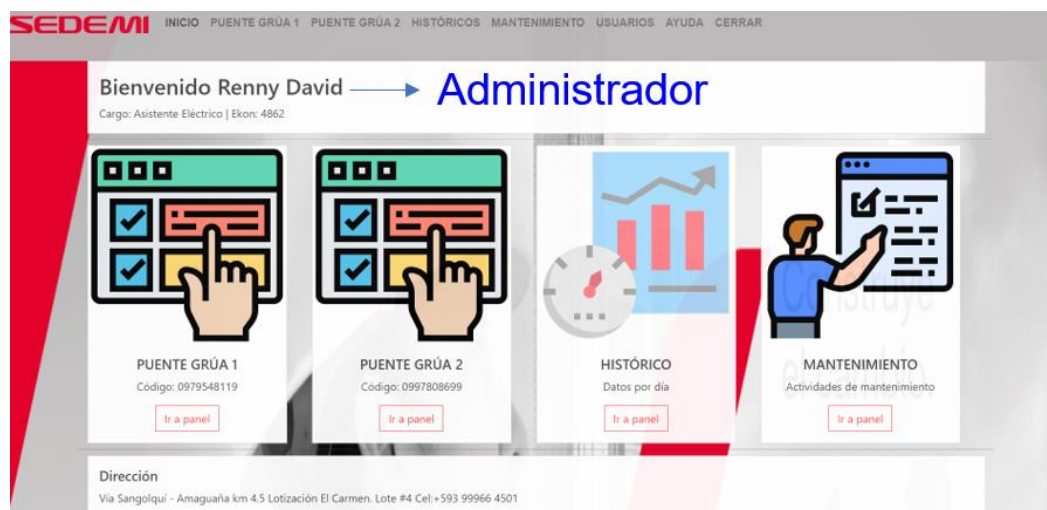


Figura 63

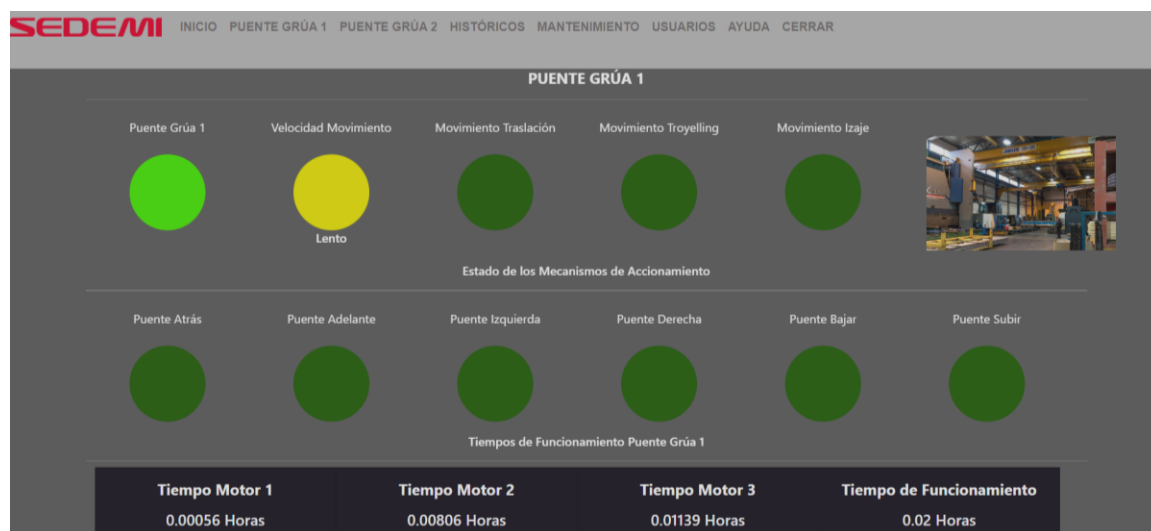
Acceso como usuario visualizador



Para el monitoreo del funcionamiento de los puentes grúa se realiza en las pantallas Puente Grúa 1 y Puente Grúa 2, como se muestran en la Figura 64. Estas pantallas muestran el estado del puente grúa, velocidad de funcionamiento, tipo de movimiento, dirección de movimiento, tiempos de funcionamiento por motor y el tiempo de funcionamiento total.

Figura 64

Monitoreo de puente grúa 1 y puente grúa 2



a)

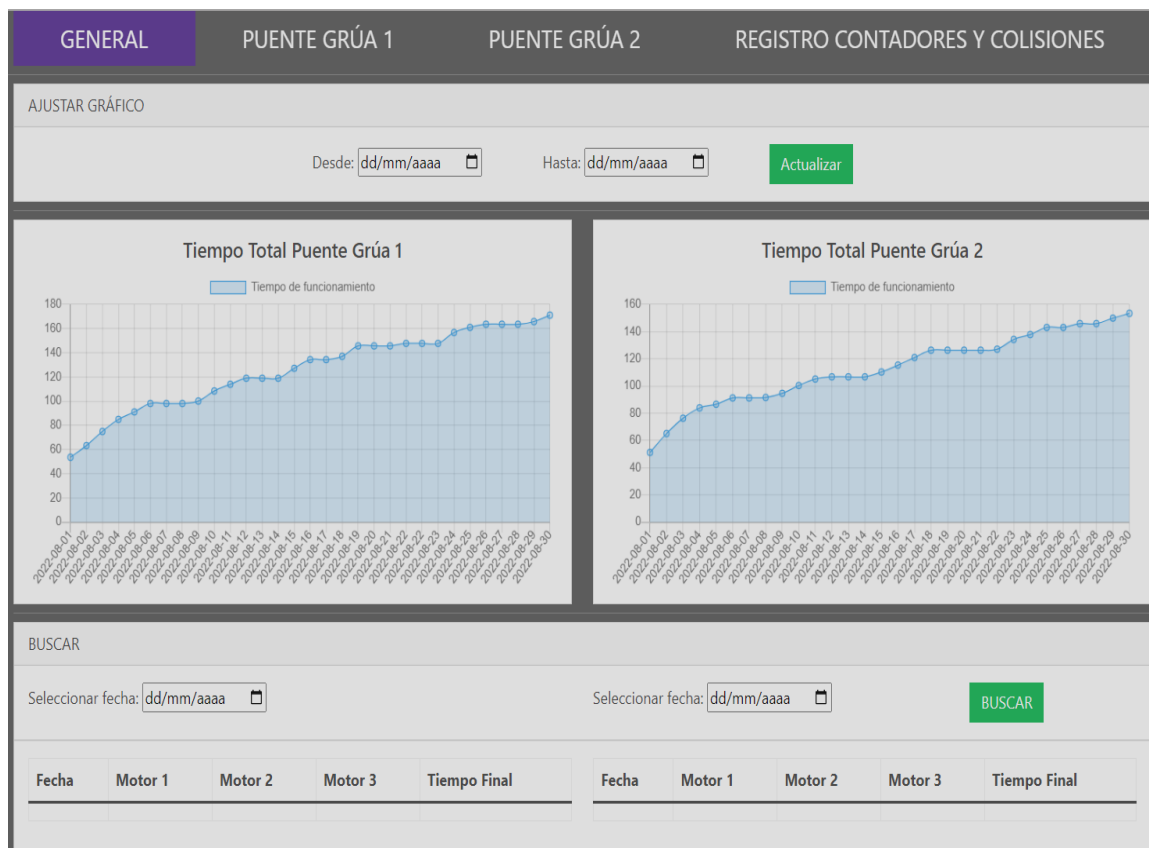


b)

En la opción de “históricos” se manejan cuatro pantallas. La pantalla general permite visualizar la información del tiempo de funcionamiento total, la gráfica se puede actualizar de acuerdo al rango de tiempo requerido. Así como se puede buscar información del tiempo de funcionamiento parcial y total por fecha como se indica en la Figura 65.

