



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Diseño de un sistema de comunicación para el acceso remoto
y monitoreo de los parámetros de maquinaria industrial
mediante el uso de Raspberry Pi 3 con conexión a Internet”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

JUAN ANDRÉS TORRES TORRES

JOSÉ MIGUEL LARREA GANDO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido alcanzar una más de mis metas dándome la fortaleza y sabiduría necesaria para seguir adelante. A mi madre, tíos, abuelita y amigos por darme su apoyo y el ánimo para nunca darme por vencido. A mis profesores por sus conocimientos impartidos a lo largo de los años que cursé las materias de la carrera, en especial al MSc. César Yépez ya que sin su ayuda este proyecto no hubiera sido posible, así como también al MSc. Washington Medina y al MSc. Ronald Solís por sus consejos y asesorías que hicieron posible la culminación de este proyecto.

Juan Andrés Torres Torres

Le agradezco a Dios por permitirme cerrar un capítulo más en mi vida y lograr alcanzar mi meta después de tantos años con mucho esfuerzo y dedicación. Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional y la confianza que tuvieron en mí para poder cumplir mi sueño, ya que, son testigos de que al final todo valió la pena. A mis amigos, colegas, y profesores que aportaron con su ayuda en mi aprendizaje y formación, al MSc. César Yépez, MSc. Ronald Solís y el Msc. Washington Medina porque fueron parte importante durante todo el desarrollo de los objetivos del proyecto.

José Miguel Larrea Gando

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi madre, Sandra Torres, por darme su amor incondicional, apoyo constante y por ser el pilar fundamental en mi vida. A mis tíos, Alexandra Torres, Yliana Torres y Carlos Torres, por estar siempre pendientes de mí y darme su apoyo cuando más lo he necesitado. A mi abuelita, Laura Feijoo, por siempre tenerme presente en sus oraciones y acercarme más a Dios enseñándome a ser una mejor persona.

Juan Andrés Torres Torres

Este proyecto se lo dedico a mi familia, quienes fueron mi mayor motivación y fortaleza en cada paso en el transcurso de estos años. Por enseñarme a ser siempre una buena persona para después ser un buen ingeniero, realizando todo lo que este a mi alcance y nunca dejar de aprender y ser mejor cada día. A mi Madre por enseñarme que, con esfuerzo, dedicación, perseverancia y que nunca rendirme son claves para alcanzar el éxito y satisfacción personal; a mi padre por enseñarme que con ingenio e inteligencia se puede resolver cualquier problema.

José Miguel Larrea Gando

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

José Miguel
Larrea Gando

Juan Andrés
Torres Torres

EVALUADORES

MSc. Washington Medina Moreira
PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Ronald Solís Mesa
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de comunicación para el acceso remoto y monitoreo de maquinaria industrial, donde se plantea una solución basada en IoT usando una tarjeta Raspberry Pi para conectar un compresor de aire a Internet. La finalidad del sistema de comunicación es reducir los gastos que se producen por movilizar personal técnico para llevar a cabo la revisión y diagnóstico del problema en la maquinaria industrial de una empresa.

Se realizaron las configuraciones y pruebas de conexión entre un compresor de aire y la Raspberry Pi los cuales, se conectaron a través de un cable UTP entre sus interfaces Ethernet, así como también entre la Raspberry Pi y el punto de acceso de la empresa para obtener conexión a Internet, para lo cual, se empleó una conexión Wi-Fi regida bajo los estándares IEEE 802.11. Se realizaron pruebas de dos sistemas operativos distintos dentro de la Raspberry Pi y la aplicación TeamViewer con la cual se estableció una sesión y posterior acceso remoto.

En base a las pruebas que se realizaron con cada sistema operativo, se pudo observar que Raspbian fue el que mostró menos complicaciones al momento de establecer las conexiones necesarias para el funcionamiento del sistema de comunicación. También se logró evidenciar que la fluidez con la que el usuario podía acceder a los parámetros era afectada por la velocidad y nivel de señal recibida de la red Wi-Fi de la empresa.

Finalmente, se logró establecer la conexión con la maquinaria industrial y monitorearla de forma remota. De esta manera la empresa de mantenimiento estaría en la capacidad de brindar un servicio más óptimo haciendo un mejor uso de su tiempo y realizar revisiones constantes a los equipos de sus clientes para anticiparse a posibles fallos que puedan ocurrir.

Palabras Claves: sistema de comunicación, acceso remoto, maquinaria industrial, IoT, Ethernet, Raspberry Pi, red Wi-Fi.

ABSTRACT

This project focuses on the design of a communication system for remote access and monitoring of industrial machinery, where an IoT-based solution is proposed using a Raspberry Pi card to connect an air compressor to the Internet. The purpose of the communication system is to reduce the expenses that are produced by mobilizing technical personnel to carry out the review and diagnosis of the problem in the industrial machinery of a company.

The configurations and connection tests were performed between an air compressor and the Raspberry Pi which were connected through a UTP cable between its Ethernet interfaces, as well as between the Raspberry Pi and the access point of the company to obtain Internet connection, for which a Wi-Fi connection governed by IEEE 802.11 standards was used. Two different operating systems were tested within the Raspberry Pi and the TeamViewer application with which a session and subsequent remote access was established.

Based on the tests that were performed with each operating system, it was observed that Raspbian was the one that showed the least complications when establishing the necessary connections for the operation of the communication system. It was also possible to show that the fluidity with which the user could access the parameters was affected by the speed and level of signal received from the company's Wi-Fi network.

Finally, it was possible to establish the connection with the industrial machinery and monitor it remotely. In this way the maintenance company would be able to provide a more optimal service making better use of their time and make constant reviews of their customers' equipment to anticipate possible failures that may occur.

Keywords: *communication system, remote access, industrial machinery, IoT, Ethernet, Raspberry Pi, Wi-Fi network.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del Problema	1
1.2 Justificación del Problema	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Alcance	5
1.5 Metodología	6
1.6 Estado del Arte	8
CAPÍTULO 2	11
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Sistema de Comunicación	11
2.1.1 Transmisor	11
2.1.2 Canal de Comunicación	11
2.1.3 Receptor	12
2.2 Redes de Datos	12
2.2.1 Redes de área local	12
2.2.2 Redes de área metropolitana	14

2.2.3	Redes de área amplia	14
2.2.4	Redes de área local inalámbrica	14
2.2.5	Modelo OSI	19
2.2.6	Pila de protocolos TCP/IP	21
2.2.7	Componentes de la Red.....	22
2.3	Internet.....	25
2.4	Telemetría.....	25
2.5	Internet de las Cosas	25
CAPÍTULO 3.....		26
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	26
3.1	Descripción del Escenario	26
3.2	Dispositivos que conforman el sistema de comunicación	27
3.3	Software empleado en el sistema de comunicación	30
3.4	Diagrama de Topología del sistema de comunicación	32
3.5	Configuraciones de los equipos.....	33
3.5.1	Configuración de la Raspberry Pi para conexión a Internet	33
3.5.2	Configuración del Proxy en TeamViewer	35
3.5.3	Configuración de los parámetros de red del controlador.....	36
3.5.4	Configuración de la Interfaz Ethernet de la Raspberry pi	38
3.6	Procedimiento para efectuar las pruebas de conexión	39
CAPÍTULO 4.....		44
4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	44
4.1	Conexión usando el sistema operativo Ubuntu.....	44
4.2	Conexión usando el sistema operativo Raspbian	46
4.3	Factores que influyen en la comunicación	49
4.4	Análisis del sistema de comunicación aplicado a nivel empresarial	51

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS	67

ABREVIATURAS

AP	Access Point
ARM	Acorn RISC Machine
ARP	Address Resolution Protocol
BLE	Bluetooth Low Energy
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CMD	CoMmanD
CPU	central processing unit
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ECG	Electrocardiograma
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FTP	File Transfer Protocol
GPIO	General Purpose Input/Output
HDMI	High Definition MultiMedia Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICMP	Internet Control Messenger Protocol
ID	Identification
IDC	International Data Corporation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Proveedores de Servicios de Internet
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OSI	Open Systems Interconnection
PC	Personal Computer
PDU	Protocol Data Unit
PLC	Programmable Logic Controller
POE	Power over Ethernet
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RAM	Random Access Memory
RSA	Rivest, Shamir and Adleman
SC	Service Channel
SCDA	Supervisory Control and Data Acquisition
SD	Secure Digital
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
SNMP	Simple Mail Transport Protocol
SoC	System on a Chip
SSID	Service Set Identifier
TCP	Transmission Control Protocol
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
USD	United States Dolar
UTP	Unshielded twisted pair
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

SIMBOLOGÍA

°	Grados
GB	Gigabyte
Gbps	Gigabits por segundo
GHz	Gigahercio
Km	Kilometro
m	Metro
Mbps	Megabits por segundo
MHz	Megahercio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Componentes de un Sistema de Comunicación [17]	11
Figura 2.2 Región de cobertura de las bandas ISM [27]	15
Figura 2.3 Logotipo de la certificación Wi-Fi [29]	16
Figura 2.4 Cobertura de los estándares 802.11a y 802.11b [31]	17
Figura 2.5 Comparación de la cobertura de los estándares 802.11 [27].....	19
Figura 2.6 Modelo de Referencia OSI [32].....	19
Figura 2.7 Pila de protocolos TCP/IP [35].....	21
Figura 3.1 Compresor de aire en estado de operación.....	26
Figura 3.2 Raspberry Pi 3 modelo B+ [49]	27
Figura 3.3 Raspberry Pi en carcasa con ventilación	29
Figura 3.4 Panel frontal del Sigma Control 2 [52]	29
Figura 3.5 Escritorio con sistema operativo Raspbian	30
Figura 3.6 Escritorio con sistema operativo Ubuntu.....	31
Figura 3.7 Puertos usados por diferentes Sistemas Operativos [59]	32
Figura 3.8 Topología del sistema de comunicación	32
Figura 3.9 Redes Wi-Fi escaneadas en Ubuntu	33
Figura 3.10 Redes Wi-Fi escaneadas en Raspbian.....	34
Figura 3.11 Configuración de la contraseña en Ubuntu.....	34
Figura 3.12 Configuración de la contraseña en Raspbian	34
Figura 3.13 Configuración de DHCP en la interfaz inalámbrica en Ubuntu	35
Figura 3.14 Configuración de DHCP en la interfaz inalámbrica en Raspbian.....	35
Figura 3.15 Configuración del proxy en Ubuntu y Raspbian.....	36
Figura 3.16 Parámetros de direccionamiento IPv4 [60]	36
Figura 3.17 Configuración de DHCP en una Laptop con Windows 10.....	37
Figura 3.18 Uso del comando ipconfig.....	37
Figura 3.19 Interfaz web del controlador.....	38
Figura 3.20 Conexión con el puerto Ethernet del controlador.....	38
Figura 3.21 Configuración de DHCP en la interfaz Ethernet en Ubuntu	39
Figura 3.22 Configuración de DHCP en la interfaz Ethernet en Raspbian.....	39
Figura 3.23 ID de la Raspberry Pi con sistema operativo Ubuntu	40

Figura 3.24 ID de la Raspberry Pi con sistema operativo Raspbian	40
Figura 3.25 Ingreso de ID del sistema operativo Ubuntu en la PC	41
Figura 3.26 Ingreso de ID del sistema operativo Raspbian en la PC.....	41
Figura 3.27 Ingreso de ID del sistema operativo Ubuntu en el smartphone	41
Figura 3.28 Ingreso de ID del sistema operativo Raspbian en el smartphone.....	42
Figura 3.29 Diagrama para llevar a cabo las pruebas de comunicación.....	43
Figura 4.1 Interfaces Ethernet e Inalámbrica conectadas de forma simultánea	44
Figura 4.2 Falta de conexión de TeamViewer con ambas interfaces conectadas	45
Figura 4.3 Conexión con TeamViewer usando únicamente la interfaz inalámbrica ...	45
Figura 4.4 Conexión con el controlador usando únicamente la interfaz Ethernet	46
Figura 4.5 Ingreso de la contraseña desde la aplicación en una PC	46
Figura 4.6 Ingreso de la contraseña desde la aplicación en un smartphone	47
Figura 4.7 Conexión establecida entre el smartphone y la Raspberry Pi usando TeamViewer.....	47
Figura 4.8 Pantalla de la Raspberry vista desde el smartphone	48
Figura 4.9 Ingreso de la dirección IP del controlador en el navegador web.....	48
Figura 4.10 Acceso a la información del compresor de aire	49
Figura 4.11 Pantalla de la interfaz web del controlador vista desde el smartphone...	49
Figura 4.12 Test de velocidad de la red Wi-Fi a la que se conectó la Raspberry Pi ..	50
Figura 4.13 Test de velocidad de la red Wi-Fi a la que se conectó la PC.....	51
Figura 4.14 Test de velocidad de la red celular del smartphone.....	51
Figura 4.15 Porcentaje de Visitas de INDUTORRES.....	52
Figura 4.16 Porcentaje de mantenimientos correctivos	52
Figura 4.17 Distancia recorrida desde INDUTORRES hasta Machala	53
Figura 4.18 Comparación de los gastos cuando no se requiere mantenimiento	55
Figura 4.19 Comparación de los gastos cuando se requiere mantenimiento	56
Figura 4.20 Comparación del número de compresores revisados al día	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Estándares IEEE 802.3 [21].....	13
Tabla 2.2 Bandas ISM [26]	15
Tabla 2.3 Estándares IEEE 802.11 [27].....	18
Tabla 2.4 Protocolos TCP/IP	22
Tabla 2.5 Tipos de cable par tranzado [42].....	24
Tabla 4.1 Costo del transporte por tramo	53
Tabla 4.2 Costo total del transporte por visita sin mantenimiento.....	53
Tabla 4.3 Costo total del transporte por visita con mantenimiento.....	54
Tabla 4.4 Costo total del tiempo del técnico por visita sin mantenimiento	54
Tabla 4.5 Costo total del tiempo del técnico por visita con mantenimiento	54

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito industrial es de suma importancia llevar a cabo un monitoreo periódico de las máquinas para conocer el estado en el que se encuentran; esto sirve de mucha ayuda para evitar interrupciones espontáneas del proceso de producción, optimizar su rendimiento y reducir tanto el tiempo de reparación como los costos del mantenimiento [1].

La mayoría de las empresas llevan a cabo mantenimientos correctivos, es decir, realizan las labores de mantenimiento solo si ocurre un desperfecto en sus equipos. Esto ocasiona que la operación se vuelva poco confiable ya que, en cualquier momento se pueden producir fallas que conlleven a un paro del proceso de producción. La situación se vuelve crítica cuando la empresa requiere contar con alta fiabilidad y un compromiso con el cliente debido a que, en caso de no cumplir con los horarios establecidos, resulte en una penalización económica [2].

1.1 Descripción del Problema

INDUTORRES, empresa encargada del desarrollo de proyectos de ingeniería para la industria ecuatoriana, comenta que, uno de sus puntos fuertes es la venta y mantenimiento de compresores de aire, los cuales se encuentran distribuidos a nivel nacional. La mayor parte de los compresores que venden, cuentan con un sistema controlador de última generación los cuales pueden mostrar los valores de los parámetros de diversos sensores con la finalidad de conocer el tiempo en el que cada pieza necesita su respectivo mantenimiento. Los controladores cuentan con una interfaz Ethernet que hace posible conectar una computadora para poder acceder a la interfaz web y de esta manera tener la opción de monitorearlo [3].

El problema radica en que, aunque los controladores cuentan con una interfaz Ethernet, no es utilizada debido a que la empresa no cuenta con un

dispositivo que le permita hacer uso de la interfaz de forma remota; desaprovechando una gran herramienta para la detección de posibles fallas del equipo. Esto conlleva a que, al momento de presentarse un desperfecto, el técnico encargado de los mantenimientos deba basarse en la información brindada por el cliente, la cual en ocasiones no es lo suficientemente precisa, para elaborar un diagnóstico del problema. Por tal motivo, en este tipo de situaciones, es necesario que la empresa envíe al técnico al lugar donde ocurrió el desperfecto para poder revisar los valores de los parámetros del controlador y de esta manera, realizar un diagnóstico certero. Este proceso adicional genera un gasto considerable tanto de tiempo como de recursos económicos [4].

1.2 Justificación del Problema

La industria ecuatoriana es una de las bases de la economía del país, según un estudio que llevó a cabo La Superintendencia de Compañías en el año 2017 se logró evidenciar que, el sector manufacturero obtuvo ingresos por un valor de 22935 millones de USD [5]. Este estudio demuestra la importancia de mantener en óptimas condiciones la maquinaria que se encarga de llevar a cabo los procesos de producción ya que, de lo contrario esto repercutiría en la economía del país.

Este sector ha evolucionado gracias a la implementación de las nuevas tecnologías para llevar a cabo los procesos de una forma más óptima, debido a esto, cada día más empresas se muestran interesadas y toman en consideración el hacer uso de estas [6].

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) dentro de un censo realizado en el año 2015 afirma que el 66.7% de las empresas consultadas han realizado inversiones en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), de los cuales el 24.6% corresponde a empresas de manufactura. También se afirma que el 97.3% de estas empresas cuentan con acceso a Internet, sin embargo, se puede asumir que, debido al crecimiento en la

demanda del servicio de internet en los últimos años este dato puede ir en aumento [7].

Según información brindada por el Ministerio de Industrias y Productividad, Ecuador se encuentra suscrito a un convenio con la Cámara de Industrias y Comercio ecuatoriano – alemana que le permitirá al sector industrial y agroindustrial tomar provecho de nuevos conocimientos tecnológicos [8].

En la actualidad el Internet de las cosas (IoT), es un tema que se encuentra en constante avance ya que, al permitir que los objetos se conecten a Internet, brinda la posibilidad de desarrollar ciudades y hogares inteligentes, así como impulsar una evolución en el sector industrial. Según el International Data Corporation (IDC) se estima que el gasto a nivel mundial para el desarrollo del IoT tendrá una tasa de crecimiento anual correspondiente al 13.6% en un periodo de 5 años a partir del 2017 hasta el 2022, siendo el 2022 el año en el que se alcanzará la cifra de 1.2 billones de USD. El número de dispositivos IoT va en aumento, se pronostica que hasta el año 2020 existirán 20400 millones de dispositivos conectados y que el 95% de los productos incorporarán esta tecnología desde su fabricación; esto explica el interés de las empresas a invertir recursos con la finalidad de implementar innovaciones digitales para mejorar los servicios que ofrecen [9].

