

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PRÁCTICA SUPERVISADA PARA OPTAR AL
GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL
CONTROL Y LECTURA DE PARÁMETROS DE
UN SISTEMA COMPRESOR NEUMÁTICO EN
LA FÁBRICA DE IMPERMEABLES GMQ
DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2018**

**Sustentante:
Gustavo Montoya Brenes**

**Tutor:
Ing. José Alejandro Rojas López**

Abril, 2018

Carta del Tutor



UNIVERSIDAD
HISPANOAMERICANA
SERIEDAD Y PRESTIGIO

CARTA DEL TUTOR

San José, 05 de Abril de 2018

Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **Gustavo Montoya Brenes**, cédula de identidad número **3-0462-0084**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: **Desarrollo e implementación de un dispositivo electrónico para el control y lectura de parámetros de un sistema compresor neumático en la fábrica de Impermeables GMQ durante el primer semestre del 2018**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación, antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a)	Original del tema	10%	10%
b)	Cumplimiento de entrega de avances	20%	19%
c)	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación	30%	30%
d)	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones	20%	18%
e)	Calidad, detalle del marco teórico	20%	18%
TOTAL:		100%	95%

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. José Alejandro Rojas López
Cédula identidad: 1 1079 0035
Carné Colegio Profesional N°: IEL-15888

Carta del Lector



CARTA DEL LECTOR

San José, 14 de mayo del 2018

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Gustavo Montoya Brenes, cédula de identidad número 3-0462-0084, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL Y LECTURA DE PARÁMETROS DE UN SISTEMA COMPRESOR NEUMÁTICO EN LA FÁBRICA DE IMPERMEABLES GMQ DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2018", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

Ing. Víctor H. Arguedas Arce
Cédula de Identidad: 106690138
Carné colegio profesional: IE-6285

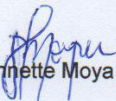
Carta del Filólogo

CARTA DEL FILÓLOGO

La suscrita, Jeannette Moya Mora, Licenciada en la Enseñanza del Castellano y la Literatura, hace constar que realizó la revisión filológica del proyecto de graduación, presentada por el señor **Gustavo Montoya Brenes**, con cédula de identidad **304620084**, del proyecto de práctica supervisada titulado **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL Y LECTURA DE PARÁMETROS DE UN SISTEMA COMPRESOR NEUMÁTICO EN LA FÁBRICA DE IMPERMEABLES GMQ DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2018** para optar por el grado académico de Bachiller en Ingeniería Electrónica en la Universidad Hispanoamericana.

Se realizaron las correcciones del caso en el documento y se le hicieron al postulante las observaciones que quedaron bajo su responsabilidad.

Se extiende esta certificación a los veinticuatro días del mes de mayo del dos mil dieciocho.


Jeannette Moya Mora

Ced. 104410997

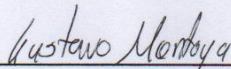
Lic. en la Enseñanza del Castellano y la Literatura

Carnet 6813

Declaración Jurada

DECLARACIÓN JURADA

Yo Gustavo Adolfo Montoya Brenes, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 3-0462-0084 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL Y LECTURA DE PARÁMETROS DE UN SISTEMA COMPRESOR NEUMÁTICO EN LA FÁBRICA DE IMPERMEABLES GMQ DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2018**, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Cartago, a los 31 días del mes de marzo del año dos mil dieciocho.



Firma del estudiante

3 0462 0084

Cédula

Carta de aceptación de la empresa


Cartago, Costa Rica, 2 de abril de 2018

Señores(as)

Universidad Hispanoamericana

Yo Gustavo Montoya Quirós, propietario de la fábrica de impermeables GMQ por este medio hago constar de que el proyecto titulado: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL Y LECTURA DE PARÁMETROS DE UN SISTEMA COMPRESOR NEUMÁTICO EN LA FÁBRICA DE IMPERMEABLES GMQ DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2018; fué desarrollado satisfactoriamente en mi empresa por el estudiante Gustavo Adolfo Montoya Brenes, ya que cumplió ampliamente los requerimientos planteados inicialmente, lo que nos facilita obtener un mejor control en nuestros procesos, a la vez que permite reducir los tiempos de manufacturación de los productos que elaboramos, lo cual genera un impacto económico positivo.

Atentamente.



Gustavo Montoya Quirós

Dedicatoria

Dedicado a mis padres, quienes con todo su esfuerzo y motivación siempre me apoyaron y creyeron en mí, son los responsables de hacerme llegar al lugar donde estoy hoy.

Agradecimiento

A todas las personas, amigos, familiares y profesores que siempre me impulsaron para llegar aquí.

Al profesor tutor, el Ing. José Alejandro Rojas López por toda su ayuda durante la realización de esta investigación.

Índice general

Carta del Tutor	III
Carta del Lector	IV
Carta del Filólogo	V
Declaración Jurada.....	VI
Carta de aceptación de la empresa	VII
Dedicatoria.....	VIII
Agradecimiento.....	IX
Introducción	XVI
CAPÍTULO I.....	17
PROBLEMA DEL PROYECTO	17
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	18
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.....	18
1.1.2 Justificación del problema.....	20
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
1.3.1 Objetivo general.....	26
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	27
1.4.1 Alcances.....	27
1.4.2 Limitaciones.....	28
CAPÍTULO II.....	30
MARCO TEÓRICO.....	30
2.1 MARCO CONCEPTUAL	31
2.1.1 Compresor neumático.....	31
2.1.2 Electroválvula.....	32
2.1.3 Relevadores.....	33
2.1.4 Contactor.....	35
2.1.5 Disyuntor eléctrico	36
2.1.6 Microcontroladores	37
2.1.6.1 Arduino.....	38