Figura 65

Pantalla general



Las pantallas Puente grúa 1 y Puente Grúa 2 indicadas en la Figura 66 permiten visualizar la información diaria del tiempo de funcionamiento parcial de los motores eléctricos y la gráfica es ajustable de acuerdo a un rango de tiempo.

La información de los registros de colisión y de reinicio de contadores, se muestran en tablas como se indica en la Figura 67.

Figura 66

Históricos por puente grúa

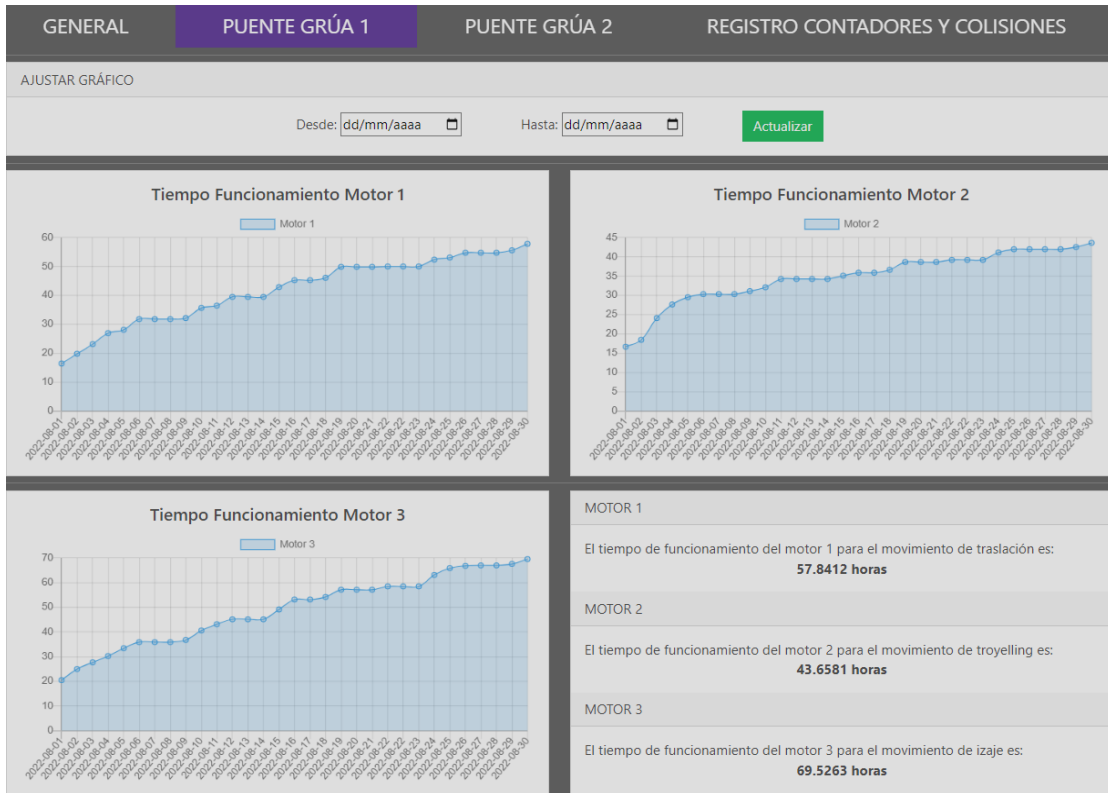


Figura 67

Pantalla de registro de colisiones y reinicio de contadores

GENERAL				PUENTE GRÚA 1				PUENTE GRÚA 2				REGISTRO CONTADORES Y COLISIONES			
Registro de reinicio de contadores								Registro de reinicio de colisiones							
Fecha	Hora	Contador	Usuario	Fecha	Hora	Puente Grúa	Distancia [cm]	Fecha	Hora	Puente Grúa	Distancia [cm]	Fecha	Hora	Puente Grúa	Distancia [cm]
2022-07-17	09:45:17	Puente Grúa 1: Motor 1	Renny David	2022-07-25	12:24:01	Puente Grúa 2	65	2022-07-17	09:47:27	Puente Grúa 1: Motor 2	Renny David	2022-07-25	13:43:44	Puente Grúa 1	60
2022-07-17	09:47:28	Puente Grúa 1: Motor 3	Renny David					2022-07-17	09:47:28	Puente Grúa 2: Motor 1	Renny David				
2022-07-17	09:47:29	Puente Grúa 2: Motor 2	Renny David					2022-07-17	09:47:29	Puente Grúa 2: Motor 2	Renny David				
2022-07-17	09:47:29	Puente Grúa 2: Motor 3	Renny David					2022-07-17	09:47:29	Puente Grúa 2: Motor 3	Renny David				
2022-07-18	07:06:51	Puente Grúa 1: Motor 1	Renny David					2022-07-18	07:06:51	Puente Grúa 1: Motor 1	Renny David				
2022-07-18	07:07:00	Puente Grúa 1: Motor 2	Renny David					2022-07-18	07:07:00	Puente Grúa 1: Motor 2	Renny David				
2022-07-18	07:07:59	Puente Grúa 1: Motor 3	Renny David					2022-07-18	07:07:59	Puente Grúa 1: Motor 3	Renny David				
2022-07-18	07:08:02	Puente Grúa 2: Motor 1	Renny David					2022-07-18	07:08:02	Puente Grúa 2: Motor 1	Renny David				
2022-07-18	07:08:36	Puente Grúa 2: Motor 2	Renny David					2022-07-18	07:08:36	Puente Grúa 2: Motor 2	Renny David				
2022-07-18	07:08:51	Puente Grúa 2: Motor 3	Renny David					2022-07-18	07:08:51	Puente Grúa 2: Motor 3	Renny David				
2022-07-19	07:01:02	Puente Grúa 1: Motor 1	Renny David					2022-07-19	07:01:02	Puente Grúa 1: Motor 1	Renny David				
2022-07-19	07:01:23	Puente Grúa 1: Motor 2	Renny David					2022-07-19	07:01:23	Puente Grúa 1: Motor 2	Renny David				
2022-07-19	07:01:42	Puente Grúa 1: Motor 3	Renny David					2022-07-19	07:01:42	Puente Grúa 1: Motor 3	Renny David				

Para el usuario con acceso administrador, la pantalla presentada en la Figura 68, permite reiniciar los contadores del tiempo de funcionamiento, así como planificar las actividades de mantenimiento. Antes de agregar una actividad se valida que todos los campos estén llenos y de ser necesario se permite modificar y borrar la actividad.

Figura 68

Pantalla mantenimiento

REINICIAR CONTADORES

Reinicio de contadores Puente Grúa 1

Aviso: Reiniciar contadores Puente Grúa 1

Motor 1 Motor 2 Motor 3

Reinicio de contadores Puente Grúa 2

Aviso: Reiniciar contadores Puente Grúa 2

Motor 1 Motor 2 Motor 3

Contadores Actuales

Puente Grúa 1			Puente Grúa 2		
Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 1	Motor 2	Motor 3
0.00056	0.00806	0.01139	0.00056	0.00806	0.01139

PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO

Datos de mantenimiento

Puente Grúa: - selecciona -

Mantenimiento: - selecciona -

Actividad: Actividad

Encargado: - selecciona -

Fecha: dd/mm/aaaa

Agregar Modificar Cancelar

Registro de mantenimiento

Puente Grúa	Mantenimiento	Actividad	Encargado	Fecha	Acciones
Puente Grúa 1	Correctivo	Cambio de polea 1	Carlos Moncayo	2022-07-02	Seleccionar Borrar
Puente Grúa 2	Preventivo	Cambio de matriz	Carlos Moncayo	2022-08-05	Seleccionar Borrar

El administrador también puede agregar, modificar o eliminar a los usuarios, para ello se utiliza la pantalla usuarios como se indica en la Figura 69. La información es cargada por medio de un formulario que valida que todos los campos estén llenos.