Adicionalmente, dentro de los planes del Gobierno ecuatoriano se encuentra el impulso del sector productivo para que la industria implemente nuevas TIC en los procesos de las empresas, de esta forma se mejorará la competitividad. Para alcanzar estos objetivos se requiere la colaboración de los sectores público y privado [10].

Cada día es más común encontrarse con equipos industriales en cuyos controladores cuentan con un puerto de red Ethernet, lo cual permite la implementación de diversas técnicas para acceder a ellos de forma remota ya sea para el monitoreo, control o ambas.

La importancia del presente proyecto consiste en brindar una alternativa a las empresas de mantenimiento con la finalidad de que puedan contar con un sistema para el monitoreo remoto de maquinaria industrial. Esto resultará de gran beneficio ya que contarían con la capacidad de diagnosticar posibles fallas y realizar mantenimientos preventivos evitando de esta forma el gasto adicional que conlleva enviar un técnico a realizar un diagnóstico en el momento que se presentare una falla. Contar con este tipo de sistemas brindaría a estas empresas una ventaja competitiva en el mercado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema de acceso remoto mediante el uso de una Raspberry Pi 3 para el monitoreo de maquinaria industrial.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema conformado por la Raspberry Pi 3 y la maquinaria industrial con conexión a Internet para el acceso remoto a la interfaz del controlador.
- Investigar acerca de las características y configuraciones de la Raspberry Pi 3 con la finalidad de hacer uso de sus interfaces.
- Revisar las características y configuraciones de red del controlador incorporado en la maquinaria industrial para acceder a los parámetros que se desea monitorear.
- Configurar la Raspberry Pi 3 para establecer una conexión permanente a Internet mediante una red Wi-Fi.
- Establecer una conexión remota a la Raspberry Pi 3 haciendo uso de una aplicación.

- Definir los parámetros de red del controlador de la maquinaria industrial y de la Raspberry Pi 3 en su interfaz Ethernet mediante la asignación de direcciones IP.
- Llevar a cabo las pruebas y análisis de resultados.

1.4 Alcance

El presente proyecto se encuentra orientado a brindar una solución basada en IoT para la empresa INDUTORRES a fin de que puedan contar con la capacidad de acceder de forma remota a la maquinaria industrial y llevar un monitoreo de los parámetros de interés.

La maquinaria con la cual se llevarán a cabo las pruebas de conexión son los compresores de aire de la marca alemana KAESER, ya que estos son los equipos que la empresa se encarga de vender y de brindar servicios de mantenimiento a nivel nacional. Las pruebas se llevarán a cabo con un compresor perteneciente a INDUTORRES que se encuentra ubicado en el Km 7.5 Vía Durán-Tambo.

De todos los compresores de aire que se encuentran distribuidos a lo largo del territorio ecuatoriano, este trabajo se enfoca en aquellos que son más modernos debido a que poseen un controlador de última generación llamado SIGMA CONTROL 2, el cual cuenta con un puerto de red Ethernet que posibilita el acceso a la interfaz web del equipo.

Para establecer el acceso remoto se empleará una Raspberry Pi la cual, es una tarjeta programable con funcionalidades similares a un computador. Al existir varios modelos, se debe escoger la que cumpla con los requerimientos los cuales son, el permitir una conexión vía Ethernet con el compresor de aire y a su vez, una conexión inalámbrica a la red Wi-Fi de la empresa. Por tal motivo se empleará la Raspberry Pi 3 para el presente proyecto.

Es importante tomar en consideración que, si una empresa cuenta con más de un compresor de aire que cumpla con las características mencionadas, a cada equipo se le debe asignar una Raspberry Pi de manera independiente. De igual manera, es importante que la empresa cuente con una red Wi-Fi en las cercanías del sitio en el cual se encuentra ubicado el compresor de aire.

1.5 Metodología

El primer paso que se llevará a cabo para desarrollar este proyecto es diseñar un sistema de comunicación el cual, estará conformado por una red de área local (LAN) establecida entre la Raspberry Pi 3 y la maquinaria industrial haciendo uso del protocolo Ethernet. A su vez contará con una conexión a Internet mediante la red Wi-Fi haciendo uso de la interfaz inalámbrica de la Raspberry Pi 3, de esta manera será posible tener acceso a la interfaz web del controlador una vez se haya logrado establecer una conexión con dicha tarjeta programable.

Se investigará acerca de las principales características y configuraciones de la Raspberry Pi 3, para lo cual se empleará información brindada por la página oficial de la tarjeta, así como de documentos e investigaciones previas. Dentro de las características más importantes que se deben revisar se encuentran la potencia de entrada, temperatura de operación, bandas de operación de la interfaz inalámbrica, así como los protocolos que utiliza y la tasa de transmisión de datos que soporta la interfaz Ethernet. Debido a que esta tarjeta posee funcionalidades similares a un computador, se deberá instalar un sistema operativo con el fin de poder ejecutar los programas que se usarán para realizar el acceso remoto.

Se deberá investigar entre los diversos sistemas operativos compatibles con la Raspberry Pi 3 para poder tomar en cuenta las configuraciones, sean estas mediante líneas de comandos o en interfaces gráficas, correspondientes a la asignación del direccionamiento IPv4 en las interfaces Ethernet e inalámbrica, la asignación del Service Set Identifier (SSID) de la

red Wi-Fi de interés, contraseña de autenticación, la dirección IP y puerto de salida del servidor Proxy.

La maquinaria industrial es uno de los principales componentes dentro del sistema de comunicación que se diseñará en el presente proyecto, ya que es el objetivo al que se desea acceder de forma remota para su monitoreo mediante la interfaz Ethernet de su controlador. Por tal motivo es importante conocer las características que presenta el puerto de red para que exista una correcta comunicación con la Raspberry Pi 3. También, es necesario conocer la forma en la que se debe configurar los parámetros de red para poder establecer el acceso a la interfaz web del controlador. Debido a esto, se revisará el manual del controlador SIGMA CONTROL 2 el cual, será otorgado por parte de la empresa para su uso en el desarrollo del presente proyecto.

Una vez revisadas las características de ambos equipos, se procederá a llevar a cabo las configuraciones en la Raspberry Pi 3 para conectar la tarjeta a una red Wi-Fi perteneciente a la empresa. Los parámetros que se deben establecer en la interfaz inalámbrica son el SSID y la contraseña de la red. En caso de redes empresariales suele existir un parámetro adicional que se debe configurar el cual es la dirección del servidor Proxy y su correspondiente puerto, que brinda conectividad con el Internet. Se deberá de ejecutar los comandos adecuados para garantizar que la conexión a la red Wi-Fi se establezca de forma permanente ya que, es mediante este medio por el cual se accederá a la Raspberry de forma remota.

Para establecer el acceso remoto a la Raspberry Pi 3 a través del cual posteriormente se ingresará a la interfaz web del controlador, se empleará un programa llamado TeamViewer. Este programa permitirá establecer una sesión entre la Raspberry Pi 3 conectada a Internet y una computadora conectada a una red remota. De esta manera el técnico encargado del mantenimiento de los equipos puede monitorear los parámetros de interés de la maquinaria desde cualquier lugar en el que se encuentre. Para el presente proyecto se hará uso de la licencia gratuita de TeamViewer, sin

embargo, para uso comercial es necesario adquirir la licencia correspondiente.

Posteriormente, se debe establecer una red de la cual van a formar parte el compresor de aire a través de su controlador y la Raspberry Pi 3, para esto se deberá acceder a la configuración del controlador mediante el tablero con pantalla que tiene incorporado y de esta forma proceder a establecer la dirección IP del equipo, la máscara de subred, la puerta de enlace y los servidores DNS. Cabe recalcar que este paso se lo ejecutará con la supervisión del Ingeniero encargado del equipo ya que, el acceso a ese tipo de configuraciones requiere de permisos otorgados solo al personal autorizado. Una vez establecidos los parámetros en el controlador, se procederá a la ejecución de los comandos en la Raspberry Pi 3 para la configuración de los mismos parámetros en la interfaz Ethernet, añadiendo una dirección IP que pertenezca a la misma red del controlador.

Finalmente, se procederá a realizar las pruebas correspondientes a la conexión de la Raspberry Pi 3 mediante Wi-Fi a Internet para garantizar que al hacer uso del programa TeamViewer junto con un computador conectado a una red diferente a la de la empresa donde se encuentra ubicado el compresor, se logre establecer la sesión para el acceso remoto. Posteriormente, una vez se haya establecido la sesión y el acceso remoto, dentro de la interfaz de la Raspberry Pi 3 se procederá a hacer uso del navegador web para digitar la dirección IP configurada previamente en el controlador del compresor de aire, de esta manera se logrará ingresar a la interfaz web del controlador para llevar a cabo el monitoreo del equipo.

1.6 Estado del Arte

Debido a los avances tecnológicos, es posible aplicar técnicas basadas en IoT para la telemetría de las maquinarias del sector industrial con la finalidad de mejorar el rendimiento y evitar problemas en los procesos de producción. El desarrollo de la Raspberry Pi ha permitido llevar a cabo múltiples

investigaciones para su aplicación en soluciones IoT dentro de diferentes campos.

En el 2016 se llevó a cabo un estudio para la implementación de un sistema de monitoreo climático urbano usando la Raspberry Pi, sensores de humedad, temperatura, intensidad de luz y calidad de aire. Este sistema se encargaba de recopilar información de los sensores y enviarla a un servidor en la nube para que de esta manera las lecturas de las variables físicas se encuentren a disposición de las personas sin importar el lugar en el que se encuentren, siempre y cuando cuenten con una conexión a Internet [11].

Un trabajo similar fue realizado por personas de la República de Corea, pero orientado al monitoreo de los parámetros de un panel fotovoltaico en el cual, se hizo uso de la Raspberry Pi como un Gateway o puerta de enlace para permitir enviar los datos a la nube y que estos sean visualizados en una aplicación instalada en un teléfono móvil [12].

En el 2018 se llevó a cabo un estudio por parte de dos personas del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Basrah en Iraq, donde se diseñó un sistema SCADA basado en Raspberry Pi 3 con conexión Wi-Fi para controlar un hogar inteligente en donde se buscaba tener un control central de acciones tales como el encendido y apagado de luces, control de la ventilación, apertura de puertas y el monitoreo de variables de sensores [13].

Dos personas del Departamento de Tecnología de la Información del colegio de Ingeniería Pimpri Chinchwad de la India realizaron un estudio en el cual, se empleaba la Raspberry Pi, sensores de temperatura, sensor de frecuencia de pulso y sensores ECG en un sistema de monitoreo para la salud basado en IoT. El sistema hacía uso de la Raspberry para procesar los datos de los sensores y enviarlos a un servidor IoT para que posteriormente la información sea visualizada en cualquier computador que forme parte del sistema [14].

Adicionalmente, existen dispositivos en el mercado que permiten el acceso remoto a PLCs y controladores industriales. Entre estos dispositivos se encuentra la familia Cosy de la marca Ewon, los cuales brindan la posibilidad de establecer túneles VPN seguros para la conexión remota y que a su vez trabaja con varias marcas como Siemens, Hitachi, Mitsubishi, entre otras [15].

Sin embargo, a pesar de que existen múltiples trabajos de investigación que hacen uso de la Raspberry Pi como herramienta para el monitoreo y control remoto, no se ha observado que se haya llevado a cabo un estudio orientado a su aplicación en el ámbito industrial, específicamente con compresores de aire que cuenten con su propio controlador, el cual ya tenga incorporado un sistema para acceder a la información de los parámetros de interés y que no necesite procesamiento de datos adicional. Aunque existen dispositivos que permiten acceder de forma remota a controladores y PLCs como es el caso del Ewon Cosy, el costo de estos dispositivos es elevado y a su vez las capacidades que brindan exceden los requerimientos necesarios en las operaciones industriales, las cuales pueden ser cubiertas con un Raspberry Pi.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de Comunicación

Un sistema de comunicación es un grupo de dispositivos conectados entre sí con la finalidad de transmitir información de un emisor a un destinatario, comunicación punto a punto, o de un emisor a múltiples destinatarios, comunicación punto a multipunto [16]. Los sistemas de comunicaciones se encuentran conformados por tres elementos fundamentales los cuales son: el transmisor, canal de comunicación y el receptor [17], tal como se muestra en la figura 2.1.

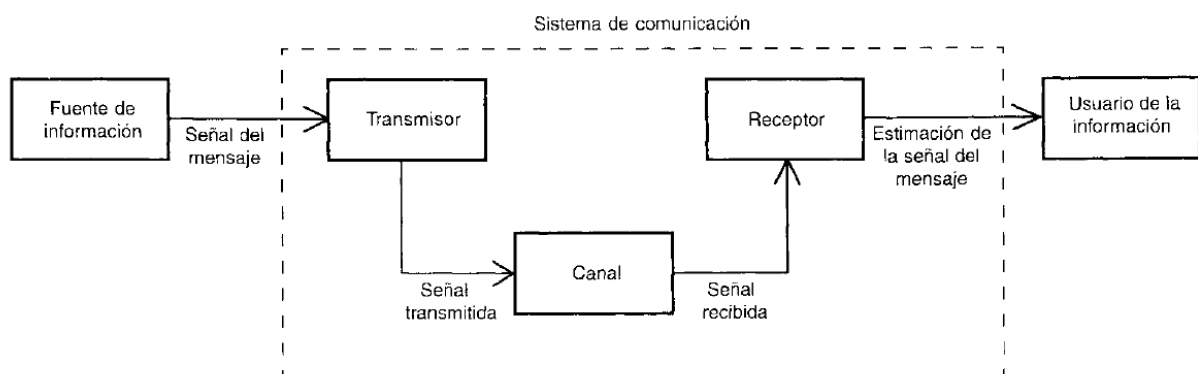


Figura 2.1 Componentes de un Sistema de Comunicación [17]

2.1.1 Transmisor

El transmisor es el dispositivo encargado de transformar y adecuar la señal generada por la fuente de tal forma que la información pueda ser transmitida a través del canal de comunicación [17].

2.1.2 Canal de Comunicación

Es el medio que conecta al transmisor con el receptor por el cual se envía la información. El canal de comunicación debido a diversos factores como

el ruido y la interferencia pueden deteriorar la calidad de la señal que se transmite, provocando que esta llegue distorsionada al receptor [17].

2.1.3 Receptor

El receptor es el dispositivo encargado de obtener la señal transmitida a través del canal de comunicación y reconstruirla de tal forma que, la información pueda ser interpretada de manera correcta por el destinatario [17].

2.2 Redes de Datos

Las redes de datos son el conjunto de hardware y software que conforman la infraestructura de comunicación cuyo objetivo principal es la transmisión de información mediante el intercambio de datos. Estas redes se pueden clasificar de acuerdo a la extensión geográfica que ocupan [18].

2.2.1 Redes de área local

Las redes de área local también conocidas como redes LAN, por sus siglas en inglés, son un tipo de red privada cuya extensión puede abarcar un edificio e incluso extenderse unos pocos kilómetros. Es de mucha utilidad en hogares para conectar computadoras personales, así como en ambientes laborales para conectar estaciones de trabajo con el fin de compartir recursos e información corporativa. Las redes LAN también son comúnmente conocidas como redes Ethernet [19].

2.2.1.1 Ethernet

El término Ethernet se emplea para hacer referencia a todo tipo de dispositivos para redes LAN los cuales se basan en el estándar IEEE 802.3. Ethernet es la tecnología más utilizada en redes de área local debido a su facilidad de implementación, administración y mantenimiento, permite una implementación a bajo costo, flexibilidad en el diseño de la topología e instalación de la red y permite la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes [20].

2.2.1.2 Estándares Ethernet

A lo largo de los años se han establecido una serie de versiones del estándar IEEE 802.3 dentro de los cuales se detallan características tales como la tasa de datos y el tipo de cable que se utiliza para la transmisión. En la tabla 2.1 se pueden apreciar los diferentes estándares y sus características principales [21].

Estándar	Denominación	Tasa de Datos	Tipo de Cable	Año de Publicación
802.3	10Base5	10 Mbps	Cable coaxial	1983
802.3^a	10Base2	10 Mbps	Cable coaxial	1988
802.3i	10BaseT	10 Mbps	Cable par trenzado	1990
802.3j	10Base-FL	10 Mbps	Cable de fibra óptica	1992
802.3u	100Base-TX 100Base-FX 100Base-SX	100 Mbps	Cable par trenzado Cable de fibra óptica	1995
802.3z	1000Base-SX 1000Base-LX	1 Gbps	Cable de fibra óptica	1998
802.3ab	1000Base-T	1 Gbps	Cable par trenzado	1999
802.3ae	10GBase-SR 10GBase-SW 10GBase-LR 10GBase-LW 10GBase-ER 10GBase-EW 10GBase-LX4	10 Gbps	Cable de fibra óptica	2002
802.3an	10GBase-T	10 Gbps	Cable par trenzado	2006

Tabla 2.1 Estándares IEEE 802.3 [21]

2.2.2 Redes de área metropolitana

Las redes de área metropolitana también conocidas como redes MAN, por sus siglas en inglés, son aquellas cuya extensión abarca las dimensiones de una ciudad. Estas redes se encuentran constituidas por varias redes LAN brindando acceso de alta velocidad entre ellas [22].

2.2.3 Redes de área amplia

Las redes de área amplia también conocidas como redes WAN, por sus siglas en inglés, son aquellas cuya extensión abarca cientos o hasta miles de kilómetros, cubriendo áreas geográficas del tamaño de países e incluso continentes [23]. Estas redes suelen ser desarrolladas por grandes empresas u organizaciones para el uso privado, así como por proveedores de servicio de Internet (ISP) para ofrecer servicio a sus clientes [24].

2.2.4 Redes de área local inalámbrica

Las redes de área local inalámbrica también conocidas como redes WLAN, por sus siglas en inglés, son muy similares a las redes LAN sin embargo hacen uso de ondas electromagnéticas para la transmisión de los datos a diferencia de las redes LAN tradicionales que usan como medios al cable coaxial, cable de par trenzado o fibra óptica. Una de las principales características de las redes WLAN es permitir la movilidad ya que, al no hacer uso de cables, los usuarios tienen la libertad de desplazarse con sus dispositivos sin perder la conexión [25].

Las redes WLAN hacen uso del espectro electromagnético en las bandas de frecuencia no licenciadas denominadas como bandas ISM [26].

2.2.4.1 Bandas ISM

Las bandas ISM, Industrial Scientific and Medical, son aquellas bandas de frecuencias destinadas a usos no comerciales, las cuales se detallan junto con sus rangos correspondientes en la tabla 2.2 [26].