Finalmente, la Figura 70 muestra la pantalla de ayuda que proporciona al usuario la información de contacto del personal del Departamento de Investigación y Desarrollo, quienes son los encargados de realizar el mantenimiento de los módulos electrónicos y dar soporte para manejo de la aplicación web.

Figura 69

Pantalla usuarios

Datos de usuario

<p>Nombres: <input type="text" value="Nombres"/></p> <p>Apellidos: <input type="text" value="Apellidos"/></p> <p>Ekon: <input type="text" value="Ekon"/></p> <p>Cargo: <input type="text" value="Cargo"/></p>	<p>Acceso: <input type="text" value="- selecciona -"/></p> <p>Usuario: <input type="text" value="Usuario"/></p> <p>Contraseña: <input type="text" value="Contraseña"/></p>
---	--

Agregar
Modificar
Cancelar

Registro de usuarios

Nombres	Apellidos	Ekon	Cargo	Acceso	Usuario	Contraseña	Acciones
Renny David	Coro Maisincho	4862	Asistente Eléctrico	administrador	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	Seleccionar Borrar
Carlos	Moncayo	3736	Analista Electrónico	visualizador	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	Seleccionar Borrar
Hugo	Loya	1234	Coordinador	visualizador	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	Seleccionar Borrar

Figura 70

Pantalla ayuda

SEDEMI
INICIO PUENTE GRÚA 1 PUENTE GRÚA 2 HISTÓRICOS MANTENIMIENTO USUARIOS AYUDA CERRAR

Contactos

El proyecto desarrollado en el Departamento de Investigación y Desarrollo de la Producción.

Renny David Coro Maisincho

Estudiante de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

+593-979548119

Carlos Iván Moncayo Olalla

Analista Electrónico

Hugo Geovany Loya Rivera

Coordinador Investigación y Desarrollo

Pruebas de funcionamiento

Para verificar el funcionamiento del sistema implementado se llevan a cabo pruebas para evaluar aspectos de funcionamiento del hardware, comunicación, notificación y presentación de información al usuario final.

Funcionamiento del módulo electrónico

Esta prueba permite verificar que el consumo de corriente de los relés de entrada y los pines de la tarjeta Arduino Nano no afecten el funcionamiento del circuito de control de los puentes grúa y el módulo electrónico.

Un factor importante en el funcionamiento del módulo electrónico es el consumo de corriente de los relés de entrada, debido a que las señales eléctricas se toman de forma paralela a los elementos de mando y control del tablero de control de los puentes grúa. El consumo de corriente es menor a los 6 mA como se indica en la Figura 71, por lo tanto, el sistema implementado no interfiere con el funcionamiento del sistema de control del puente grúa. En la Tabla 36 se muestra la medición de corriente que circula por cada uno de los relés de entrada que permiten convertir la señal analógica a una señal discreta y aislar el sistema de control de los puentes grúa del sistema de monitoreo.

Tabla 36

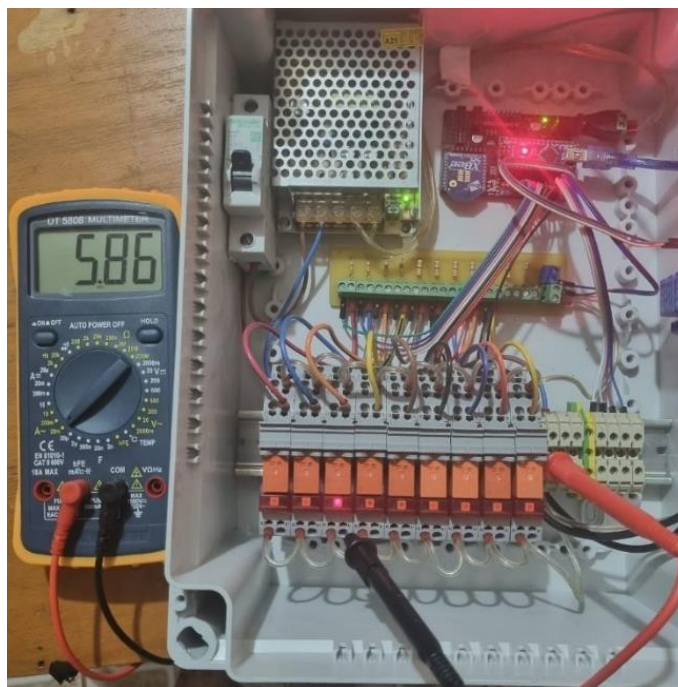
Corriente de relés de entrada

Relé de entrada	Señal eléctrica	Corriente
Relé 1	Start	5.86 mA
Relé 2	Stop	5.91 mA
Relé 3	Atrás	5.85 mA
Relé 4	Adelante	5.86 mA

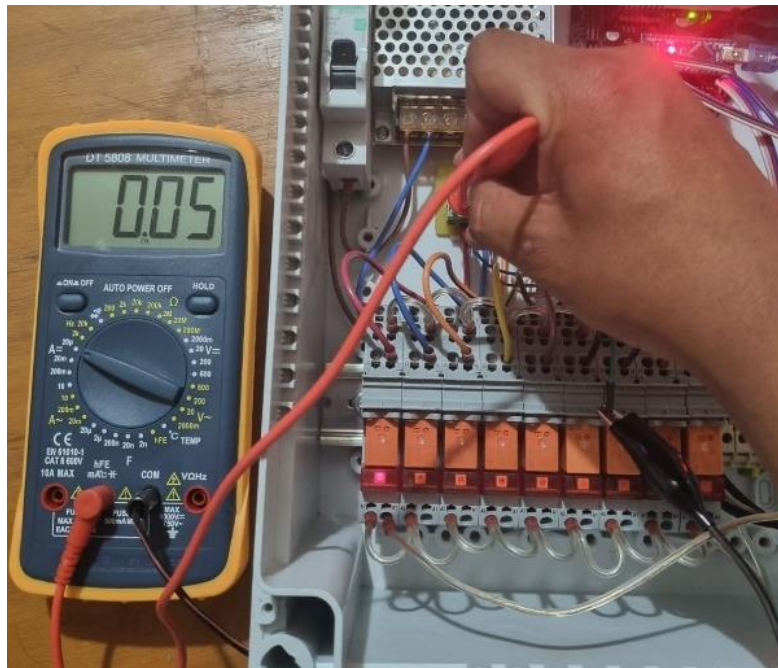
Relé de entrada	Señal eléctrica	Corriente
Relé 5	Izquierda	5.90 mA
Relé 6	Derecha	5.86 mA
Relé 7	Bajar	5.88 mA
Relé 8	Subir	5.90 mA
Relé 9	Velocidad	5.86 mA

Figura 71

Medición de corriente en relés de entrada



En el circuito de acondicionamiento el consumo de corriente está definido de acuerdo a la resistencia Pull-Up, con una resistencia de 330 ohmios por la que circula una corriente de 15,15 mA, cuando el relé entra en funcionamiento la corriente que circula por el pin de entrada de la tarjeta Arduino es menor a los 0.06 uA como se indica en la Figura 72.

Figura 72*Corriente por pin de entrada*

Los puentes grúa de los departamentos de Abastecimiento y Armado Y Soldadura pueden realizar movimientos de traslación, troyelling e izaje de forma simultánea, de tal manera que el consumo máximo de corriente del circuito de acondicionamiento cuando se realizan los tres movimientos es de 45,45 mA, cuyo valor es mucho menor a la corriente que proporciona la Tarjeta Nano IO Shield-XBee en los pines de alimentación de voltaje DC.

Envío y recepción de datos

Con la prueba de envío y recepción de datos se busca corroborar que los datos recibidos por el módulo XBee coordinador correspondan con el funcionamiento del puente grúa. Así como evaluar la potencia de la señal inalámbrica a lo largo del movimiento del puente grúa por las vigas carrileras mediante el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI).

Los datos que son enviados desde el módulo electrónico al módulo coordinador permiten obtener la información útil para el departamento de Mantenimiento que es empleada para la planificación de acciones preventivas y correctivas en el funcionamiento de los puentes grúa. En el capítulo de diseño se describe la cadena de datos que son enviados por medio del protocolo ZigBee, la Figura 73 muestra la recepción de datos en el módulo XBee coordinador en la que se puede observar el cambio de los valores de la cadena de datos de acuerdo al funcionamiento del módulo electrónico cuando el puente grúa entra en funcionamiento.

Figura 73

Recepción de datos con el software XCTU



Donde:

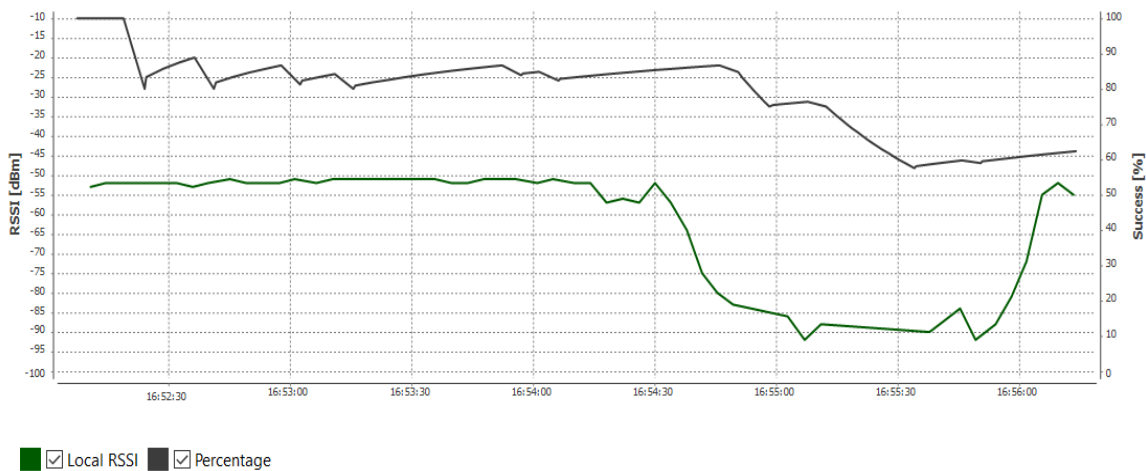
- A: Identificador
- B: Estado del puente
- C: Atrás
- D: Adelante

- E: Izquierda
- F: Derecha
- G: Bajar
- H: Subir
- I: velocidad
- J: 0
- K: 0
- L: Distancia

La Figura 74 muestra como el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI) cambia de acuerdo a la distancia entre el módulo electrónico y el módulo coordinador. Empleando el software XCTU durante el horario de 4:00 a 5:00 pm y envío de datos cada segundo se verificó que el valor RSSI es menor a los -90 dBm si la distancia entre los módulos electrónico y coordinador es mayor a los 30 metros.

Figura 74

Prueba de rango de radio



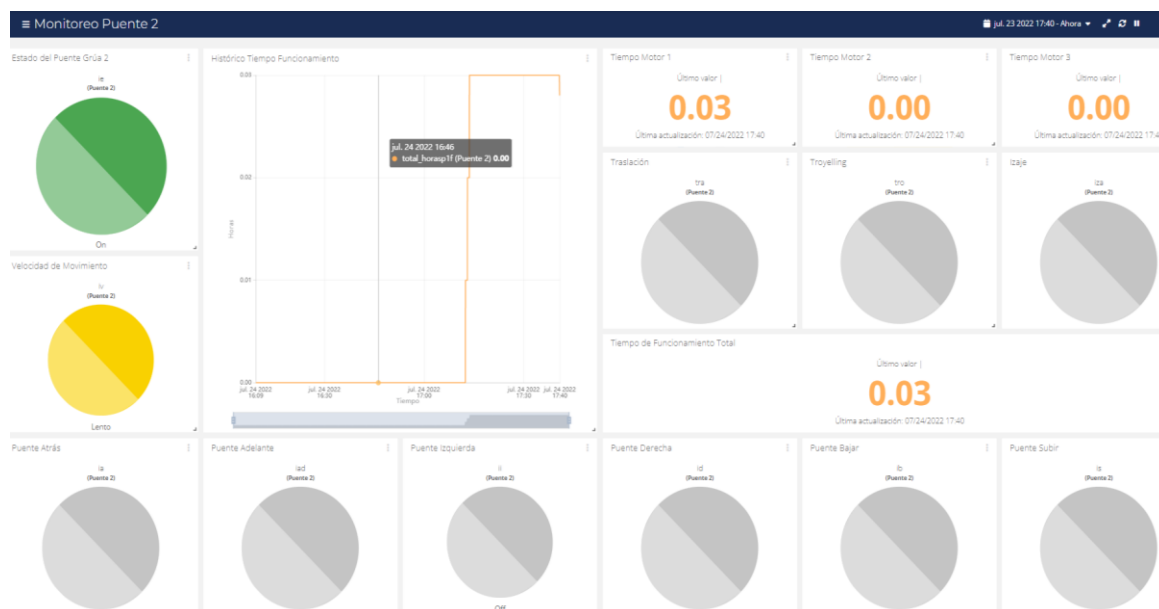
Visualización en Ubidots

Como parte del requerimiento también es necesario presentar y almacenar la información en la plataforma IoT Ubidots, esta prueba tiene como objetivo corroborar que la información presentada a los usuarios mediante la plataforma Ubidots corresponda con el funcionamiento del puente grúa.

La información obtenida del procesamiento de datos es almacenada por dispositivos en forma de tablas y consecuentemente los widgets de los tableros toman la información de los dispositivos para mostrarlos al usuario final, como se muestra en la Figura 75.

Figura 75

Tablero Puente Grúa 2 en plataforma IoT Ubidots



La plataforma permite la navegación por rangos rápidos (hoy, ayer, última semana, semana anterior, entre otros) y rangos personalizados de acuerdo a la necesidad de visualización.

Visualización en aplicación web

La prueba de visualización en la aplicación web permite verificar que la información mostrada en las pantallas corresponda con el manejo del puente grúa y la información mostrada en la plataforma Ubidots.

Dentro de la aplicación web, tanto los usuarios visualizadores y administradores pueden acceder a las pantallas que indican la información de los puentes grúa. Como se muestra en la Figura 76, la información indicada en las pantallas de la página web idéntica a la información que se visualiza en los tableros de la plataforma IoT Ubidots, debido a que una vez que los datos son procesados en el flujo de programa de Node-RED se envían de forma paralela la información a los dispositivos creados en Ubidots y la base de datos del servidor local.

Figura 76

Pantalla Puente Grúa 2 aplicación web

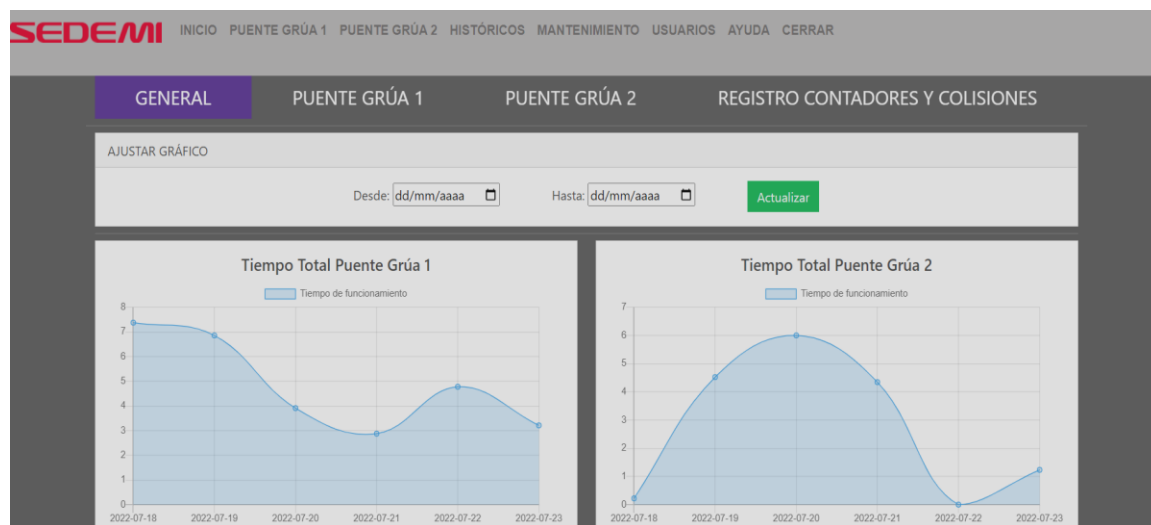


Las pantallas que permiten el monitoreo del Puente Grúa 1 y Puente Grúa 2 se actualizan cada segundo. Para el manejo de la escala de tiempo dentro de la aplicación web se utiliza un rango personalizado definido por una fecha de inicio y una fecha de

fin, en la Figura 77 se muestra la pantalla de históricos de funcionamiento total de los puentes grúa.