Banda	900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
Rango de frecuencias	902 – 928 MHz	2.4 – 2.4835 GHz	5.15 – 5.35 GHz 5.725 – 5.825 GHz

Tabla 2.2 Bandas ISM [26]

El uso de las frecuencias para la transmisión de información tiene ciertos aspectos que se deben tomar en cuenta, tales como que la región de cobertura se reduce cuando la frecuencia usada es mayor, sin embargo, se puede transmitir una mayor tasa de datos. Por el contrario, si se emplea una frecuencia baja, la región de cobertura aumenta, pero disminuyendo la tasa de datos que se puede transmitir. En la figura 2.2 se puede evidenciar los efectos en la región de cobertura en base a la banda de frecuencia ISM utilizada para la transmisión de datos. La tecnología Wi-Fi hace uso de esas bandas de frecuencia no licenciada para la aplicación en redes WLAN [26].

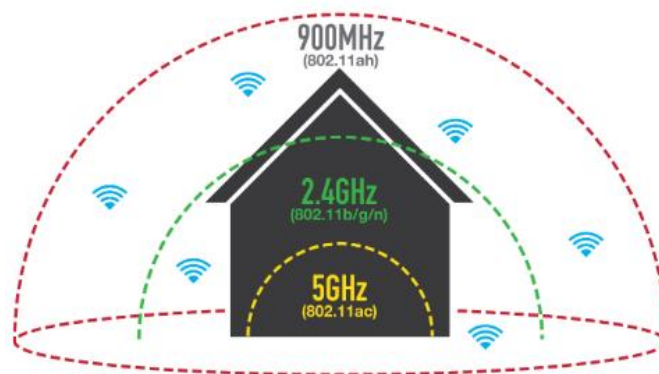


Figura 2.2 Región de cobertura de las bandas ISM [27]

2.2.4.2 Tecnología Wi-Fi

La Tecnología Wi-Fi, abreviatura de Wireless Fidelity, se encuentra basada en los estándares para la comunicación inalámbrica 802.11 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), quienes constantemente se encuentran mejorando los estándares para poder ofrecer velocidades de transmisión más altas, menos latencia y una mejor experiencia a los usuarios [28]. La Wi-Fi Alliance es la encargada de

otorgar la certificación a los dispositivos que cumplen con los estándares 802.11 mediante el uso del logotipo que se muestra en la figura 2.3 [29].



Figura 2.3 Logotipo de la certificación Wi-Fi [29]

2.2.4.3 Estándares IEEE 802.11

Los estándares IEEE 802.11 son los encargados de definir el funcionamiento de las capas inferiores del modelo OSI, capa física y enlace de datos, en las redes WLAN [30]. A lo largo de los años la IEEE ha desarrollado varios estándares con diferentes características entre los cuales se encuentran los siguientes:

- **IEEE 802.11**

Fue la primera versión del estándar dentro del cual se estableció una velocidad de transmisión de entre 1 a 2 Mbps. Este estándar definió el método de acceso CSMA/CA, acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones. Sin embargo, tuvo dificultades para la interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas las cuales fueron corregidas por el estándar 802.11b [30].

- **IEEE 802.11 b**

Es la versión mejorada del estándar 802.11 en el cual se establece una velocidad de transmisión de 11 Mbps y hace uso del método de acceso CSMA/CA del estándar anterior. Dentro del 802.11b se hace uso de la banda de 2.4 GHz y la técnica DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum, que es una técnica de espectro ensanchado para la transmisión de señales digitales [30].

- **IEEE 802.11 a**

A diferencia de los dos estándares anteriores, el 802.11a opera en la banda de 5 GHz y utiliza OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, con una velocidad máxima de transmisión de 54 Mbps. El inconveniente con este estándar es que no puede interoperar con dispositivos que usan el estándar 802.11b. Sin embargo, el operar dentro de la banda de 5 GHz representa una ventaja dado que se presentan menos interferencias que en la banda de 2.4 GHz dado el gran uso que tiene esta banda en equipos tales como teléfonos inalámbricos, dispositivos bluetooth y hornos de microondas. Debido a que se hace uso de una frecuencia más alta, serán necesarios un mayor número de APs, Puntos de Acceso, en comparación al 802.11b para cubrir la misma área [30], tal como se muestra en la figura 2.4.

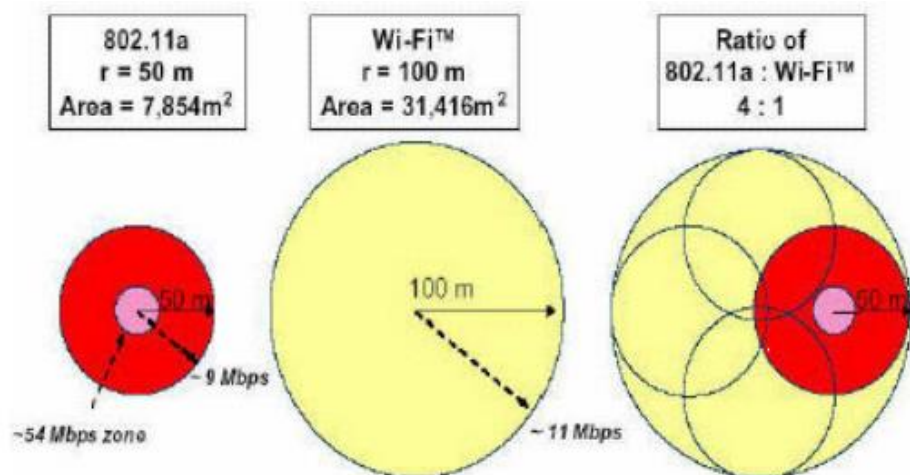


Figura 2.4 Cobertura de los estándares 802.11a y 802.11b [31]

- **IEEE 802.11 g**

Este estándar hace uso de la banda de 2.4 GHz al igual que el 802.11b por lo cual los dispositivos que cuenten con estos estándares están en la capacidad de interoperar. Posee características similares al 802.11a entre las que destaca su

velocidad máxima de transmisión de 54 Mbps, la cual puede disminuir si dentro de un nodo se encuentran dispositivos basados en el 802.11b [30].

- **IEEE 802.11 n**

Es la primera versión en hacer uso de dos bandas de frecuencia; funciona tanto en 2.4 GHz, de igual manera que los estándares 802.11b y 802.11n, como en 5 GHz, tal como el estándar 802.11a, lo que lo hace compatible con todas las versiones anteriores. Llega a alcanzar una velocidad máxima de transmisión de 600 Mbps [30].

En la tabla 2.3 se presentan las características más relevantes de los diferentes estándares IEEE 802.11 existentes hasta la actualidad mientras que en la figura 2.5 se pueden observar los diferentes rangos de cobertura para cada uno de ellos.

Estándar	Banda de Frecuencia	Ancho de Banda	Esquema de Modulación	Arquitectura del canal	Tasa de Datos Máx.
802.11	2.4 GHz	20 MHz	BPSK a 256 QAM	DSSS, FHSS	2 Mbps
802.11b	2.4 GHz	21 MHz	BPSK a 256 QAM	DSSS	11 Mbps
802.11a	5 GHz	22 MHz	BPSK a 256 QAM	OFDM	54 Mbps
802.11g	2.4 GHz	23 MHz	BPSK a 256 QAM	DSSS, OFDM	54 Mbps
802.11n	2.4 GHz 5 GHz	24 MHz y 40 MHz	BPSK a 256 QAM	OFDM	600 Mbps
802.11ac	5 GHz	160 MHz	BPSK a 256 QAM	OFDM	6.93 Gbps
802.11ad	60 GHz	2.16 GHz	BPSK a 64 QAM	SC, OFDM	6.76 Gbps
802.11af	54 MHz a 790 MHz	6,7 y 8 MHz	BPSK a 256 QAM	SC, OFDM	26.7 Mbps
802.11ah	900 MHz	1,2,4,8 y 16 MHz	BPSK a 256 QAM	SC, OFDM	40 Mbps

Tabla 2.3 Estándares IEEE 802.11 [27]

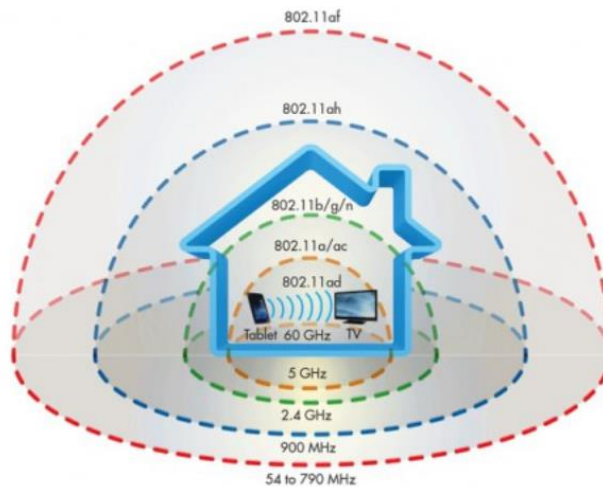


Figura 2.5 Comparación de la cobertura de los estándares 802.11 [27]

2.2.5 Modelo OSI

El modelo OSI, Interconexión de Sistemas Abiertos, fue desarrollado por la ISO, Organización Internacional de Estándares, como el primer eslabón para la estandarización de protocolos utilizados en múltiples capas. Este modelo se encuentra orientado a la conexión entre sistemas que se encuentran abiertos a la conexión con otros sistemas [32].

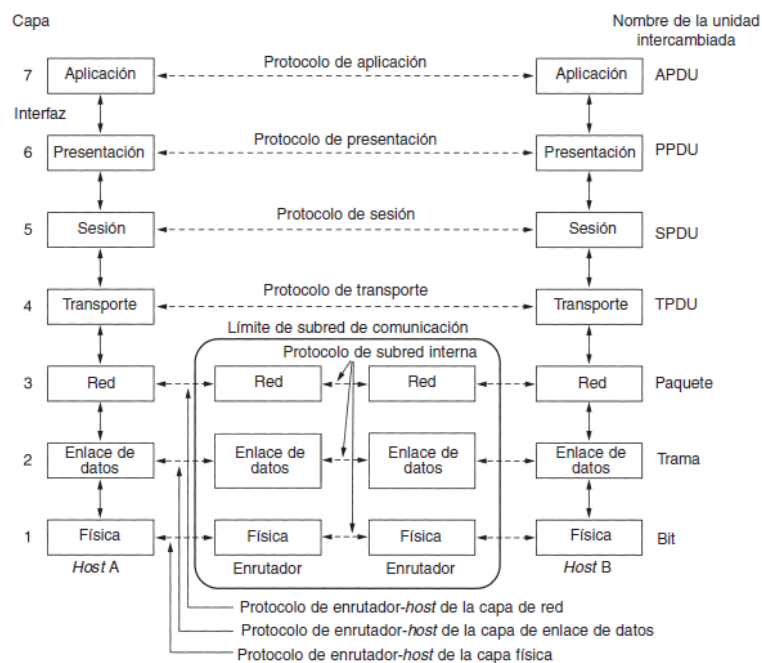


Figura 2.6 Modelo de Referencia OSI [32]

Como se muestra en la figura 2.6 el modelo de referencia OSI se divide en siete capas las cuales son:

- **Capa física**

Dentro de esta capa se establecen las características eléctricas y mecánicas necesarias para iniciar, mantener y finalizar un enlace físico. En la capa física se definen características tales como los niveles de voltaje para identificar los ceros y unos, temporización de cambios de voltaje o tiempo de duración de un bit, la tasa de datos, conectores físicos, el tipo de medio entre otros [33].

- **Capa de enlace de datos**

Esta capa proporciona confiabilidad en el tráfico de datos al ser transmitido por medio de un enlace físico. Esta capa se encarga del direccionamiento físico, control del acceso a los medios, detección de errores y control del flujo para una entrega ordenada de la trama [33].

- **Capa de red**

Esta capa es la encargada de brindar conectividad, establecer las rutas entre diferentes redes y del direccionamiento de paquetes [33].

- **Capa de transporte**

Esta capa es la encargada de segmentar los datos provenientes de las capas superiores en el transmisor y de rearmarlos en el receptor [33]. El PDU, Unidad de Datos del Protocolo, que se emplea en esta capa depende del protocolo que se utilice. Si se trabaja con aplicaciones no orientadas a conexión, entonces el protocolo a utilizar es UDP y por consiguiente el PDU se denomina Datagrama. Por el contrario, si se trabaja con aplicaciones orientadas a conexión, entonces el protocolo que se utiliza es TCP y el PDU se denomina Segmento [34].

- **Capa de sesión**

Esta capa se encarga de establecer, mantener y finalizar las sesiones entre dos dispositivos finales para garantizar el correcto intercambio de la información [34].

- **Capa de presentación**

Es la capa encargada de la interpretación de la información para su posterior representación con la finalidad de que los datos sean visualizados por el usuario de manera comprensible [34].

- **Capa de aplicación**

Es la capa más cercana al usuario la cual, brinda las interfaces de las aplicaciones que le permiten ejecutar las acciones necesarias para la transmisión de información por medio de la red [34].

2.2.6 Pila de protocolos TCP/IP

La pila de protocolos TCP/IP está conformada por un conjunto de protocolos los cuales se encuentran ordenados según la capa en la que trabajan como se muestra en la figura 2.7. En la tabla 2.4 se describen los protocolos más utilizados en las redes actuales.

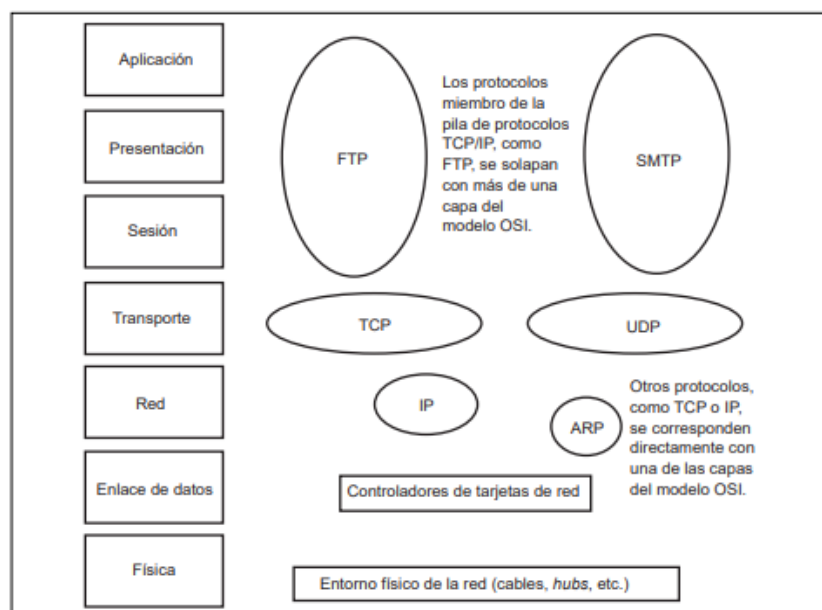


Figura 2.7 Pila de protocolos TCP/IP [35]

Protocolo	Descripción
FTP	El File Transfer Protocol proporciona servicios de transferencia de archivos [35].
HTTP	El Hypertext Transfer Protocol es un protocolo cliente/servidor para el intercambio de información de páginas web [36].
DHCP	El Dinamic Host Configuration Protocol es un protocolo cliente/servidor en el cual se asigna información IP a un host, tales como su dirección IP, máscara de subred y puerta de enlace [37].
DNS	El Domain Name System permite la asignación de nombres de dominio a direcciones IP [38].
SNMP	El Simple Mail Transport Protocol otorga servicios de correo electrónico dentro de una red [35].
TCP	El Transport Control Protocol es un protocolo de capa de transporte orientado a conexión el cual, gestiona la conexión entre dos dispositivos terminales o host [35].
UDP	El User Datagram Protocol es un protocolo de capa de transporte al igual que TCP, pero no orientado a conexión [35].
IP	El Internet Protocol es el protocolo de capa de red fundamental para el direccionamiento en las redes TCP/IP [35].
ICMP	El Internet Control Message Protocol es un protocolo que permite la detección y registro de errores en la red [39].
ARP	El Address Resolution Protocol es un protocolo encargado de emparejar las direcciones IP con las direcciones MAC [35].

Tabla 2.4 Protocolos TCP/IP

2.2.7 Componentes de la Red

Los componentes por los cuales se encuentran conformadas las redes son:

- **Dispositivos Terminales**

Son todos aquellos dispositivos con los que el usuario puede interactuar para conectarse a la red, como por ejemplo los ordenadores. También suelen ser llamados nodos, estaciones de trabajo o host. Estos dispositivos se conectan con un servidor cuando necesitan hacer uso de recursos compartidos o información almacenada en estos [40].

- **Servidores**

Son los encargados de manejar los recursos y la información compartida. Existen múltiples tipos de servidores dependiendo de la aplicación que se desee hacer uso como, por ejemplo: los servidores de archivos, servidores web, servidores de correo y servidores proxy. Los servidores proxy son de gran utilidad en las redes cuando se desea filtrar peticiones a redes externas [40].

- **Dispositivos de Red**

Son aquellos dispositivos que brindan conectividad a los dispositivos terminales conectándolos a la red, así como también se encargan de interconectar redes [40]. El router o enrutador es el dispositivo más usado ya que permite la conexión de una red local con el Internet, también se encarga de proteger la información de posibles amenazas que atenten con su seguridad, pueden establecer prioridades entre los dispositivos que se conectan y determinar la velocidad a la que se transmiten los datos [41]. Los AP o Puntos de Acceso son dispositivos que permiten la conexión a la red de forma inalámbrica. Contar con una red inalámbrica facilita la movilidad de las personas y permite conectar un mayor número de dispositivos a la red [41].

- **Medios de conexión**

Es el encargado de la conexión física entre los dispositivos terminales y dispositivos de red a través del cual se transmiten los datos. Existen medios alámbricos tales como el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica, y el medio inalámbrico el cual emplea

ondas de radio, microondas o infrarrojos para transmitir información [40]. El cable par trenzado es el medio más usado y existen varios tipos, los cuales se muestran en la tabla 2.5.

Tipo de cable par trenzado	Características
Categoría 5	Se utiliza en redes FastEthernet, es decir que soporta una tasa de datos de hasta 100 Mbps y soporta transmisión a frecuencias de hasta 100 MHz.
Categoría 5e	Se utiliza en redes GigabitEthernet, es decir que soporta una tasa de datos de hasta 1000 Mbps y soporta transmisión a una frecuencia de 100 MHz o superior.
Categoría 6	Se utiliza en redes GigabitEthernet, es decir que soporta una tasa de datos de 1000 Mbps y soporta transmisión a frecuencias de hasta 250 MHz.
Categoría 6a	Se utiliza en redes 10 GigabitEthernet, es decir que soporta una tasa de datos de 10000 Mbps y soporta transmisión a frecuencias de hasta 500 MHz.
Categoría 7	Se utiliza en redes 10 GigabitEthernet, es decir que soporta una tasa de datos de 10000 Mbps y soporta transmisión a frecuencias de hasta 600 MHz.
Categoría 7a	Se utiliza en redes 10 GigabitEthernet, es decir que soporta una tasa de datos de 10000 Mbps y soporta transmisión a frecuencias de hasta 1000 MHz.
Categoría 8	Se utiliza en redes 40 GigabitEthernet, es decir que soporta una tasa de datos de 40000 Mbps y soporta transmisión a frecuencias de hasta 2000 MHz.

Tabla 2.5 Tipos de cable par trenzado [42]

2.3 Internet

El término Internet es comúnmente usado para referirse a una red global sin embargo no se trata de una sola red, sino de un gran número de redes interconectadas en base al uso de protocolos comunes para proporcionar servicios. El Internet es un sistema que no es administrado ni controlado por una entidad en específico [32].

2.4 Telemetría

La telemetría es la tecnología por medio de la cual se puede monitorear a distancia los procesos y dispositivos mediante la medición y control de variables físicas. Con la telemetría también es posible enviar alertas a una plataforma que permita visualizar la información por medio de la conexión a Internet. Esta tecnología es utilizada en los campos de la agricultura, industria, medicina y de a poco se extiende a un mayor número de aplicaciones gracias al surgimiento del Internet de las cosas [43].

2.5 Internet de las Cosas

El IoT como comúnmente se denomina al Internet de las Cosas, recibe su nombre por la evolución tecnológica que ha permitido a dispositivos conectarse a Internet. Dispositivos tales como sensores, actuadores, ordenadores, electrodomésticos, vehículos, smartphones y cualquier dispositivo que sea capaz de ser monitoreado y controlado puede formar parte de una red IoT [44]. Conectar los dispositivos entre sí y a Internet brindará buenos resultados comerciales ya que el crecimiento de negocios basados en brindar soluciones IoT irá en aumento, así como la cantidad de empresas que emplearán estos sistemas [45].

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO METODOLÓGICO

En base a los objetivos que fueron planteados previamente, en este capítulo se presentará a detalle el procedimiento que se llevó a cabo con el fin de elaborar el diseño del sistema de comunicación para el acceso remoto y monitoreo de la maquinaria industrial.

Se expondrá el escenario frente al cual se trabajó en el presente proyecto, las herramientas tanto de hardware como de software que se emplearon para establecer la comunicación, diagrama de topología, configuraciones y diagrama de flujo del proceso para llevar a cabo las pruebas de conexión del sistema de comunicación.

3.1 Descripción del Escenario

Las pruebas del presente proyecto se llevaron a cabo en la empresa INDUTORRES que se encuentra ubicada en el cantón Durán. Se empleó uno de sus compresores de aire asignado a las labores de extracción de oxígeno, el cual no cuenta con ningún dispositivo que le permita conectarse a Internet para ser monitoreado de forma remota tal como se muestra en la figura 3.1. El equipo en todo momento se mantuvo encendido ya que las pruebas no requerían interrumpir su operación.



Figura 3.1 Compresor de aire en estado de operación

3.2 Dispositivos que conforman el sistema de comunicación

Uno de los dispositivos por los cuales se encuentra conformado el sistema es la Raspberry pi 3 modelo B+ que se puede observar en la figura 3.2.



Figura 3.2 Raspberry Pi 3 modelo B+ [49]

La Raspberry Pi es una placa electrónica con las capacidades de un ordenador la cual surgió con la finalidad de estimular el interés en las ciencias computacionales dentro de las escuelas y colegios. La Raspberry Pi posibilita la elaboración de proyectos basados en hardware, así como también el aprendizaje de lenguajes de programación [46].

Existen varias versiones de la placa Raspberry Pi entre las cuales se encuentran las siguientes:

- **Raspberry Pi 2 Modelo B**

Este modelo cuenta con un procesador Quad Core, ARM Cortex-A7 CPU a 900 MHz y 1 GB de memoria RAM. También cuenta con un puerto 100 Base Ethernet, cuatro puertos USB, cuarenta pines GPIO, puerto HDMI y un slot para tarjetas Micro SD [47].

- **Raspberry Pi 3 Modelo B**

Este modelo cuenta con un procesador Quad Core, Broadcom BCM2837 64 bits CPU a 1.2 GHz y 1 GB de memoria RAM. Posee características similares al modelo anterior, pero con la incorporación de conexión Bluetooth Low Energy (BLE) y Wireless LAN bajo los estándares IEEE 802.11 b/g/n [48].

- **Raspberry Pi 3 Modelo B+**

Este modelo cuenta con un procesador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 de 64 bits SoC que funciona a una frecuencia de 1.4 GHz y cuenta con 1 GB de SDRAM. Este modelo cuenta con conexión Wireless LAN en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz aplicando los estándares IEEE 802.11.b/g/n/ac y su vez, cuenta con Bluetooth 4.2 BLE. Cuenta con Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 con un throughput máximo de 300 Mbps y también soporta PoE, Power over Ethernet, pero se requiere de un adaptador PoE Hat [49].

- **Raspberry Pi 4 Modelo B**

Este modelo cuenta con un procesador Broadcom 2711, Quad Core Cortex A72 64bit SoC a 1.5 GHz y memorias SDRAM de 1/2/4 GB. Incorpora dos puertos Micro-HDMI para pantallas 4K, dos puertos USB 3.0 y dos puertos USB 2.0, Puerto Gigabit Ethernet y al igual que el modelo anterior también soporta PoE. Cuenta con banda dual para conexión Wireless LAN en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz basado en los estándares IEEE 802.11 b/g/n/ac y conexión Bluetooth 5.0 [50].

Los últimos tres modelos mencionados pueden ser aplicados en el presente proyecto ya que cuentan con conexión tanto Ethernet como WLAN, pero dado el corto tiempo que la Raspberry Pi 4 lleva en el mercado, desde junio del presente año [50], y tomando en cuenta que la Raspberry Pi 3 modelo B+ funciona con una temperatura de operación de hasta 50°C [51], se decidió hacer uso de esta para la elaboración del proyecto. Como protección adicional contra el aumento de la temperatura, se incorporó una carcasa para la Raspberry con un ventilador como se puede evidenciar en la figura 3.3.



Figura 3.3 Raspberry Pi en carcasa con ventilación

El otro dispositivo que conforma el sistema de comunicación es el Controlador SIGMA CONTROL 2 que se puede observar en la figura 3.4.



Figura 3.4 Panel frontal del Sigma Control 2 [52]

Es un controlador integrado en los compresores de aire de la marca KAESER el cual se encarga de coordinar la generación y consumo del aire comprimido, para evitar el uso excesivo de energía. Es capaz de memorizar los 200 últimos eventos para de esta manera encontrar las fallas con mayor rapidez, cuenta con un menú con la suficiente claridad para ser operado de forma sencilla [52]. Adicionalmente cuenta con su propio servidor de red que otorga la capacidad de monitorear el estado del compresor mediante la conexión a Internet haciendo uso del navegador web. Otra de sus principales características es que cuenta con un puerto de red Ethernet con

una tasa de transmisión de datos de 10/100 Mbps que permite al usuario acceder a la revisión de los parámetros desde una PC [53].

3.3 Software empleado en el sistema de comunicación

La Raspberry Pi al ser una tarjeta con capacidades de un ordenador, necesita de un sistema operativo para la base de su funcionamiento. El Sistema Operativo puede ser un programa o software que se instala en un computador cuya función es la de facilitar la interacción entre el usuario, los programas que se encuentran en el computador y el hardware. Se encarga de administrar los recursos con los que cuenta el computador para ejecutar de la mejor manera los programas, coordinar las acciones del hardware para una buena interacción entre el usuario y el ordenador y organizar archivos del sistema [54]. Entre los sistemas operativos más comúnmente usados se encuentran:

- **Raspbian**

Es un sistema operativo de software libre que basa su arquitectura en una distribución de Linux llamada Debian, pero orientado para la Raspberry Pi. Con el paso del tiempo este sistema operativo se ha convertido en el más usado en esta tarjeta dando paso al desarrollo de programas de Office tales como hojas de cálculos y procesadores de texto [55]. En la figura 3.5 se puede apreciar el entorno del escritorio que ofrece este sistema operativo.

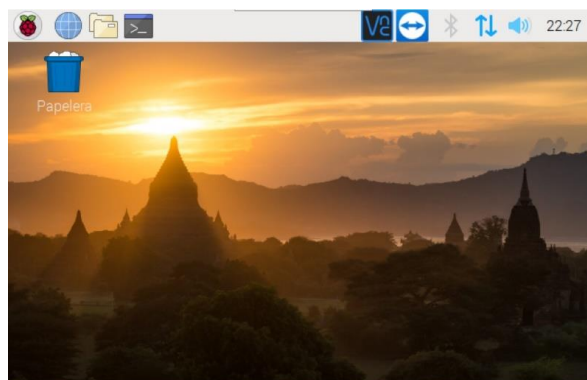


Figura 3.5 Escritorio con sistema operativo Raspbian

- **Ubuntu**

Es un sistema operativo muy popular basado en Linux con uso aplicativo tanto en ordenadores como en servidores [55], está en la capacidad de brindar a la Raspberry Pi un ambiente de escritorio cómodo que puede ser empleado para el desarrollo de prototipos basados en IoT [56]. En la figura 3.6 se puede observar el escritorio de este sistema operativo.

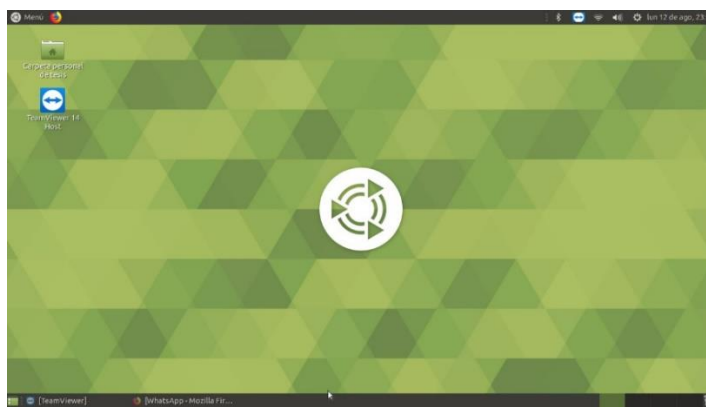


Figura 3.6 Escritorio con sistema operativo Ubuntu

Para establecer una sesión entre la Raspberry Pi y una PC se empleará TeamViewer, que es un programa el cual brinda una solución de acceso remoto de manera rápida y segura para el control y monitoreo de ordenadores y redes [57]. TeamViewer cuenta con una versión denominada TeamViewer Host la cual puede ser instalada en una Raspberry Pi y permite el acceso remoto a la tarjeta, facilitando de esta manera su control y administración a distancia lo cual es de mucha utilidad para futuras aplicaciones basadas en IoT [58].

TeamViewer cuenta con servidores a través de los cuales se realiza la conexión luego de establecer una sesión mediante UDP o TCP, para lo cual no es necesario abrir ningún puerto en el router [59]. En la figura 3.7 se puede observar los puertos que hace uso TeamViewer dependiendo del sistema operativo sobre el cual se ejecute el programa.

	TCP/UDP Port 5938	TCP Port 443	TCP Port 80
Windows	x	x	x
macOS	x	x	x
Linux	x	x	x
ChromeOS	x	x	x
iOS	x		x
Android	x		
Windows Mobile	x		
BlackBerry	x		

Figura 3.7 Puertos usados por diferentes Sistemas Operativos [59]

TeamViewer protege el tráfico de su red con el intercambio de claves públicas y privadas RSA y debido a que la clave privada se mantiene en el equipo cliente, esto garantiza que ningún equipo de la red incluidos los servidores, puedan descifrar la información que se transmite por la red [59].

3.4 Diagrama de Topología del sistema de comunicación

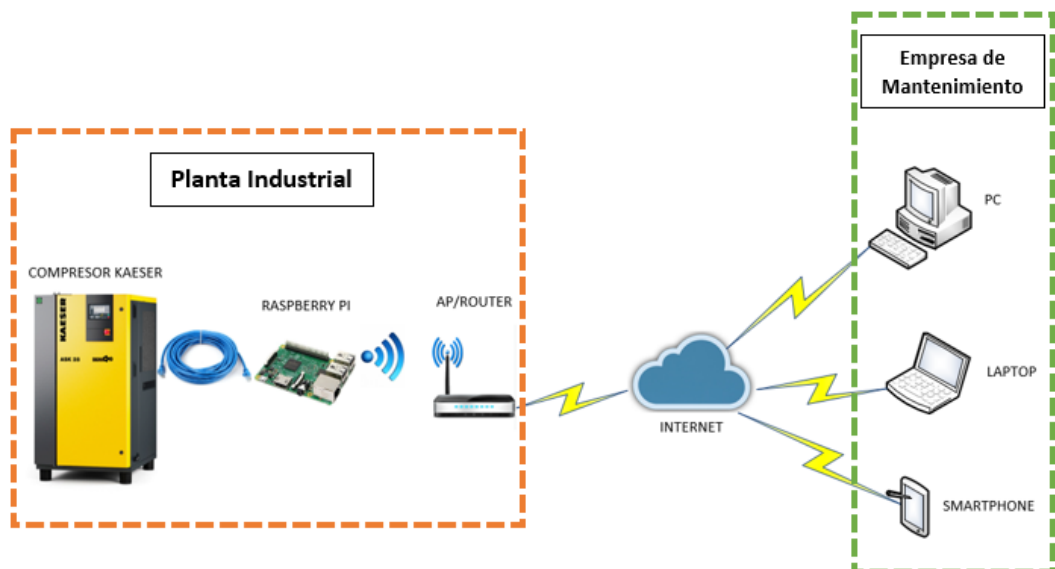


Figura 3.8 Topología del sistema de comunicación

Como se mencionó anteriormente, dos de los dispositivos indispensables para el diseño del sistema son el controlador SIGMA CONTROL 2 ubicado

en el compresor KAESER y la Raspberry Pi 3 modelo B+. Como se puede apreciar en la figura 3.8, estos dispositivos se conectan entre sí mediante un cable UTP; la categoría del cable UTP puede ser 5e o 6 dado que, son los que permiten una tasa de transmisión de datos dentro del rango en el que trabajan los puertos Ethernet tanto del compresor como de la Raspberry Pi. A su vez, la Raspberry Pi se conecta de forma inalámbrica con el AP/Router de la planta industrial para poder tener salida a Internet. De esta manera, el personal técnico de la empresa de mantenimiento podrá acceder de forma remota al monitoreo del compresor de aire mediante su PC, Laptop o Smartphone haciendo uso de la aplicación TeamViewer, ingresando el usuario y contraseña distintivo de la Raspberry Pi conectada al equipo que se desea tener acceso.

3.5 Configuraciones de los equipos

3.5.1 Configuración de la Raspberry Pi para conexión a Internet

Las pruebas se llevaron a cabo empleando dos sistemas operativos diferentes, Ubuntu y Raspbian, con la finalidad de identificar cuál de ellos resulta de mayor utilidad y presenta menos complicaciones. El primer paso que se realizó fue activar la interfaz inalámbrica de la Raspberry Pi. Una vez activada la Interfaz, se escanearon las redes Wi-Fi existentes en el área de trabajo y se seleccionó aquella que pertenecía a la empresa tal como se muestra en las figuras 3.9 y 3.10.

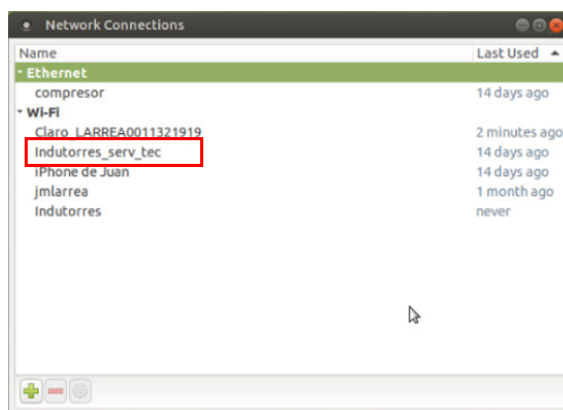


Figura 3.9 Redes Wi-Fi escaneadas en Ubuntu



Figura 3.10 Redes Wi-Fi escaneadas en Raspbian

Una vez seleccionada la red de interés, se digitó la contraseña para tener acceso a la red Inalámbrica como se observa en las figuras 3.11 y 3.12.



Figura 3.11 Configuración de la contraseña en Ubuntu



Figura 3.12 Configuración de la contraseña en Raspbian

Luego se procedió a establecer la opción de DHCP para configurar de forma automática los parámetros de direccionamiento IPv4 y que sea el AP/Router, el que se encargue de brindar la información necesaria para completar esos campos. Esto se puede evidenciar en las figuras 3.13 y 3.14.

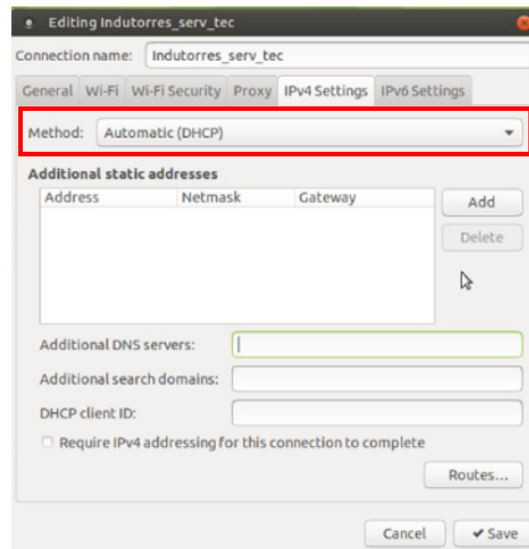


Figura 3.13 Configuración de DHCP en la interfaz inalámbrica en Ubuntu

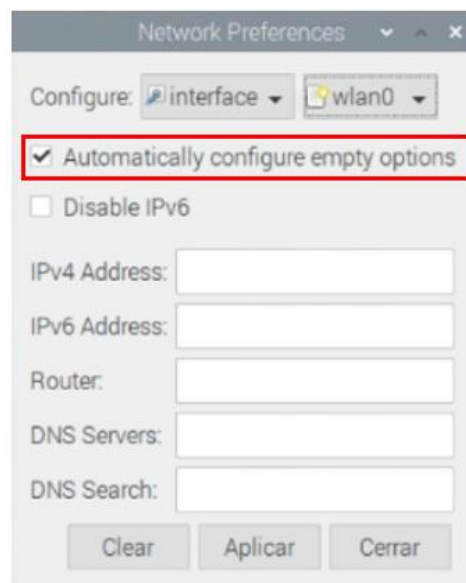


Figura 3.14 Configuración de DHCP en la interfaz inalámbrica en Raspbian

3.5.2 Configuración del Proxy en TeamViewer

La configuración del Proxy es un paso muy importante ya que, para establecer la sesión de TeamViewer, es necesario contar con los permisos que brinda el Proxy para poder conectarse a Internet. Por lo tanto, dentro de las configuraciones de red de la aplicación se configurará la dirección IP del proxy la cual era 192.168.1.2 a través del puerto 8080 como se puede observar en la figura 3.15.