Figura 77

Históricos de tiempo de funcionamiento total



Administración de usuarios

La presente prueba permite ratificar la accesibilidad hacia la información de los puentes grúa. El personal del departamento de Mantenimiento y el departamento de Investigación y Desarrollo que tienen acceso a la aplicación web se indican en la Figura 78.

Figura 78

Registro de usuarios

Registro de usuarios							
Nombres	Apellidos	Ekon	Cargo	Acceso	Usuario	Contraseña	Acciones
Renny	Coro		Asistente Eléctrico	administrador			Seleccionar Borrar
Carlos	Moncayo		Analista Electrónico	visualizador			Seleccionar Borrar
Hugo	Loya		Coordinador Investigación	visualizador			Seleccionar Borrar
Danilo	Guayasamin		Coordinador de Mantenimiento	visualizador			Seleccionar Borrar
Santiago	Vicente		Especialista Eléctrico	administrador			Seleccionar Borrar

Dentro de la aplicación se comprobó que solo los usuarios con acceso administrador pueden agregar, actualizar y eliminar los usuarios y las actividades de la planificación de mantenimiento.

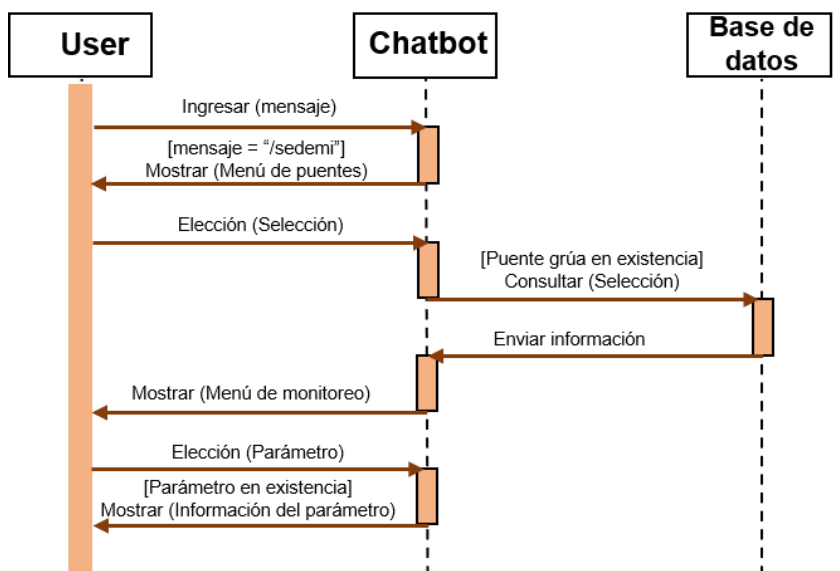
Notificación por Chatbot

Esta prueba tiene como finalidad evaluar la facilidad de uso del chatbot para solicitar información del funcionamiento de los puentes grúa, así como también comprobar que la información presentada por el chatbot mediante la red social Telegram corresponda con la información mostrada en la aplicación web y la plataforma Ubidots.

Monitoreo. La Figura 79 presenta el flujo de funcionamiento del chatbot implementado, donde el usuario inicia la conversación con el chatbot mediante la palabra “/sedemi” para solicitar información.

Figura 79

Flujo de funcionamiento de chatbot



El usuario selecciona el número de puente grúa mediante un primer menú de opciones presentado por el chatbot. Posteriormente, el usuario escoge el tipo de

información de un segundo menú de opciones publicado por el chatbot. Finalmente, se realiza una consulta en la base de datos y el chatbot responde con la información solicitada al usuario, como se muestra en la Figura 80.

Figura 80

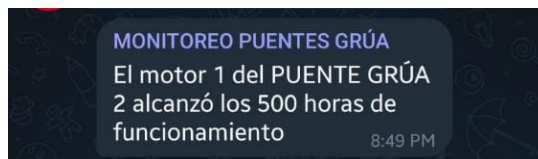
Monitoreo por chatbot



Tiempo máximo de funcionamiento de los motores. Cuando los motores eléctricos que generan los movimientos del puente grúa alcanza un tiempo de funcionamiento superior a las 500 horas como se visualiza en la Figura 81, se realiza la notificación mediante el chatbot indicando el número de motor y puente grúa.

Figura 81

Notificación de tiempo máximo de funcionamiento de los motores

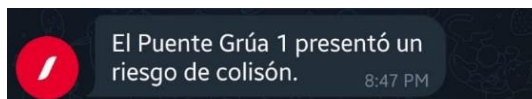


Colisión entre puentes grúa. Cuando dos puentes grúa que comparten las mismas vigas carrileras se encuentran a una distancia menor a los 100 cm entre sí, el chatbot notifica directamente a los usuarios por medio de un mensaje el riesgo de una colisión, como se indica en la Figura 82. Consecuentemente el microcontrolador

suspende la activación del movimiento de traslación y se pudo corroborar que la distancia de referencia permite frenar al puente grúa antes de este colisione.

Figura 82

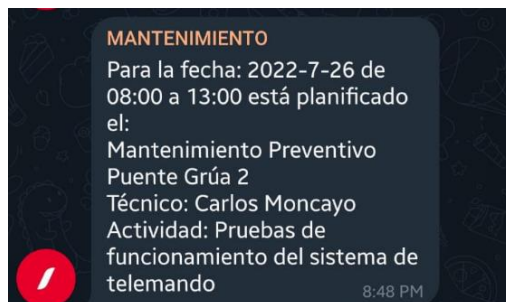
Notificación de riesgo de colisión



Planificación de mantenimiento. Las actividades de mantenimiento planificadas son notificadas a los usuarios dos días antes de su fecha de ejecución, para ello el chatbot envía un mensaje con información del número de puente grúa, horario de ejecución, tipo de mantenimiento, técnico encargado y la descripción de la actividad a realizar como se muestra en la Figura 83.

Figura 83

Notificación de mantenimiento



Funcionamiento integral del sistema implementado

Los módulos electrónicos diseñados e implementados fueron instalados sobre el tablero principal de los puentes grúa como se indica en la Figura 84, para esto se realizó el respectivo plano de instalación, requerimiento de herramientas y materiales, requerimiento de montaje al departamento de Mantenimiento, solicitud de permisos de trabajo eléctrico y trabajo en alturas al departamento de Seguridad Industrial.

Figura 84*Montaje de módulos electrónicos*

Una vez instalados los módulos electrónicos, se procedió a energizar los puentes grúa para que el sistema de control. Antes de que el sistema implementado monitoree el funcionamiento de los puentes grúa, los contadores fueron reiniciados para borrar los datos almacenados dentro del flujo de tratamiento de datos, esta acción de forma inmediata fue registrada en la base de datos y presentada al usuario final como se evidencia en la Figura 85.