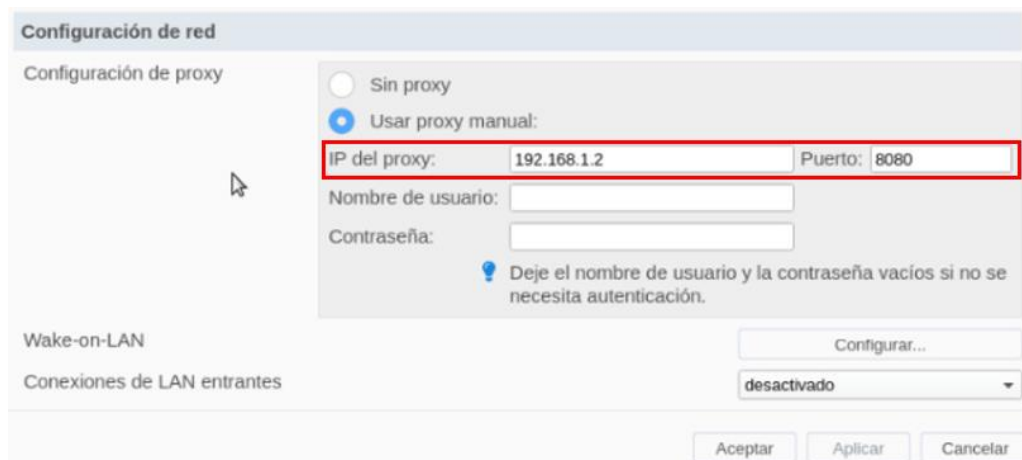


Figura 3.15 Configuración del proxy en Ubuntu y Raspbian

3.5.3 Configuración de los parámetros de red del controlador

Para configurar los parámetros de direccionamiento IPv4 en el controlador se necesitó de la colaboración de un Ingeniero de la empresa debido a que el acceso a este tipo de configuración era de un nivel superior. Se establecieron las direcciones que se muestran en la figura 3.16 para los diferentes parámetros de red.

88psi	08:15AM	176° F
8.1.1 IP configuration		
IP address	169.254.100.101	
Subnet mask	255.255.000.000	
Gateway	169.254.100.97	
DNS Server 1	169,254,100.97	
DNS Server 2	169,254,100.97	
Restart network	<input type="checkbox"/>	

Figura 3.16 Parámetros de direccionamiento IPv4 [60]

Luego se corroboró que la configuración se haya hecho de la forma correcta. Se procedió a conectar una laptop al controlador mediante un cable UTP y establecer las configuraciones de direccionamiento de IPv4 en DHCP como se muestra en la figura 3.17.

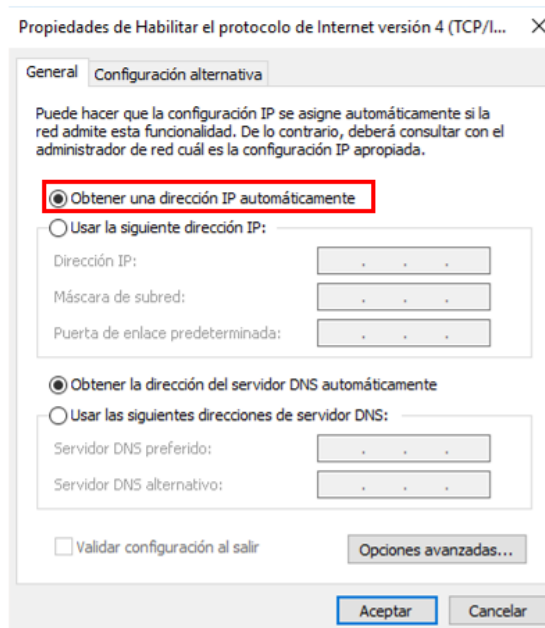


Figura 3.17 Configuración de DHCP en una Laptop con Windows 10

Para confirmar que la laptop se encontraba en red con el controlador se hizo uso del comando ipconfig en la interfaz de símbolos del sistema de Windows o también conocido como CMD. Este proceso se puede evidenciar en la figura 3.18.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Users\juant>ipconfig

Configuración IP de Windows

Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . : espol.edu.ec

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 1:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 3:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . :

Adaptador de Ethernet Ethernet:

    Sufijo DNS específico para la conexión. . : domain.name
    Vínculo: dirección IPv6 local. . . . : fe80::8500:2bc5:c4c:5923%3
    Dirección IPv4 de configuración automática: 169.254.89.35
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.0.0
    Puerta de enlace predeterminada . . . . :

C:\Users\juant>

```

Figura 3.18 Uso del comando ipconfig

El siguiente paso fue abrir el navegador web, en este caso se usó Google Chrome, y se digitó la dirección IP asignada al controlador. Como se

puede observar en la figura 3.19, se cargó la Interfaz web para acceder a monitorear los parámetros del compresor de aire.

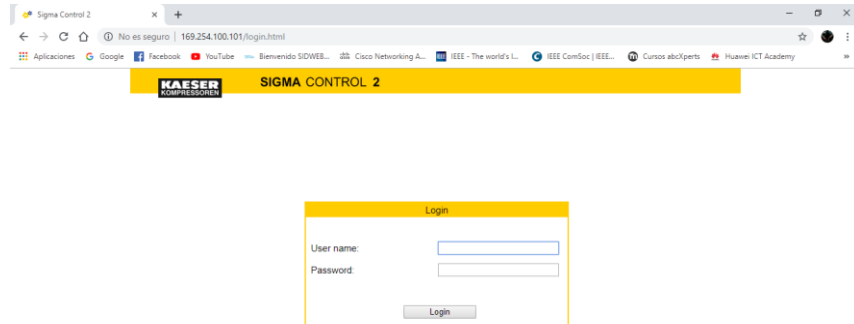


Figura 3.19 Interfaz web del controlador

3.5.4 Configuración de la Interfaz Ethernet de la Raspberry pi

De igual manera como se llevó a cabo con la Interfaz inalámbrica, una vez que la Raspberry Pi se encuentre conectada al controlador mediante el cable UTP como se muestra en la figura 3.20, se estableció la opción de DHCP como se aprecia en las figuras 3.21 y 3.22



Figura 3.20 Conexión con el puerto Ethernet del controlador

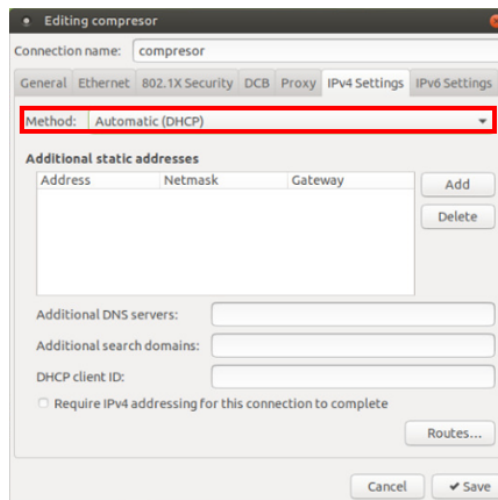


Figura 3.21 Configuración de DHCP en la interfaz Ethernet en Ubuntu

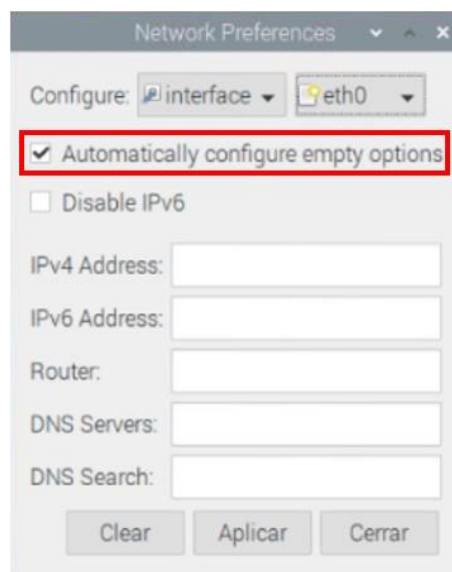


Figura 3.22 Configuración de DHCP en la interfaz Ethernet en Raspbian

3.6 Procedimiento para efectuar las pruebas de conexión

Como se mencionó anteriormente, se llevaron a cabo varias pruebas para establecer la conexión haciendo uso de dos sistemas operativos en la Raspberry Pi. Una vez que se llevaron a cabo las configuraciones en ambos equipos, se procedió a realizar las pruebas correspondientes. Haciendo uso de una PC/Smartphone conectado a una red Wi-Fi diferente a la de la empresa usada en la Raspberry Pi, se accedió a la aplicación TeamViewer

para iniciar sesión. Como se puede apreciar en las figuras 3.23 y 3.24, para cada sistema operativo dentro de la Raspberry Pi, en TeamViewer se generó un ID distinto.

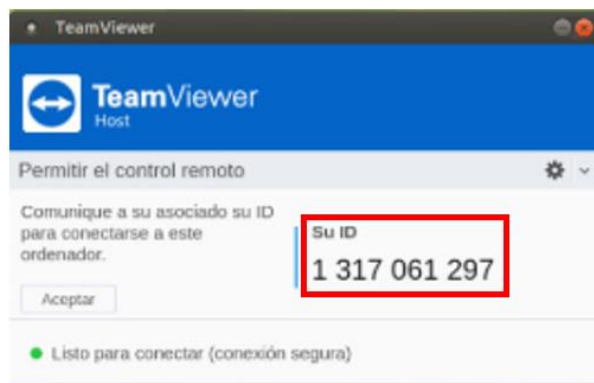


Figura 3.23 ID de la Raspberry Pi con sistema operativo Ubuntu

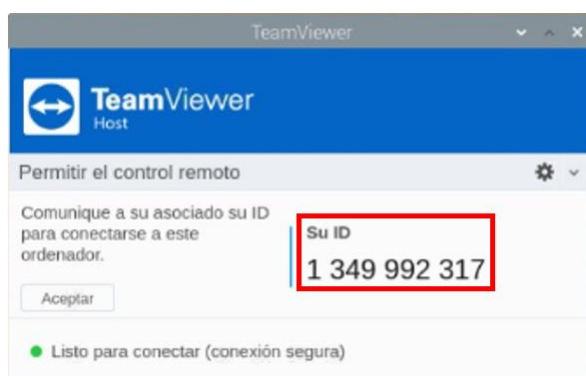


Figura 3.24 ID de la Raspberry Pi con sistema operativo Raspbian

El ID generado por TeamViewer debía ser ingresado dentro de la aplicación de la PC/Smartphone tal como se puede apreciar en las figuras 3.25-28 para poder iniciar sesión y continuar con los pasos que se detallan en la figura 3.29. con el fin de efectuar las pruebas de comunicación entre PC/Smartphone y Raspberry Pi, para corroborar si se podía acceder a la información brindada por el controlador.

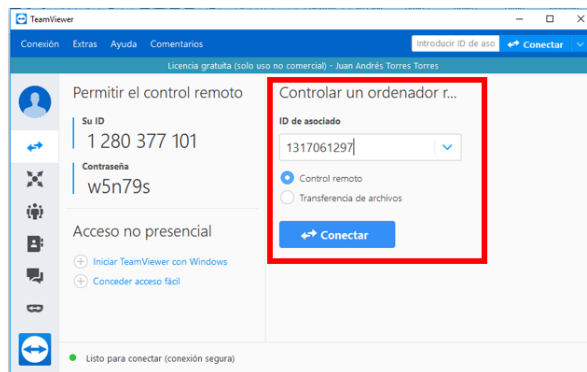


Figura 3.25 Ingreso de ID del sistema operativo Ubuntu en la PC

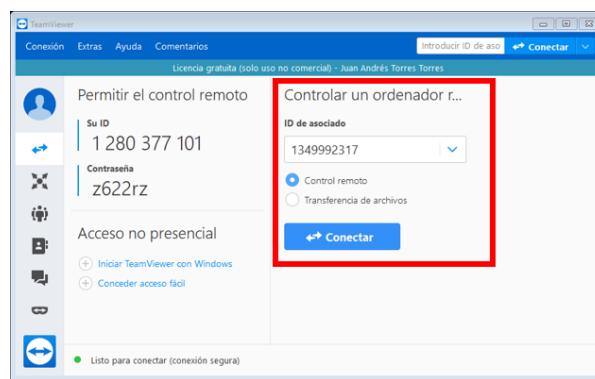


Figura 3.26 Ingreso de ID del sistema operativo Raspbian en la PC

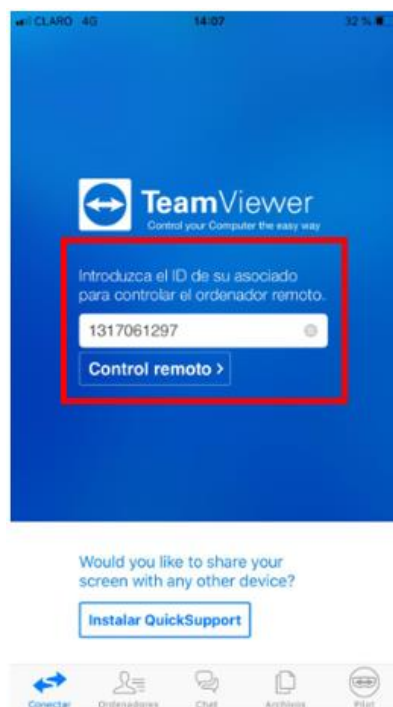


Figura 3.27 Ingreso de ID del sistema operativo Ubuntu en el smartphone

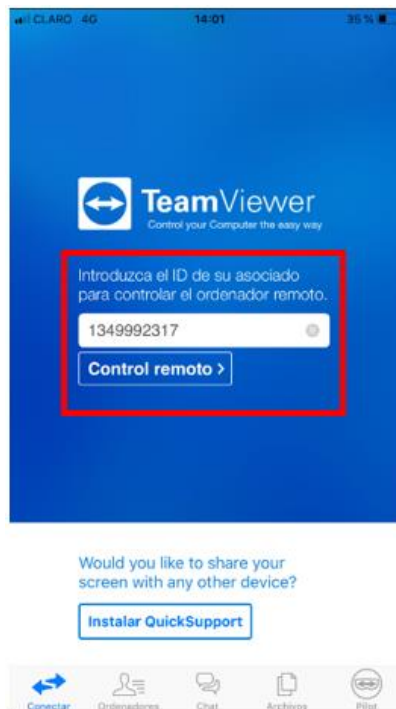


Figura 3.28 Ingreso de ID del sistema operativo Raspbian en el smartphone

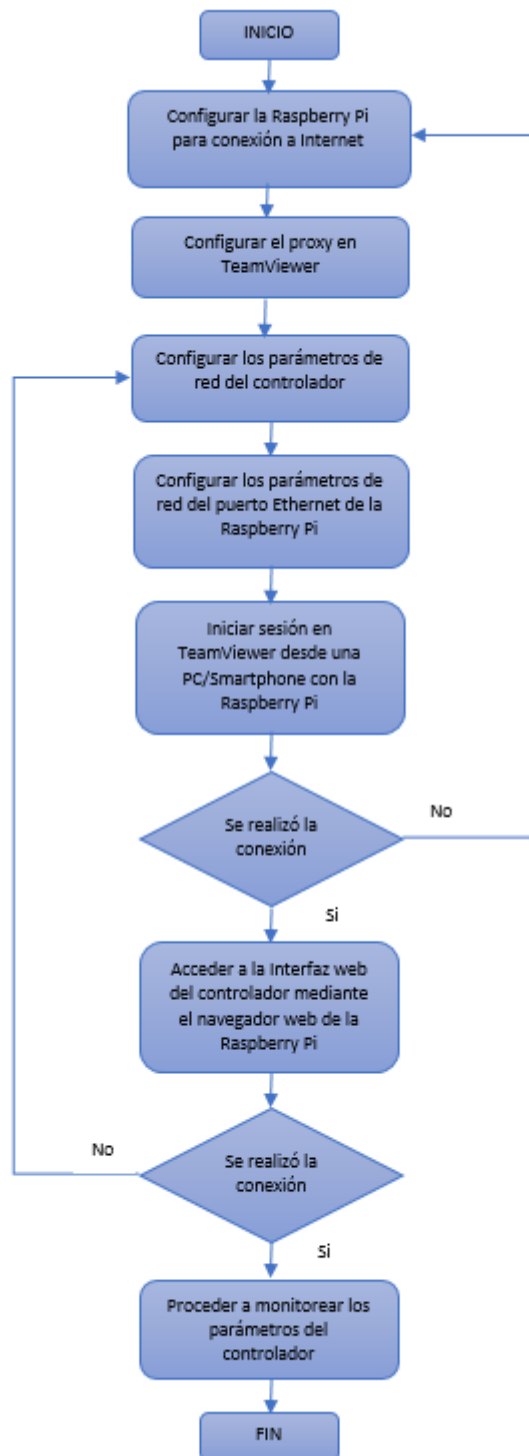


Figura 3.29 Diagrama para llevar a cabo las pruebas de comunicación

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Una vez realizados los pasos para ejecutar las pruebas de conexión detalladas en el capítulo anterior, los resultados permitieron definir los factores determinantes para lograr establecer una conexión remota estable con el controlador del compresor de aire.

Dado que las pruebas fueron realizadas usando dos sistemas operativos diferentes, se procederá a efectuar el análisis de cada caso de estudio para establecer cuál de los dos fue el que presentó un mejor desempeño y facilitó la comunicación.

4.1 Conexión usando el sistema operativo Ubuntu

Las pruebas que se llevaron a cabo usando el sistema operativo Ubuntu fueron poco favorables para el sistema de comunicación. Al momento de tener armado el sistema completo, no fue posible establecer la conexión entre la PC/Smartphone y la Raspberry Pi aun cuando las configuraciones tanto de la interfaz inalámbrica como la del proxy estaban bien establecidas. En las figuras 4.1 y 4.2 se puede apreciar que, con ambas interfaces conectadas, TeamViewer no permitía establecer una sesión.



Figura 4.1 Interfaces Ethernet e Inalámbrica conectadas de forma simultánea

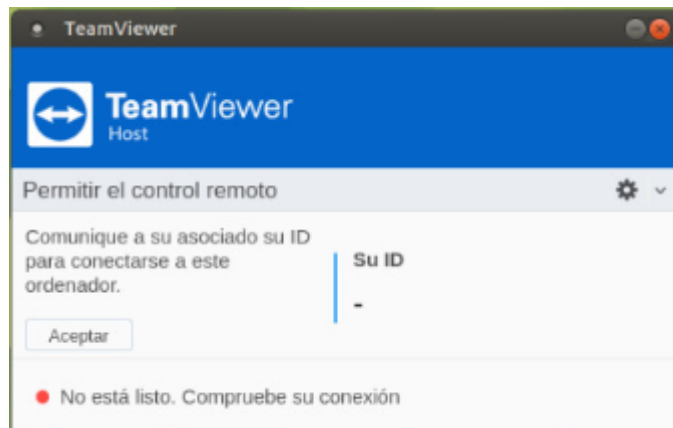


Figura 4.2 Falta de conexión de TeamViewer con ambas interfaces conectadas

Sin embargo, al hacer pruebas de conexión desde la PC/Smartphone con la Raspberry Pi teniendo desconectada la interfaz Ethernet, si fue posible establecer una sesión de TeamViewer entre ambos dispositivos tal como se puede apreciar en la figura 4.3.

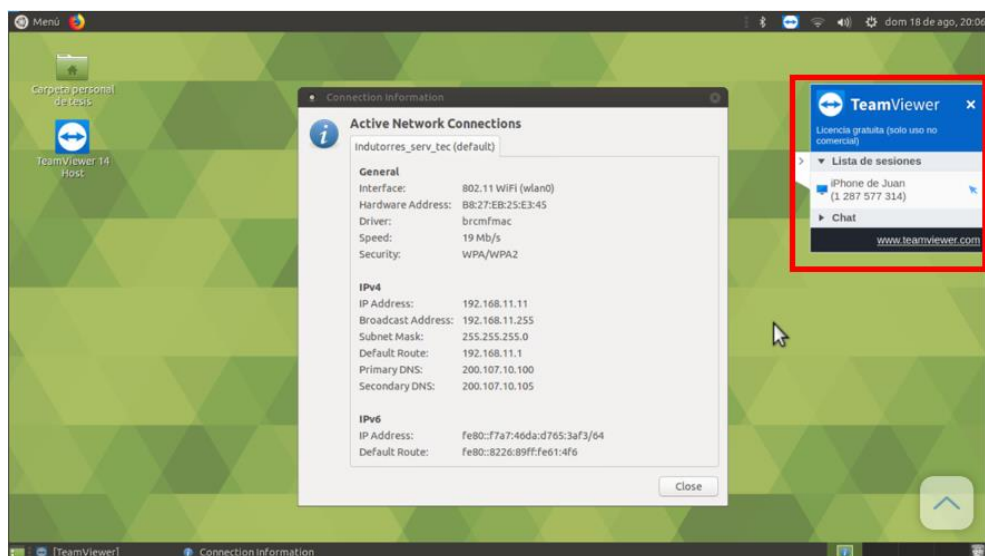


Figura 4.3 Conexión con TeamViewer usando únicamente la interfaz inalámbrica

De igual manera, al desconectar la interfaz inalámbrica y hacer uso únicamente de la interfaz Ethernet, se logró conectar la Raspberry Pi con el controlador mediante el uso del navegador web como se puede observar en la figura 4.4.

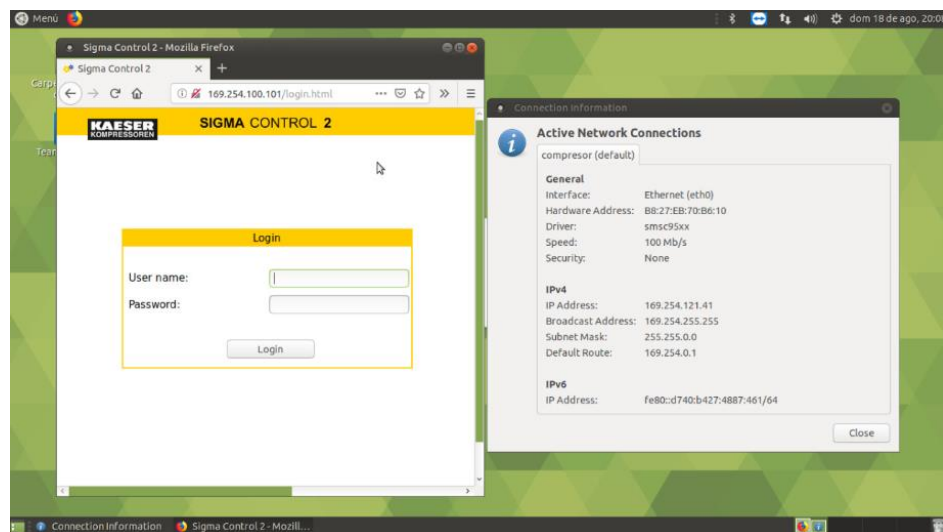


Figura 4.4 Conexión con el controlador usando únicamente la interfaz Ethernet

4.2 Conexión usando el sistema operativo Raspbian

A diferencia del caso anterior, con el sistema operativo Raspbian las pruebas fueron bastante favorables para el sistema de comunicación. Cuando ambas interfaces de la Raspberry Pi se encontraban configuradas y conectadas, fue posible iniciar la sesión de TeamViewer con la PC/Smartphone ya que, en ese caso si se permitió el ingreso de la contraseña como se puede apreciar en las figuras 4.5 y 4.6.

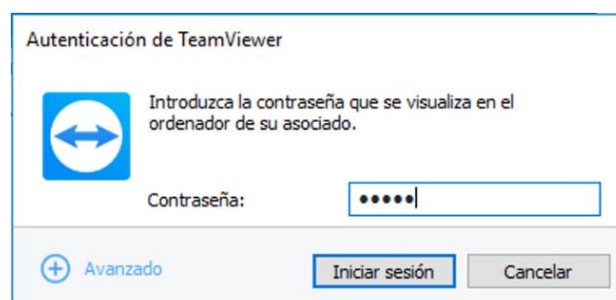


Figura 4.5 Ingreso de la contraseña desde la aplicación en una PC



Figura 4.6 Ingreso de la contraseña desde la aplicación en un smartphone

Una vez iniciada la sesión de TeamViewer tal como se observa en las figuras 4.7 y 4.8, se hizo uso del navegador web existente en la Raspberry Pi para ingresar la dirección IP configurada en la interfaz Ethernet del controlador tal como se puede apreciar en la figura 4.9.

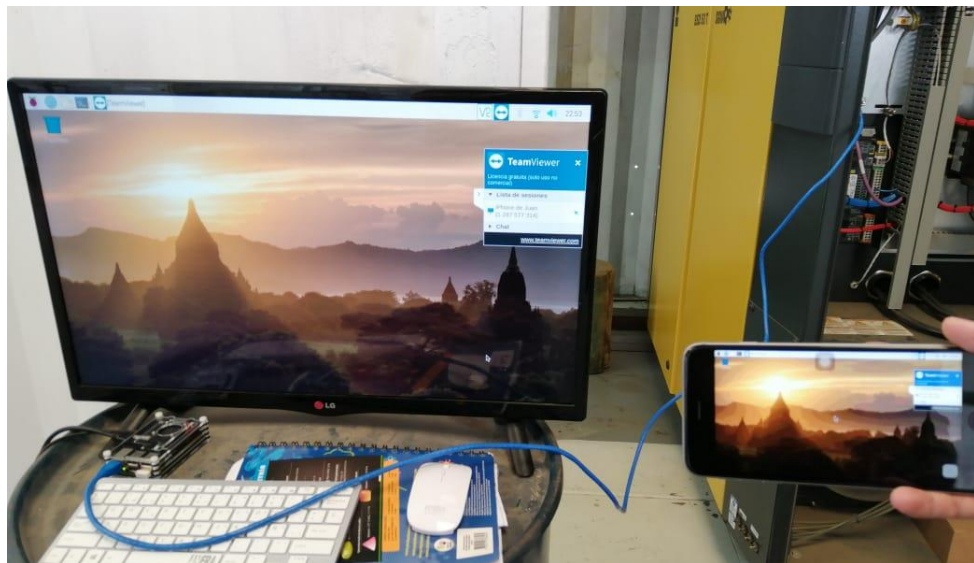


Figura 4.7 Conexión establecida entre el smartphone y la Raspberry Pi usando TeamViewer

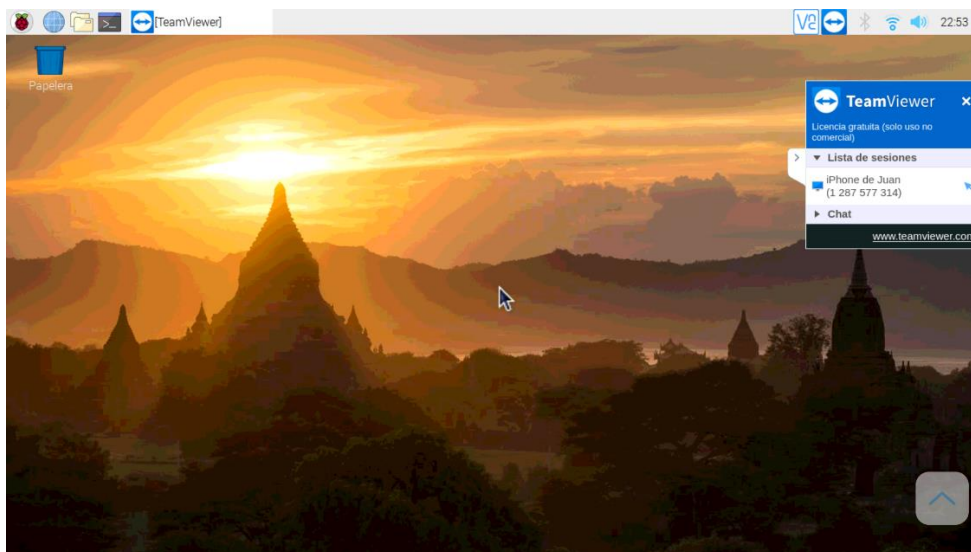


Figura 4.8 Pantalla de la Raspberry vista desde el smartphone

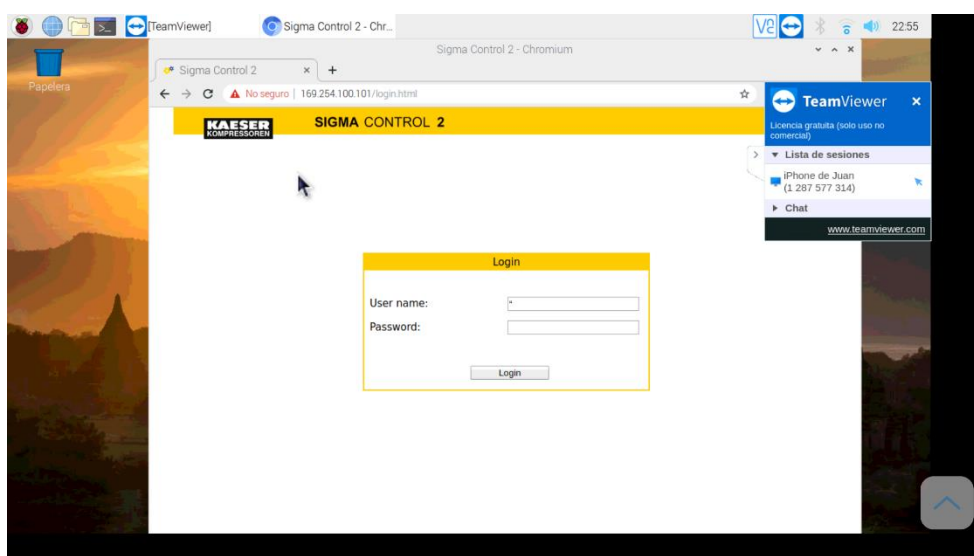


Figura 4.9 Ingreso de la dirección IP del controlador en el navegador web

Una vez en la interfaz web del controlador, para acceder a la información de los parámetros se requirió del ingreso de un usuario y contraseña propios del equipo. Luego de haber ingresado la información correspondiente, fue posible acceder al monitoreo del compresor de aire tal como se muestra en las figuras 4.10 y 4.11.

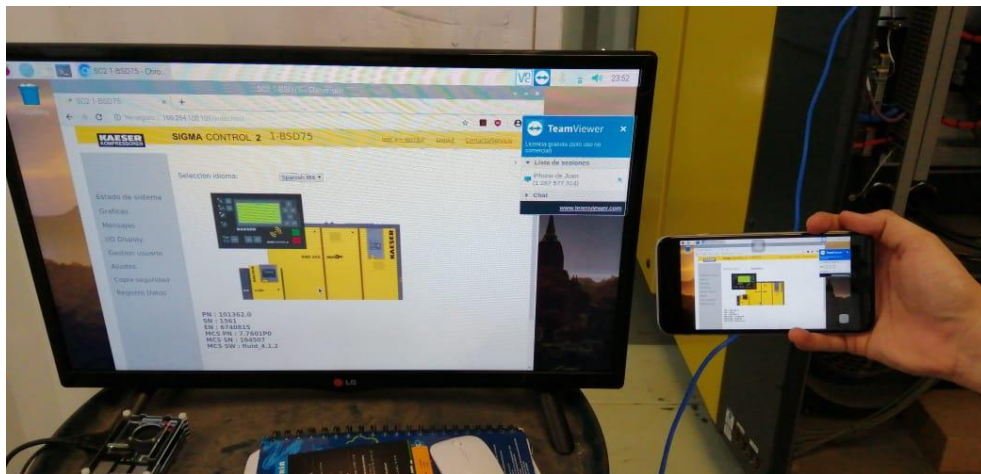


Figura 4.10 Acceso a la información del compresor de aire

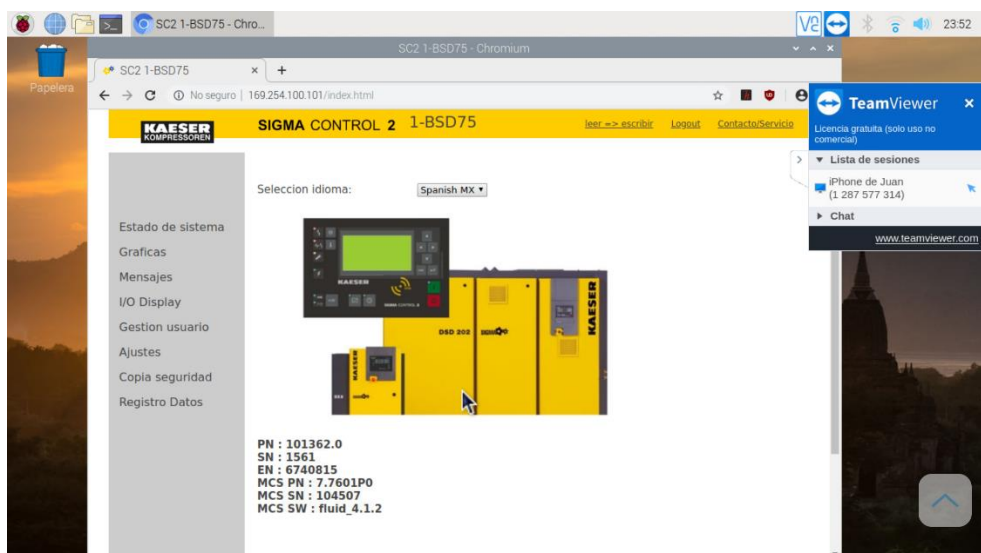


Figura 4.11 Pantalla de la interfaz web del controlador vista desde el smartphone

4.3 Factores que influyen en la comunicación

Como se logró evidenciar en las pruebas realizadas con ambos sistemas operativos, Ubuntu tuvo inconvenientes al momento de establecer prioridades entre las interfaces de la Raspberry Pi cuando ambas se mantenían encendidas de forma simultánea, ya que, aunque estaban bien configurados los parámetros de red de la interfaz Inalámbrica, esta se desconectaba cuando se usaba la interfaz Ethernet a la vez. Por el contrario,

este problema no se evidenció con el sistema operativo Raspbian ya que, se logró mantener una conexión exitosa entre la PC/Smartphone y el controlador del compresor de aire haciendo uso de ambas interfaces de forma simultánea.

Otro factor que puede afectar a la comunicación es la velocidad de la red Wi-Fi a la que se encuentra conectada la Raspberry Pi, así como la intensidad de la señal con la que llega al sitio donde se encuentra ubicado el compresor. Como se puede apreciar en la figura 4.12, la velocidad de la red Indutorres serv tec es bastante alta por lo que la conexión por ese lado se mantuvo estable.



Figura 4.12 Test de velocidad de la red Wi-Fi a la que se conectó la Raspberry Pi

De igual manera la comunicación se ve afectada por la velocidad de la red a la que se encuentra conectado la PC/Smartphone que se conecta con el compresor lo cual, repercute en la fluidez con la que se observan las acciones que se lleven a cabo de forma remota entre los dispositivos. Como se puede apreciar en la figura 4.13, la red a la cual se conectó una PC con la que se realizaron pruebas mostraba una velocidad bastante baja por lo cual, no se dio una comunicación fluida. Sin embargo, haciendo uso de la red celular con el smartphone como se puede apreciar en la figura 4.14, sí fue posible tener una comunicación eficiente.



Figura 4.13 Test de velocidad de la red Wi-Fi a la que se conectó la PC



Figura 4.14 Test de velocidad de la red celular del smartphone

4.4 Análisis del sistema de comunicación aplicado a nivel empresarial

Una empresa que brinda servicios de mantenimiento al no contar con una herramienta que le permita monitorear de forma remota los equipos de sus clientes, correrá con gastos adicionales por la movilización de su personal técnico. Según información brindada por INDUTORRES para la elaboración del presente proyecto, se pudo evidenciar el costo adicional que debe cubrir al enviar un técnico ya sea a revisiones de rutina o para elaborar un

diagnóstico y posteriormente solucionar el problema de un compresor descompuesto.

De un total de 1487 visitas que realizó la empresa a sus clientes hasta el 19 de agosto del 2019, únicamente 406 visitas requirieron de un mantenimiento, es decir, que un bajo porcentaje de las visitas significaron ganancia para la empresa tal como se puede apreciar en la figura 4.15.

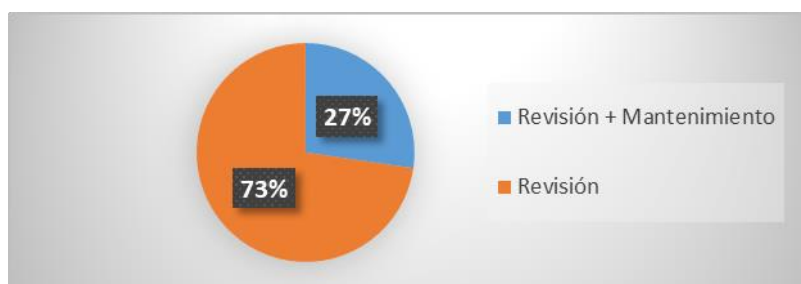


Figura 4.15 Porcentaje de Visitas de INDUTORRES

De las 406 visitas que requirieron de un mantenimiento, 71 representaron un mantenimiento correctivo lo cual representa un 17.487% como se puede evidenciar en la figura 4.16.

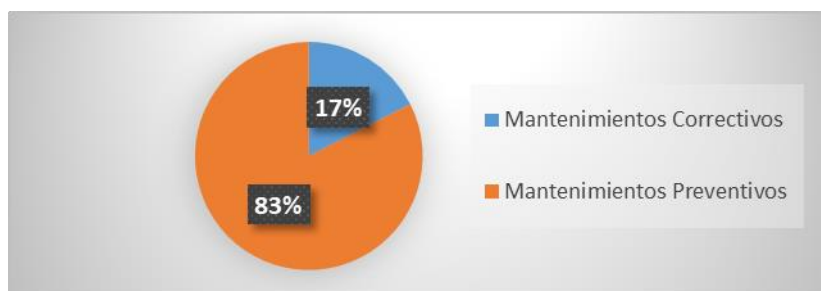


Figura 4.16 Porcentaje de mantenimientos correctivos