Figura 85*Reinicio de contadores*

SEDEMI							
INICIO PUENTE GRÚA 1 PUENTE GRÚA 2 HISTÓRICOS MANTENIMIENTO USUARIOS AYUDA CERRAR							
GENERAL		PUENTE GRÚA 1	PUENTE GRÚA 2	REGISTRO CONTADORES Y COLISIONES			
Registro de reinicio de contadores				Registro de reinicio de colisiones			
Fecha	Hora	Contador	Usuario	Fecha	Hora	Puente Grúa	Distancia [cm]
2022-07-17	09:45:17	Puente Grúa 1: Motor 1	Renny David				
2022-07-17	09:47:27	Puente Grúa 1: Motor 2	Renny David				
2022-07-17	09:47:28	Puente Grúa 1: Motor 3	Renny David				
2022-07-17	09:47:28	Puente Grúa 2: Motor 1	Renny David				
2022-07-17	09:47:29	Puente Grúa 2: Motor 2	Renny David				
2022-07-17	09:47:29	Puente Grúa 2: Motor 3	Renny David				

La información sobre el funcionamiento de los puentes grúa se puede visualizar tanto en la plataforma IoT Ubidots y la aplicación web como se muestra en la Figura 75 y Figura 76 respectivamente.

Mediante los históricos se puede verificar la información diaria de funcionamiento de los puentes grúa, la misma que se encuentra en la base de datos del servidor local. Para facilitar el acceso a la información almacenada se integró herramientas de búsqueda por fecha, que es utilizada en el desarrollo de informes mensuales por parte del Especialista Eléctrico de mantenimiento, como se indica en la Figura 86.

Figura 86

Búsqueda de información de la base de datos

BUSCAR										
Seleccionar fecha: <input type="text" value="dd/mm/aaaa"/>					Seleccionar fecha: <input type="text" value="dd/mm/aaaa"/>					<input type="button" value="BUSCAR"/>
Fecha	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Tiempo Final	Fecha	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Tiempo Final	
2022-07-18	2.77778	1.45211	3.14527	7.37516	2022-07-21	0.888889	0	3.45455	4.34343	

Los tiempos de funcionamiento obtenidos para el puente grúa 1 y puente grúa 2 de forma manual (TM) y automática (TA) por el sistema implementado se muestran en la Tabla 37 y Tabla 38 respectivamente.

Tabla 37

Tiempos de funcionamiento puente grúa 1

Fecha	TMM1	TAM1	TMM2	TAM2	TMM3	TAM3	TM	TA
	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	total	total
							[h]	[h]
18/07/2022	2,6	2,77	1,4	1,45	3,1	3,14	7,1	7,37
19/07/2022	1,5	1,52	2	2,11	3,1	3,22	6,6	6,85
20/07/2022	1,05	1,11	0,6	0,65	2	2,14	3,65	3,91

Fecha	TMM1	TAM1	TMM2	TAM2	TMM3	TAM3	TM	TA
	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	total [h]	total [h]
21/07/2022	0,6	0,65	0	0	2,15	2,22	2,75	2,87
22/07/2022	1,51	1,55	0,6	0,88	2,2	2,33	4,31	4,77
23/07/2022	0,4	0,43	0	0	2,66	2,77	3,06	3,21
24/07/2022	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 38

Tiempos de funcionamiento puente grúa 2

Fecha	TMM1	TAM1	TMM2	TAM2	TMM3	TAM3	TM	TA
	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	total [h]	total [h]
18/07/2022	0,21	0,22	0	0	0	0	0,21	0,22
19/07/2022	1,12	1,18	0,2	0,22	3	3,11	4,32	4,52
20/07/2022	3,5	3,66	0	0	2,1	2,33	5,6	6,00
21/07/2022	0,7	0,88	0	0	3,3	3,45	4	4,34
22/07/2022	0	0	0	0	0	0	0	0
23/07/2022	0,7	0,77	0	0	0,42	0,45	1,12	1,23
24/07/2022	0	0	0	0	0	0	0	0

Empleando los datos obtenidos de forma automática y manual se procede a obtener el error porcentual en los tiempos de funcionamiento de los puentes grúa, los resultados se presentan en la Tabla 39 y Tabla 40 para el puente grúa 1 y puente grúa 2 respectivamente.

Tabla 39*Error porcentual del tiempo de funcionamiento puente grúa 1*

Fecha	Motor 1 [%]	Motor 2 [%]	Motor 3 [%]	Tiempo Total [%]
18/7/2022	6,84	3,72	1,46	3,88
19/7/2022	1,48	5,56	3,94	3,87
20/7/2022	5,82	9,43	7,22	7,18
21/7/2022	9,43	0,00	3,36	4,68
22/7/2022	3,02	48,15	6,06	10,85
23/7/2022	8,61	0,00	4,43	4,97
24/7/2022	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 40*Error porcentual del tiempo de funcionamiento puente grúa 2*

Fecha	Motor 1 [%]	Motor 2 [%]	Motor 3 [%]	Tiempo Total [%]
18/7/2022	5,82	0,00	0,00	5,82
19/7/2022	6,15	11,11	3,70	4,68
20/7/2022	4,76	0,00	11,11	7,14
21/7/2022	26,98	0,00	4,68	8,59
22/7/2022	0,00	0,00	0,00	0,00
23/7/2022	11,11	0,00	8,47	10,12
24/7/2022	0,00	0,00	0,00	0,00

Los resultados permiten corroborar que el sistema implementado permite obtener información real sobre los dos puentes grúa de la empresa SEDEMI S.C.C. y presentarla al usuario de forma sencilla y rápida por la aplicación web y la plataforma

Ubidots. Así también el chatbot brinda las facilidades para acceder a la información de los puentes grúa en cualquier lugar utilizando la aplicación Telegram en un teléfono inteligente, mismo que es autorizado o entregado por parte de la empresa al personal administrativo que planifica y controla las actividades de mantenimiento tanto del área mecánica como eléctrica.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

En este trabajo se desarrolló un sistema de monitoreo y gestión IoT para que el Departamento de Mantenimiento de la empresa SEDEMI S.C.C. pueda monitorear el funcionamiento de los puentes grúa y gestionar las diferentes actividades de mantenimiento con la finalidad de salvaguardar la integridad de los elementos eléctricos y mecánicos.

Con la representación del sistema de control actual de los puentes grúa mediante un diagrama de bloques se identificaron los diferentes equipos, dispositivos y elementos de mando y control principales. Así también la conexión y lógica de control cableada que permiten a los puentes grúa de la planta principal realizar los movimientos de: traslación, troyelling e izaje para la manipulación de pequeñas y grandes cargas metálicas.

Los dos módulos electrónicos desarrollados permiten adquirir datos sobre el estado, tipo de movimiento, dirección de movimiento y velocidad de funcionamiento de los puentes grúa. Los circuitos de relé de entrada y acondicionamiento integrados en los módulos electrónicos consiguen aislar el sistema de control del sistema de monitoreo implementado para no interferir con el funcionamiento individual de los puentes grúa.

El enlace de comunicación entre los módulos electrónicos y el módulo coordinador se establece mediante una red inalámbrica de área personal (WPAN) bajo el protocolo ZigBee, de este modo se logra suprimir la estructura cableada, reducir el consumo energético y la comunicación con el puente grúa cuando se encuentra detenido y en movimiento. Mientras que, la comunicación entre la pasarela inteligente Simatic IoT2040 del módulo coordinador y el servidor local se realiza bajo el protocolo MQTT por medio de la red empresarial de SEDEMI S.C.C., dado que brinda seguridad,

ligereza y sencillez por el consumo de energía reducido y el requerimiento de un ancho de banda mínimo.

Por medio de la herramienta Node-RED integrada en la pasarela inteligente Simatic IoT2040 se realiza el procesamiento de los datos recibidos, lo que permite obtener y presentar la información de funcionamiento de los puentes grúa de manera simultánea.

Se desarrolla la aplicación web empleando HTML y PHP como lenguajes de programación básicos. Además, se utiliza el paquete XAMPP como un servidor local independiente que, en definitiva, permite ejecutar la aplicación web en el ordenador sin la necesidad de tener acceso a Internet.

El chatbot implementado permite proveer información del funcionamiento del puente grúa mediante la aplicación Telegram de acuerdo al requerimiento del usuario. Para generar el mensaje se requiere determinar el número de puente grúa y consultar a la base de datos. Usando la aplicación de mensajería se consigue un acceso a la información por parte del usuario desde cualquier lugar y en cualquier momento usando un teléfono inteligente.

Acorde a las pruebas realizadas para el sistema implementado, se evidenció que el consumo de corriente de los relés de entrada es menor a 6 mA, lo que no perjudica al funcionamiento de los dispositivos y equipos del sistema de control actual de los puentes grúa. Así también, cuando la distancia entre el módulo electrónico y el módulo coordinador es mayor a los 30 metros el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI) es menor a los -90 dBm lo que significa que la señal es muy débil y puede perder la comunicación. Finalmente, la información que se presenta en la plataforma IoT Ubidots

corresponde con la información mostrada en la aplicación web desarrollada, logrando redundancia de información en tiempo real y por distintos medios.

Las ventajas del sistema implementado radican en el uso de herramientas de programación libres y el uso de tecnologías que principalmente reducen el consumo de energía, el número de interferencias y por ende costo de los elementos. El costo aproximado es de 813 USD por módulo electrónico y módulo coordinador, lo que representa ser rentable debido a que los equipos y sistemas de monitoreo IoT actuales ofertados por los propios fabricantes de los puentes grúas son más costosos por encima de los 1000 USD.

Recomendaciones

Debido a las políticas de seguridad dentro de las redes empresariales, se recomienda revisar la configuración de la pasarela inteligente Simatic IoT2040 de tal manera que el dispositivo pueda acceder a Internet y comunicarse con otros dispositivos de la red de área local.

Se recomienda la instalación de una unidad de alimentación ininterrumpida (UPS) previa a la instalación y configuración de la pasarela inteligente Simatic IoT2040. De esta manera, se previene que las configuraciones de conexión a la red se borren una vez que la alimentación de la pasarela inteligente Simatic IoT2040 es interrumpida por posibles cortes de energía.

Para la utilización de nuevos paquetes de nodos en la herramienta Node-RED, es recomendable la instalación de versiones anteriores, con el fin de suprimir los problemas de comunicación y compilación, debido a que el sistema operativo de la pasarela inteligente Simatic IoT2040 puede presentar incompatibilidad con ciertas versiones actuales de paquetes de nodos disponibles en la biblioteca.

Una consideración para el desarrollo de aplicaciones IoT empleado la herramienta Node-RED, es ampliar los conocimientos de programación con lenguaje JavaScript debido a que no todas las acciones y tareas se encuentran disponibles en los paquetes de nodos de la biblioteca, y esto puede ser solucionado por medio programación en el nodo "function".

Bibliografía

- Aguilar, L. (2021). *Internet de las Cosas: Un futuro hiperconectado: 5G, Inteligencia Artificial, Big Data, Cloud, Blockchain, Ciberseguridad*. Marcombo.
- Aguirre, S. (2020). *JSON - Vol.1: Primeros pasos - Sintaxis - Tipos de datos*. Users.
- Aranda, J. (2018). *Fortalecimiento del frontend y backend del sitio web* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Repositorio de tesis de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13876>
- ARCONEL. Agencia de regulación y control de electricidad. (2018). *Regulación No. ARCONEL 053/18, Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*.
- Armentano, R., Singh, R., Chatterjee, P., & Chandra, G. (2021). *The Internet of Things: Foundation for Smart Cities, eHealth, and Ubiquitous Computing*. CRC Press.
- Arroyo, D. (2018). *Testing Entre Bases de Datos SQL y NoSQL* [Tesis de pregrado, Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas]. Repositorio de tesis de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas.
<https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/1736>
- Avalos, O. (2020). *WiFi avanzado Parte 1*. RedUsers.
- Avalos, O. (2020). *WiFi avanzado Parte 2*. RedUsers.
- Barbancho, J., Benjumea, J., Rivera, O., Romero, M., Roper, J., Sánchez, G., & Sivianes, F. (2020). *Redes locales*. Paraninfo.
- Barrio, M. (2020). *Internet de las Cosas (2 ed.)*. Reus.

- Basco, A., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro*. Buenos Aires [Argentina]: BID.
- Bell, C. (2020). *Beginning Sensor Networks with XBee, Raspberry Pi, and Arduino: Sensing the World with Python and MicroPython*. Apress.
- Belmonte, L. P. (2018). *Comunicaciones industriales y WinCC*. Marcombo.
- Benítez, M., & Arias, Á. (2017). *Curso de Introducción a la Administración de Bases de Datos*. ITcampus Academy.
- Berral, I. (2020). *Instalación y mantenimiento de redes para transmisión de datos*. Paraninfo.
- Bollaín, M. (2018). *Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso*. Díaz de Santos.
- Cadavid, S., Osorio, A., Chiquito, J., Valencia, L., Marín, J., Arboleda, W., . . . García, E. (2022). *Modelo Entidad Relación*. Currículos Exploratorios en TIC.
<http://contenidos.sucerman.com/nivel2/web1/unidad2/leccion3.html>
- Cebra. (2017). *Chatbot: ¿Qué función cumple en redes sociales?*. Cebra.
<https://www.cebra.cl/blog/chatbot-en-redes-sociales/#:~:text=Un%20chatbot%20es%20un%20software,le%20pidas%20llevar%20a%20cabo>.
- Cerdá, L., & Gas, M. (2020). *Instalaciones Domóticas*. Paraninfo.
- Cérda, L., & Gas, M. (2020). *Instalaciones domóticas*. Paraninfo.
- Chacón, O. (2017). *Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología Wimax para proveer servicio de internet en la zona urbana de la ciudad de Latacunga* [Tesis

de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio de tesis de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14627>

CMMA 70. (2020). *Especificación 70*. Crane Manufactures Association of America.

Cornieles, P. (2019). *El uso de chatbots en Latinoamérica viene creciendo a pasos agigantados*. IA Latam. <https://ia-latam.com/2019/04/01/el-uso-de-chatbots-en-latinoamerica-viene-creciendo-a-pasos-agigantados/>

CPE INEN 010. (2013). *Seguridad en el uso de grúas*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

CPE INEN 019. (2001). *Código Eléctrico Nacional*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Dender, R., Guilcatoma, P., Machuca, M., & Argandoña, J. (2017). Gestión de redes de sensores inalámbricos (WSN) para la industria petrolera. *Polo del conocimiento*, 2(12), 15-30. doi:10.23857/pc.v2i12.407

Elahi, A., & Gschwender, A. (2009). *ZigBee Wireless Sensor and Control Network*. United States: Prentice Hall.

Electroleg. (2022). Medición y Gestión de Energía. *Féria ExpoEléctrica 2022 - Días Verdes Schneider Electric*. Quito.

Escobar, J. (2020). *Sistema de monitoreo iot de calidad de aire usando una red de sensores fijos y lorawan en el campus sangolquí de la universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio de tesis de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/21965>

- Galarza, J. (2012). *Plan de Mantenimiento de un Puente Grúa con Capacidad de Diez Toneladas* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio de tesis de la Escuela Politécnica Nacional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5145>
- Gershenfeld, N. (1999). *When Things Start to Think*. Henry Holt and Co.
- GH Cranes. (2022). *GH Cranes & Components*. GH Cranes IoT.
<https://peru.ghcranes.com/servicios/gh-cranes-iot/>
- Gómez, D., Caballero, P., & Gallego, J. (2018). *Montaje y mantenimiento de sistemas y componentes informáticos*. Editex.
- Guerra, J. (2015). *Sistemas de Transporte para el Ensamblaje de Estructuras de carrocerías en la Empresa Picosá CÍA. LTDA* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio de tesis de la Universidad Técnica de Ambato.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/13874>
- Guerra, J. (2018). *Puente Grúa 10 Toneladas* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio de tesis de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/111898>
- Hagino, T. (2021). *Practical Node-RED*. Birmingham: Packt.
- Hidalgo, J. (2020). *Todo cuenta: Introducción a la analítica de datos desde un enfoque metodológico*. Libros.
- Ikbal, G., Wike, W., Harahab, N., Utaminingsih, A., & Setyo, A. (2019). *IISS 2019: Proceedings of the 13th International Interdisciplinary Studies Seminar*. CCER.
- Ince, D. (2001). *Ingeniería en Software Un Enfoque Práctico*. McGrawHill.