El medio de transporte es de suma importancia para la movilización del personal técnico. El costo que la empresa gasta por Kilómetro recorrido es de 35 centavos. En promedio cada viaje dura alrededor de tres horas, un ejemplo puede ser un viaje a la ciudad de Machala, donde se recorrerían 167 Km como se puede evidenciar en la figura 4.17.

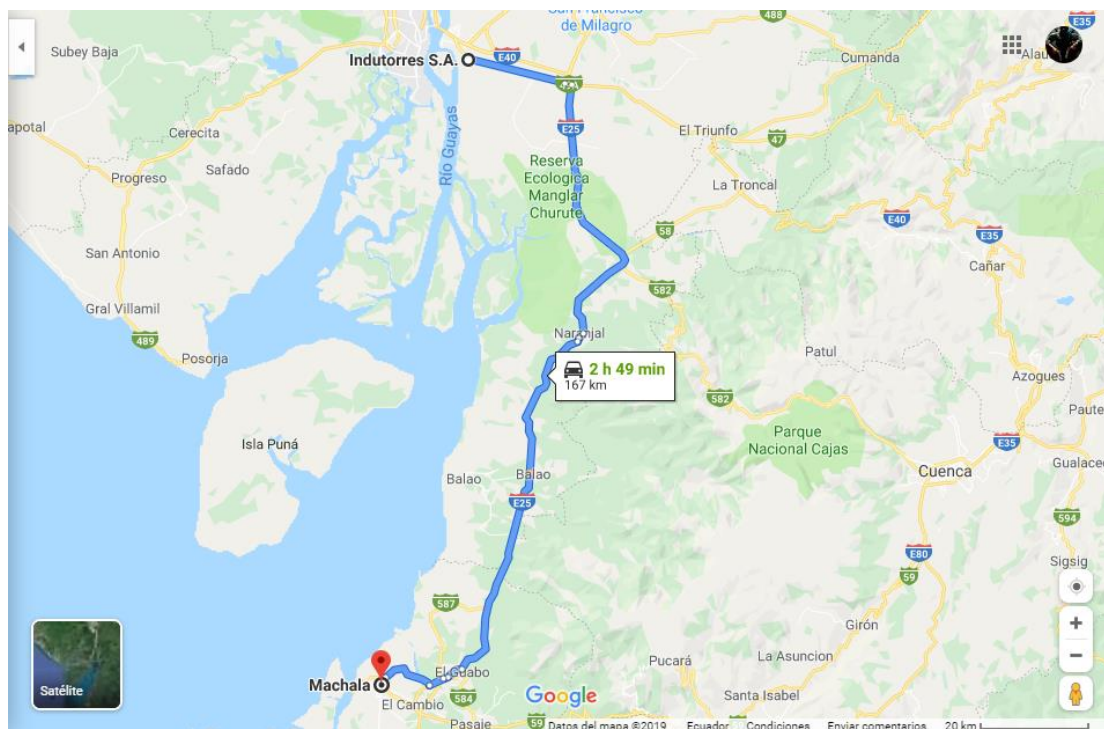


Figura 4.17 Distancia recorrida desde INDUTORRES hasta Machala

Al no contar con información previa sobre el estado del compresor, el técnico se trasladará al lugar donde se encuentra el equipo para hacer la revisión respectiva y su correspondiente diagnóstico. El costo que se produce al recorrer un tramo se puede evidenciar en la tabla 4.1.

Distancia	Costo de cada Kilómetro	Costo de un tramo
167 km	\$0.35	\$58.45

Tabla 4.1 Costo del transporte por tramo

Como se evidenció en la figura 4.15, en muchas ocasiones las visitas no necesitan de mantenimiento. Sin embargo, contribuyen con un gasto adicional para la empresa ya que el tramo debe ser recorrido en dos ocasiones. Los costos se pueden apreciar en la tabla 4.2.

Costo de un tramo	Número de Tramos	Costo total
\$58.45	2	\$116.90

Tabla 4.2 Costo total del transporte por visita sin mantenimiento

Cuando la maquinaria sí necesita de mantenimiento por causa del daño de alguna pieza, es necesario que el técnico regrese a la empresa por la pieza requerida. Finalmente, el tramo es recorrido cuatro veces lo que ocasiona el gasto que se evidencia en la tabla 4.3. Cabe recalcar que, en ciertas ocasiones las piezas deben ser importadas, lo cual extiende el tiempo que se requiere para solucionar el problema.

Costo de un tramo	Número de Tramos	Costo total
\$58.45	4	\$233.80

Tabla 4.3 Costo total del transporte por visita con mantenimiento

De igual manera, el técnico cobra a la empresa una cifra por el tiempo que le toma llegar hasta su destino. Este costo representa el 50% del valor que recibe cuando se encuentra trabajando en la reparación de una máquina que es de entre 40 y 60 USD. Tomando en cuenta los datos anteriores, el total de horas que le toman al técnico trasladarse es de seis horas para el caso en que no se requiere mantenimiento y doce horas para el caso en que si se lo necesita; esto genera el gasto que se evidencia en las tablas 4.4 y 4.5.

Costo del técnico por hora	Número de horas	Costo total
\$25	6	\$150

Tabla 4.4 Costo total del tiempo del técnico por visita sin mantenimiento

Costo del técnico por hora	Número de horas	Costo total
\$25	12	\$300

Tabla 4.5 Costo total del tiempo del técnico por visita con mantenimiento

El tiempo que le toma al técnico la revisión de los parámetros del compresor de aire es de quince a veinte minutos. Por lo cual, al tener que movilizarse hasta el lugar donde se encuentra el compresor, en un día solo alcanza a revisar de uno a dos equipos. Con esto es notable la falta de optimización del tiempo que repercute en el rendimiento de la empresa de mantenimiento.

En el caso de que la empresa contara con una forma de monitoreo remoto, se lograría reducir notablemente los gastos y disminuir el porcentaje de los mantenimientos correctivos que repercuten negativamente en la confiabilidad que la empresa tiene con el cliente.

Al monitorear de forma remota el estado de los compresores de aire, la empresa no estaría en la necesidad de movilizar a un técnico para generar un diagnóstico, evitando así el gasto adicional que esto genera. Es decir, que para aquellos casos en los que únicamente es necesaria una revisión, la empresa reduciría enormemente los gastos tanto por el costo del medio de transporte como el costo por el tiempo del técnico, tal como se puede apreciar en la figura 4.18.

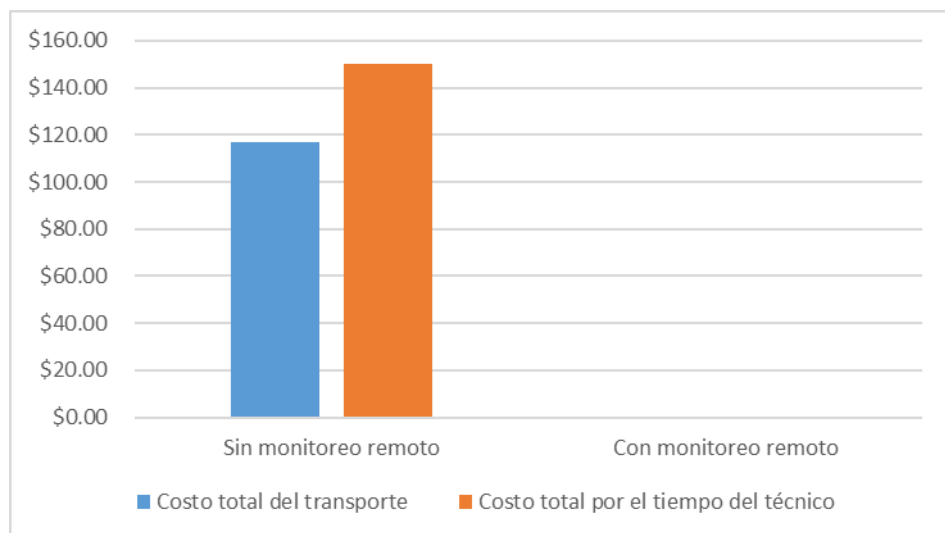


Figura 4.18 Comparación de los gastos cuando no se requiere mantenimiento

Para los casos en que se precisa de un mantenimiento, el único motivo para la movilización del técnico sería el cambio de la pieza afectada. Por tal motivo, los gastos de la empresa para el traslado se reducirían a la mitad como se evidencia en la figura 4.19.

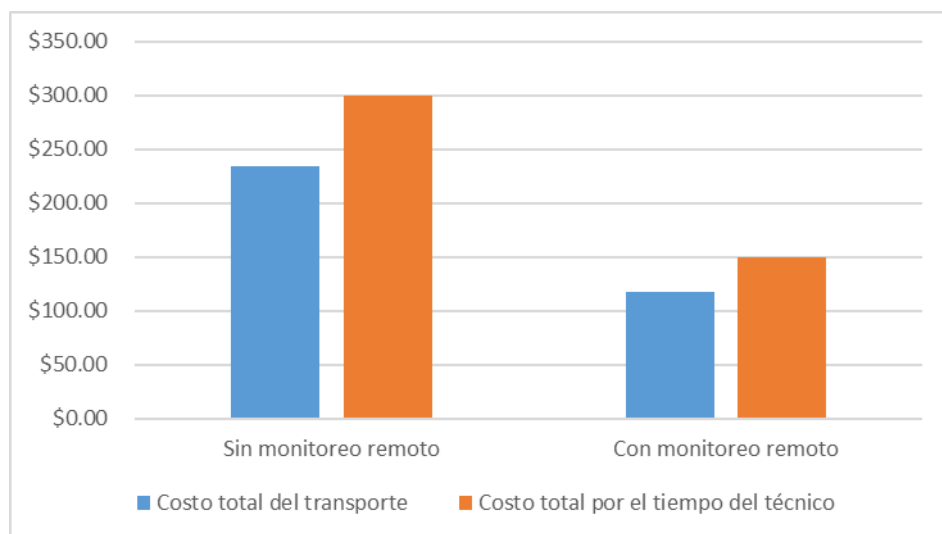


Figura 4.19 Comparación de los gastos cuando se requiere mantenimiento

Al contar con un sistema de monitoreo remoto, la cantidad de compresores que se puede revisar en un día, aumentaría significativamente. Si se toma en cuenta que al día el número de horas laborales es de ocho, y que cada dispositivo toma de entre quince a veinte minutos para ser revisado, en un día se podría llegar a revisar hasta 24 equipos tal como se evidencia en la figura 4.20.

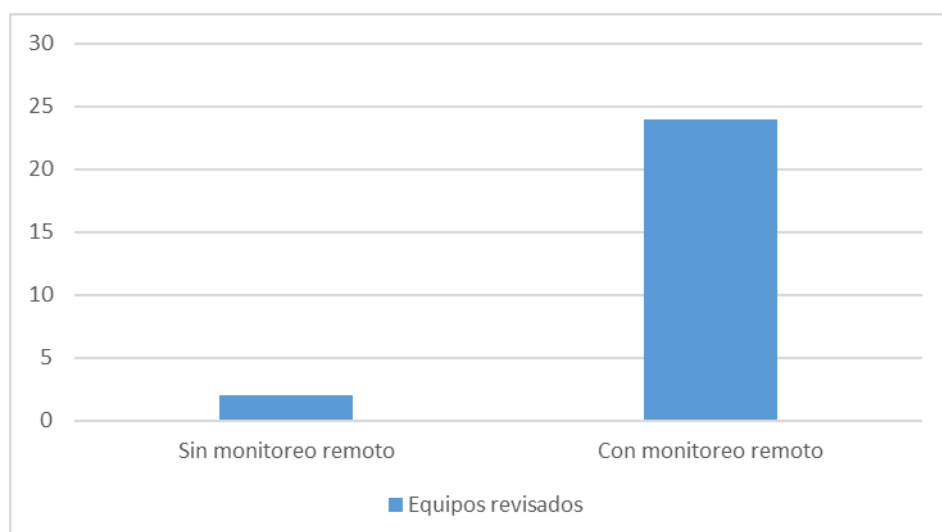


Figura 4.20 Comparación del número de compresores revisados al día

Otro de los beneficios que representaría para la empresa el contar con este tipo de sistemas, sería que el porcentaje de mantenimientos preventivos se

incrementaría. Con esto, se podrían establecer cronogramas para atender futuras eventualidades, aumentando así la confiabilidad ya que, evitarían el daño de los equipos y posibles paros de los procesos de producción que afectan de gran manera a la economía de sus clientes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del presente proyecto fue posible evidenciar la gran responsabilidad que posee una empresa de mantenimiento ya que, de la rapidez de su accionar depende el impacto que pueden llegar a tener en sus clientes el paro del proceso de producción al presentarse un desperfecto en sus equipos.

Contar con una solución basada en IoT para conocer el estado de las máquinas que se encuentran distantes geográficamente, ayudaría en gran manera a reducir los gastos generados por el proceso de trasladarse de un lugar a otro para efectuar la revisión respectiva.

Fue posible diseñar un sistema de comunicación para el acceso remoto y monitoreo de la maquinaria industrial mediante la configuración de una Raspberry Pi la cual, permitió acceder a ella mediante Internet haciendo uso de la aplicación TeamViewer. Raspbian fue el sistema operativo que permitió llevar a cabo todas las conexiones necesarias para establecer la comunicación del sistema; conexiones tanto a nivel local, es decir, Raspberry Pi y Controlador, así como también a nivel global, es decir, Raspberry Pi y PC/Smartphone, mediante la conexión a Internet. El hacer uso de TeamViewer para establecer la sesión y conexión remota permite mantener la confiabilidad en el sistema debido a su alto grado de seguridad mediante el cifrado de la información que viaja por la red. Las facilidades que otorga el controlador SIGMA CONTROL 2 para poder acceder a la información de los parámetros del compresor mediante el acceso a una interfaz web, facilitaron la elección de la Raspberry Pi como intermediario entre la maquinaria ubicada en un lugar remoto y una PC/Smartphone perteneciente al personal técnico, por su pequeño tamaño y características computacionales.

Se recomienda que, al momento de trabajar con maquinaria industrial, se empleen todas las medidas de seguridad posibles, es decir, recibir información previa sobre su uso y manejo, así como disponer de una persona que asesore todo lo que se lleve a cabo para evitar ocasionar daños dado el alto costo de este tipo de equipo.

Para lograr disponer de una buena calidad de comunicación, se sugiere que en las proximidades de la maquinaria se disponga de una red Wi-Fi cuyos niveles de señal sean los más óptimos posibles, con la finalidad de que la conexión inalámbrica no se vea afectada.

Finalmente, el presente trabajo puede ser un aporte para futuras investigaciones en el campo del IoT en aplicaciones de telemetría debido a que, brinda información que permite evidenciar la posibilidad de conectar a Internet aquella maquinaria industrial que cuente con un puerto de red Ethernet y así permitir el desarrollo del sector industrial mediante el uso de nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Monitoreo y Control para Maquinaria Industrial: National Instruments,» [En línea]. Available:
https://www.ni.com/embeddedsystems/applications/esa/industrial_machine.htm.
[Último acceso: 12 Junio 2019].
- [2] «Mantenimiento Correctivo Organización y gestión de la reparación de averías: Renovetec,» [En línea]. Available:
<http://www.renovetec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [3] «Indutorres,» [En línea]. Available: <https://www.indutorres.com/>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [4] W. Flores y E.Torres, Interviewees, *Problemas que presenta Indutorres con sus clientes*. [Entrevista]. 12 Marzo 2019.
- [5] S. Camino, N. Bermudez, D. Suarez y C. Mendoza, «Panorama de la Industria Manufacturera en el Ecuador 2013-2017,» Septiembre 2018. [En línea]. Available:
<https://investigacionyestudios.supercias.gob.ec/wp-content/uploads/2018/09/Panorama-de-la-Industria-Manufacturera-en-el-Ecuador-2013-2017.pdf>. [Último acceso: 19 Junio 2019].
- [6] «El sector industrial adopta tecnología que integra sus procesos: itahora,» 18 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.itahora.com/analisis-y-tendencias/el-sector-industrial-adopta-tecnologia-que-integra-sus-procesos/>. [Último acceso: 19 Junio 2019].
- [7] «Empresas y TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación): INEC,» [En línea]. Available: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Tecnologia_Inform_Comun_Empresas-tics/2015/2015_TICEMPRESAS_PRESENTACION.pdf. [Último acceso: 19 Junio 2019].
- [8] «Convenio permite a industria de Ecuador acceder a conocimientos digitales 4.0: El Telégrafo,» 22 Marzo 2018. [En línea]. Available:

- <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/tecnologia/1/convenio-permite-a-industria-de-ecuador-acceder-a-conocimientos-digitales-4-0>. [Último acceso: 19 Junio 2019].
- [9] «Previsiones de crecimiento de IoT: Think Big,» 31 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://empresas.blogthinkbig.com/previsiones-de-crecimiento-de-iot/>. [Último acceso: 10 Junio 2019].
- [10] «Foro mostró desarrollo tecnológico y digital de la industria ecuatoriana: El Telégrafo,» 4 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/industria40-ecuador-economia-empleo>. [Último acceso: 19 Junio 2019].
- [11] B. Alhasnawi y B. Jasim, «SCADA controlled smart home using Rasperry Pi 3: IEEE Xplore Digital Library,» 15 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8370946&tag=1>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [12] C. Choi, J. Jeong, J. Han, W. Park y I. Lee, «Implementation of IoT based PV monitoring System with message queuing telemetry transfer protocol and smart utility network: IEEE Xplore Digital Library,» 20 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8190859>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [13] R. Shete y S. Agrawal, «IoT based urban climate monitoring using Raspberry Pi: IEEE Xplore Digital Library,» 8 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7754526>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [14] A. Gutte y R. Vadali, «IoT Based Health Monitoring System Using Raspberry Pi : IEEE Xplore Digital Library,» 18 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8697681>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [15] «eWON Cosy: Ewon by hms networks,» [En línea]. Available: <https://www.ewon.biz/es/productos/cosy>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [16] «Definición de sistema de comunicación: Maquinariapro,» [En línea]. Available: <http://www.maquinariapro.com/sistemas/sistema-de-comunicacion.html> . [Último acceso: 25 Junio 2019].

- [17] S. Haykin, *Sistemas de comunicación*, México D.F.: Limusa Wiley, 2002.
- [18] «Redes de Datos: EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Redes_de_datos. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [19] «Red de área local (LAN),» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Red_de_%C3%A1rea_local_\(LAN\)](https://www.ecured.cu/Red_de_%C3%A1rea_local_(LAN)) . [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [20] «Ethernet: CISCO,» [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/es_mx/tech/lan-switching/ethernet/index.html. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [21] «¿Qué es Ethernet (IEEE 802.3)? : Digital Guide,» [En línea]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/>. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [22] «Red de área Metropolitana (MAN): EcuRed,» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Red_de_%C3%A1rea_metropolitana_\(MAN\)](https://www.ecured.cu/Red_de_%C3%A1rea_metropolitana_(MAN)). [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [23] «Red área extensa (WAN): EcuRed,» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Red_de_%C3%A1rea_extensa_\(WAN\)](https://www.ecured.cu/Red_de_%C3%A1rea_extensa_(WAN)). [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [24] «Definición de Red Wan: Definición.de,» [En línea]. Available: <https://definicion.de/red-wan/>. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [25] «Redes Inalámbricas de Área Local,» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F7-Cap%C3%ADulo3+-+Redes+inal%C3%A1mbricas+de+%C3%A1rea+local+%28WLAN%29.pdf+>. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [26] M. Herrera y J. Paredes, «"Impacto de la movilidad sobre el rendimiento de sistemas de comunicación inalámbricos": dspace,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/30307/D-84609.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [27] «El nuevo 802.11AH conoce todo sobre WI-FI HALOW,» 2 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://tecnocompras6.webnode.com.co/news/el-nuevo-802-11ah-conoce>

- todo-sobre-wi-fi-halow/. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [28] «Wi-Fi Generations: Wi-Fi Alliance,» [En línea]. Available: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [29] «Our Brands: Wi-Fi Alliance,» [En línea]. Available: <https://www.wi-fi.org/who-we-are/our-brands> . [Último acceso: 2 Julio 2019].
- [30] «calameo,» [En línea]. Available: <https://es.calameo.com/read/00003394660cab3b52500>. [Último acceso: 2 Julio 2019].
- [31] J. Yunquera, «El Estándar IEEE 820.11,» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11138/fichero/memoria%252FCap%C3%ADulo+3.pdf>+. [Último acceso: 2 Julio 2019].
- [32] A. Tanenbaum, Redes de Computadoras, Naucalpan de Juárez, México: PEARSON, 2003.
- [33] «El Modelo OSI,» [En línea]. Available: <http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/comdat1/material/ElmodeloOSI.pdf>. [Último acceso: 5 Julio 2019].
- [34] «Modelo OSI: Profesional review,» [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2018/11/22/modelo-osi/>. [Último acceso: 5 Julio 2019].
- [35] «El Modelo OSI y los protocolos de red,» [En línea]. Available: https://blyx.com/public/docs/pila_OSI.pdf. [Último acceso: 5 Julio 2019].
- [36] «Generalidades del protocolo HTTP: MDN web docs,» [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/Overview>. [Último acceso: 5 Julio 2019].
- [37] «Protocolo de configuración dinámica de host (DHCP): Microsoft,» 20 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://docs.microsoft.com/es-es/windows-server/networking/technologies/dhcp/dhcp-top>. [Último acceso: 5 Julio 2019].
- [38] «Understanding the Domain Name System: CISCO,» 26 Octubre 2005. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/domain-name-system-dns/12683-dns-descript.html>. [Último acceso: 5 Julio 2019].

- [39] «Protocolo ICMP: ORACLE,» [En línea]. Available: <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2981/ipov-18/index.html>. [Último acceso: 5 Junio 2019].
- [40] «Componentes de una red: e-ducative,» [En línea]. Available: http://e-ducative.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1062/html/11_compone ntes_de_una_red.html. [Último acceso: 6 Julio 2019].
- [41] L. Mendez, «Tres Componentes críticos para crear tu primera red empresarial: CISCO,» 5 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://gblogs.cisco.com/la/3-componentes-criticos-para-crear-tu-primera-red-empresarial/>. [Último acceso: 6 Julio 2019].
- [42] «¿Categoría 5, 5e, 6, 6a o 7? Este es el cable de red que deberías estar utilizando: test de velocidad,» 4 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.testdevelocidad.es/2017/10/04/categoria-cable-red/>. [Último acceso: 10 Julio 2019].
- [43] «Telemetría - ¿Qué es? - Aplicaciones - Casos de uso: Telemetrix Telemetría Industrial,» [En línea]. Available: <https://telemetrik.co/telemetria-que-es-aplicaciones-casos-de-uso/>. [Último acceso: 10 Julio 2019].
- [44] «IoT and Cloud Convergence Opportunities and Challenges: IEEEExplore Digital Library,» [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6803194>. [Último acceso: 12 Julio 2019].
- [45] «Conectar todo brinda resultados comerciales positivos: CISCO,» [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/es_ec/solutions/internet-of-things/overview.html. [Último acceso: 12 Julio 2019].
- [46] A. Álvarez, «Sistema de sensorización haciendo uso de Raspberry Pi para su uso e implantación en un entorno inteligente: dehesa,» Septiembre 2014. [En línea]. Available: http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/3528/TFGUEx_2014_Alvarez_Rodrig o.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [47] «Raspberry Pi 3 Model B: raspberrypi.org,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Último acceso: 15

Julio 2019].

- [48] «Raspberry Pi 2 Model B: raspberrypi.org,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [49] «Raspberry Pi 3 Model B+: raspberrypi.org,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [50] «Raspberry Pi 4: raspberrypi.org,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [51] «Raspberry Pi 3 Model B+,» [En línea]. Available: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [52] «Controlador para compresor SIGMA CONTROL 2: KAESER COMPRESORES,» [En línea]. Available: <https://co.kaeser.com/productos-y-soluciones/controladores/controladores-de-equipos/>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [53] «Service Manual Controller SIGMA CONTROL 2,» [En línea]. Available: <https://www.kaeser.com/int-en/download.ashx?id=tcm:17-34315>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [54] «¿Qué es un sistema operativo?: masadelante.com,» [En línea]. Available: <https://www.masadelante.com/faqs/sistema-operativo>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [55] «10 sistemas operativos para Raspberry Pi: Digital Guide,» [En línea]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/sistemas-operativos-para-raspberry-pi/>. [Último acceso: 16 Julio 2019].
- [56] «Ubuntu MATE for the Raspberry Pi Model B 2, 3 and 3+: ubuntu-mate.org,» [En línea]. Available: <https://ubuntu-mate.org/raspberry-pi/>. [Último acceso: 18 Julio 2019].
- [57] «¿Cómo usar Teamviewer?: Teamviewer,» [En línea]. Available: <https://www.teamviewer.com/es/documentos/> . [Último acceso: 24 Julio 2019].

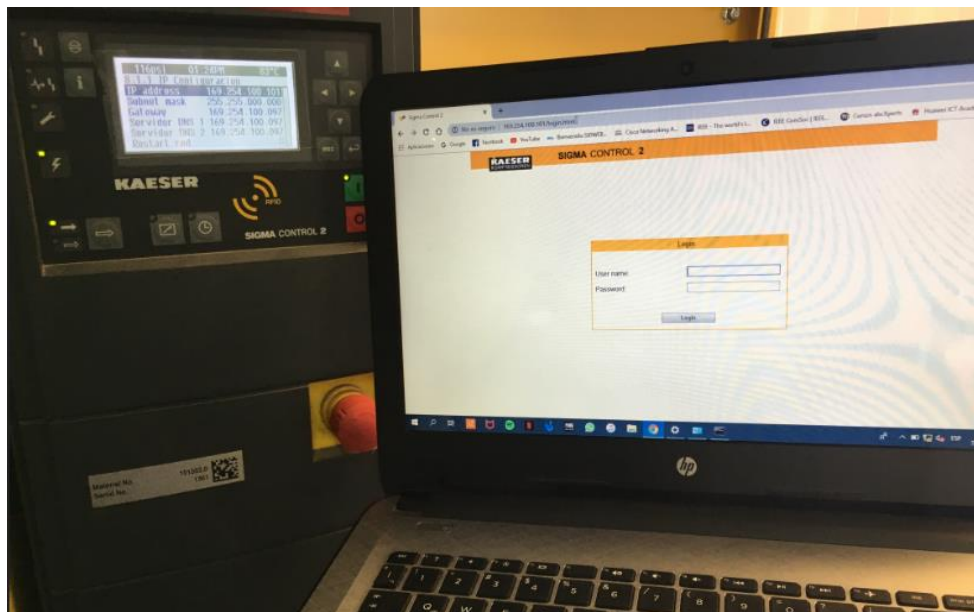
- [58] «Teamviewer para Linux: TeamViewer,» [En línea]. Available: https://www.teamviewer.com/es/descarga/linux/?pcc_keyword=teamviewer. [Último acceso: 27 Julio 2019].
- [59] «Centro de confianza de TeamViewer: TeamViewer,» [En línea]. Available: <https://www.teamviewer.com/es/centro-de-confianza/seguridad/> . [Último acceso: 27 Julio 2019].
- [60] «Controlador para compresor SIGMA CONTROL 2: KAESER COMPRESORES,» [En línea]. Available: <https://es.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:38-3211>. [Último acceso: 1 Agosto 2019].

ANEXOS

ANEXO A: EJECUCIÓN DE LAS CONEXIONES Y PRUEBAS



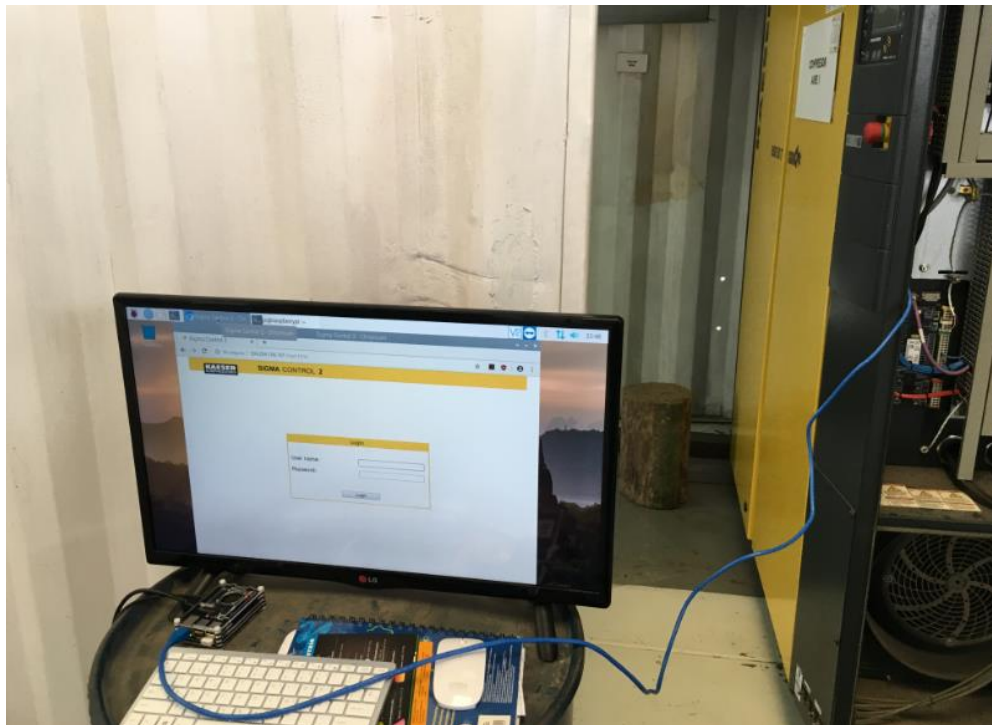
Anexo A.1 Configuraciones de la maquinaria industrial



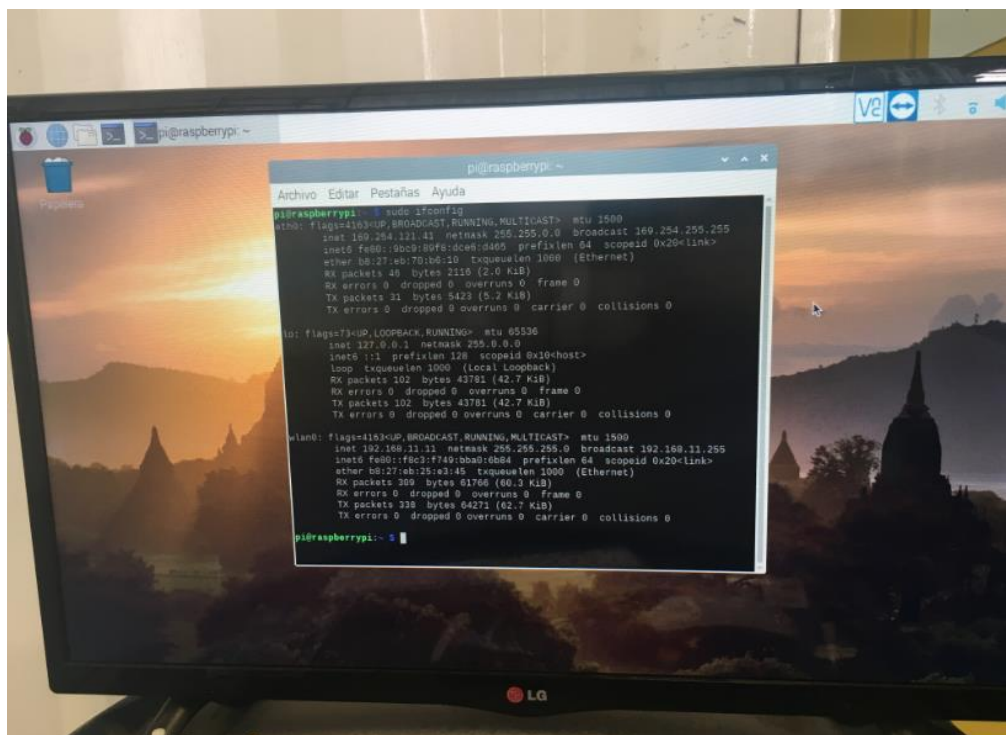
Anexo A.2 Prueba de conexión entre Laptop y controlador



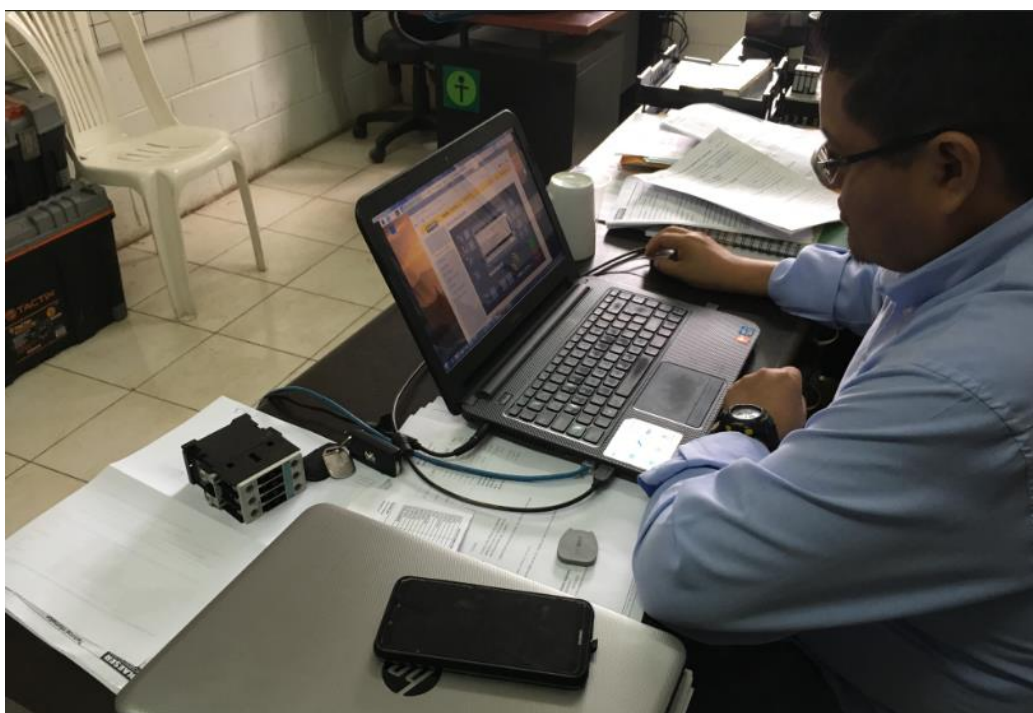
Anexo A.3 Configuración de la Raspberry Pi



Anexo A.4 Prueba de conexión entre Raspberry Pi y controlador



Anexo A.5 Parámetros de las Interfaces Ethernet e Inalámbrica



Anexo A.6 Monitoreo de los parámetros de la maquinaria por parte del personal técnico de la empresa INDUTORRES