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST. (s.f.). *Grúas tipo puente*.

Portal INSST: <https://www.insst.es/>

ISO/IEC 17024. (212). *Requisitos Generales para Organismos Operativos de Certificación de Personas*. International Organization for Standardization.

Jan, C. (2017). *The Concept Industry 4.0 An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*. Springer.

Jaramillo, G. (2018). *Diseño de puente grúa y sistema stand reel para mejorar el transporte de bobinas de papel en el proceso de rebobinado de la empresa cartopel* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio de tesis de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16141>

Jecrespom. (20 de noviembre de 2018). *Node-RED. Aprendiendo Arduino*. Jecrespom. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/20/node-red/>

Jiménez, L., Puerto, R., & Payá, L. (2017). *Sistemas distribuidos: Arquitectura y aplicaciones*. Universitat Miguel Hernández.

Joyanes, L. (2021). *Internet de las cosas: Un futuro hiperconectado: 5G, Inteligencia Artificial, Big Data, Cloud, Blockchain, Ciberseguridad*. Marcombo.

Kalaivani, K., Aravindh, R., & Vijayalakshmy, G. (2014). Red de sensores ZigBee integrado con 4G para IoT aplicaciones. *IJRET: Revista Internacional de Investigación en Ingeniería y Tecnología*, 3(7), 611-614. <http://www.ijret.org>

Kanagachidambaresan, G., Anand, R., Balasubramanian, E., & Mahima, V. (2020). *Internet of Things for Industry 4.0 Design, Challenges and Solutions*. Springer.

- Kleppmann, M. (2017). *Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable and Maintainable Systems*. O'Reilly.
- Konecranes. (2022). *Truconnect*. Konecranes.
<https://www.konecranes.com/discover/your-guide-to-truconnect-data-on-yourkonecranes>
- Legrand. (2022). *Horómetro Riel Din*.
- Lema, E. (2016). *Diseño e implementación de un horómetro para el control "Power On" del torno DMTG del taller de máquinas herramientas de la empresa Novacero S.A. planta Lasso*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de tesis de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6122>
- Llorenc, A. (2019). *La industria 4.0 en la sociedad digital*. Marge Books.
- López, M., Vara, J., Verde, J., Sánchez, D., Jiménez, J., & Martínez, V. (2014). *Desarrollo web en entorno servidor*. Ra-Ma.
- Martínez, D., Flores, J., Pérez, R., Medina, F., González, A., & Aparicio, M. (2020). Dispositivo para monitoreo de vibración mecánica industrial mediante impresión 3D. *Electrónica en Ingeniería Mecánica*, 36, 1-15.
- Mavromoustakis, C., Mastorakis, G., & Mongay, J. (2016). *Internet of Things (IoT) in 5G Mobile Technologies*. Springer.
- Medina, E. (2019). *Diseño de un sistema de automatización de un filtro prensa marca Sperry de concentrado de plomo para la planta concentradora de CIA Casapalca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio de tesis de

la Universidad Nacional del Altiplano.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12725>

Militaru, B. (2018). *chatbots a different approach for messaging*. University from Pitesti.

Moh, M., Prasad, K., Agrawal, R., & Garcia, V. (2021). *Smart lot for Research and Industry*. Springer.

Moncayo, C., Loya, H. (2020). *Monitoreo de factor de operación de soldadoras Lincoln*. SIG.

Mounica, A., & Subbareddy, G. (2017). ZigBee Transmitter for IoT Wireless Devices. *International Journal of VLSI design & Communication Systems (VLSICS)*, 8(5), 1-13. doi:<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3377852>

Navas, M., & Navajas, L. (2019). *Chatbots accesible para el Área de Asuntos Estudiantiles (UNLP)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio de tesis de la Universidad Nacional de la Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/119993>

NEC-SE-AC. (2014). *Estructura de acero*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

NEC-SE-DS. (2014). *Cargas sísmicas diseño sismo resistente*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

NTE INEN 2568. (2010). *Tablero, Gabinetes, Cajas de Paso, Cajas de Alumbrado, Racks y Accesorios de Rack. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 2569. (2011). *Grados de Protección Proporcionado por los Gabinetes, Tableros, Racks o Cualquier Recinto que Contenga Equipos Eléctricos o Electrónicos (Código IP). Requisitos e Inspección*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 3098. (2016). *Voltajes Normalizados*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN-ISO 4308-1. (2014). *Grúas y aparatos de elevación. Selección de cables.*

Parte 1: generalidades (iso 4308-1:2003, idt). Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTP 736. (2004). *NTP 736: Grúas tipo puente (I): generalidades*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Olivia, N. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Orrego, R. (2018). *Diseño estructural de la gestión de mantenimiento de los puentes gama de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bello* [Tesis de pregrado, Institución Universitaria ITM]. Repositorio de tesis de la Institución Universitaria ITM. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/1608>

Perry, L. (2020). *IoT and Edge Computing for Architects: Implementing edge and IoT systems from sensors to clouds with communication systems, analytics and security*. Packt.

Pizarro, J. (2020). *Internet de las Cosas (IoT) con ESP*. Paraninfo.

Postigo, A. (2021). *Bases de datos*. Paraninfo.

Puciarelli, L. (2020). *NodeJS: Instalación, arquitectura, node y npm*. Buenos Aires: Users ebooks.

Quiñonez, O. (2019). *Internet de las Cosas (IoT)*. Ibukku.

Roa, R. (2020). *Manual para saber de todo sobre tecnología: Sin pasarse*. Rafael Roa.

- Rosales, J. (2020). *Evaluación de desempeño en motores 3516B basados en la presión de refuerzo* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio de tesis de la Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/7707>
- Sánchez, M. (2017). *Planificación de la gestión y organización de los procesos de montaje de sistemas domóticos e inmóticos*. Ra-Ma.
- Santos, M. (2014). *Diseño de redes telemáticas*. Ra-Ma.
- Sarasa, A. (2019). *Introducción a las Bases de Datos NoSQL Calve Valor Usando Redis*. Reverte Aguilar.
- SEDEMI. (2020). *Nosotros*. SEDEMI. <https://sedemi.com/nosotros/>
- SIEMENS. (2020). *SIMATIC IOT2000*. SIEMENS ESPAÑA.
<https://new.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/pcs-industriales/iot-gateways/iot-2000.html>
- SWF KRANTECHNIK . (2022). *Crane Intelligence*. Control y Monitoreo SWF KRANTECHNIK : <https://www.swfkrantechnik.com/myswf/en/crane-intelligence.html>
- Tang, Q., & Du, F. (2021). *Internet of Things Security: Principles and Practice*. Springer.
- Tencio, L. (2018). Gestión de mantenimiento en la Industria farmacéutica bajo la filosofía del Lean Maintenance y la Industria 4.0. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*, 1(1), 1-6.
- Valdivia, C. (2019). *Comunicaciones Industriales*. Paraninfo.

Villalba, D. (2015). *Desarrollo de una plataforma backend y frontend para la gestión de contenidos* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio de tesis de la Universidad Carlos III de Madrid. <http://hdl.handle.net/10016/23761>

Zelada, M. (2017). *Mejora de la gestión de mantenimiento pesado con la metodología AMEF* [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio de tesis de la Universidad San Ignacio de Loyola. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/3465>

Apéndices