2.1.6.2	Arduino MEGA 2560	39
2.1.7	Sensores	41
2.1.7.1	Sensor DHT-22	43
2.1.7.2	Sensor de presión de aleación de acero-carbono.	44
2.1.8	Conectividad Wi-Fi.....	45
2.1.8.1	Módulo ESP8266	47
2.1.9	Conectividad Bluetooth.....	48
2.1.9.1	Módulo HC-05.....	49
2.1.10	Internet de las cosas.....	50
2.1.10.1	ThingSpeak.....	51
2.1.10.2	App inventor	52
CAPÍTULO III.....		54
MARCO METODOLÓGICO		54
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.1.1	Finalidad	55
3.1.2	Dimensión temporal.....	57
3.1.3	Marco	58
3.1.4	Naturaleza	59
3.1.5	Carácter	60
3.2	FUENTES DE INFORMACIÓN	63
3.2.1	Fuentes primarias.....	63
3.2.2	Fuentes secundarias	64
3.2.3	Sujetos de información	65
3.3	TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS	65
3.3.1	Observación.....	66
3.3.2	Entrevista.....	67
3.4	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	68
3.5	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	70
CAPÍTULO IV		73
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL		73
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	74
4.2	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	77
4.2.1	Observación.....	77

4.2.2	Entrevista	80
CAPÍTULO V		86
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO		86
5.1	Descripción de la propuesta	87
5.2	Diseño y construcción del prototipo	90
5.2.1	Etapa de sensado.....	90
5.2.1.1	Sensor de temperatura y humedad DHT-22	90
5.2.1.2	Sensor de presión de aleación acero-carbono	95
5.2.2	Etapa de comunicación	100
5.2.2.1	Comunicación Bluetooth.....	100
5.2.2.2	Comunicación Wi-Fi.....	106
5.2.3	Etapa de control	114
5.2.3.1	Control de la línea de aire presurizado	115
5.2.3.2	Control del motor eléctrico del compresor de aire	117
5.2.3.3	Control a nivel de software	119
5.3	Implementación del dispositivo.....	124
5.4	Análisis de costos	130
CAPÍTULO VI		137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		137
6.1	Conclusiones	138
6.2	Recomendaciones	141
Anexos		143
BIBLIOGRAFÍA.....		145

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama causa - efecto.....	24
Figura 2. Compresor de aire	32
Figura 3. Electroválvula	33
Figura 4. Módulo de relés de 4 canales.....	34
Figura 5. Contactor.....	35
Figura 6. Esquema general básico de un microcontrolador	37
Figura 7. Arduino Mega	40
Figura 8. Representación gráfica de señal analógica y digital	42
Figura 9. Sensor DHT-22	43
Figura 10. Sensor de presión de aleación de acero-carbono	44
Figura 11. Módulo ESP8266	47
Figura 12. Módulo HC-05.....	50
Figura 13. Plataforma ThingSpeak	51
Figura 14. Datos plataforma ThingSpeak	52
Figura 15. Entorno de desarrollo App inventor	53
Figura 16. Escalas de tiempo planteadas.....	72
Figura 17. Activación manual del compresor neumático.....	75
Figura 18. Manómetro analógico actual.....	76
Figura 19. Diagrama de bloques del prototipo propuesto	83
Figura 20. Comparación de tecnologías	88
Figura 21. Hardware sensor DHT-22.....	92
Figura 22. Diagrama de flujo del sensor DHT-22	93
Figura 23. Código fuente del sensor DHT-22	94
Figura 24. Circuito de pruebas del sensor DHT-22.....	95
Figura 25. Hardware sensor de presión.....	96
Figura 26. Diagrama de flujo del sensor de presión.....	97
Figura 27. Código fuente del sensor de presión.....	98
Figura 28. Circuito de pruebas del sensor de presión.....	99
Figura 29. Hardware del módulo HC-05	101
Figura 30. Configuración módulo HC-05 mediante comandos AT.....	102
Figura 31. App Inventor Designer	104
Figura 32. App Inventor Blocks Editor	105
Figura 33. Configuración de la comunicación Bluetooth	106

Figura 34. Conexión del módulo ESP8266.....	108
Figura 35. Diagrama de flujo de comunicación Wi-Fi.....	109
Figura 36. Código fuente para comunicación a internet.....	111
Figura 37. Prototipo de etapa de comunicación	112
Figura 38. Creación de canales en ThingSpeak.....	113
Figura 39. Circuito de control de la electroválvula.....	116
Figura 40. Software para la activación de la electroválvula	117
Figura 41. Diagrama de control del motor eléctrico.....	118
Figura 42. Software para la activación del motor del compresor	118
Figura 43. Circuito de activación del extractor de aire	120
Figura 44. Software de control automático del extractor de aire.....	120
Figura 45. Software de detención automática	122
Figura 46. Reacción plataforma Thingspeak	123
Figura 47. Información obtenida del sistema compresor.....	126
Figura 48. Implementación del dispositivo.....	127
Figura 49. Implementación del circuito de control	128
Figura 50. Diagrama electrónico del dispositivo	129

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros del Arduino Mega	40
Tabla 2 . Rangos del sensor DHT-22	43
Tabla 3. Rangos del sensor de presión de aleación acero-carbono.....	45
Tabla 4. Estándares IEEE 802.11	46
Tabla 5. Clasificación Bluetooth.....	48
Tabla 6. Versiones de Bluetooth	49
Tabla 7. Variables de la investigación	69
Tabla 8. Diseño de la investigación	71
Tabla 9. Análisis de costos de materiales utilizados	130
Tabla 10. Costos de implementación.....	131
Tabla 11. Costo total del proyecto	132
Tabla 12. Análisis costo-beneficio.....	134

Lista de abreviaturas

PVC: Polyvinyl Chloride (policloruro de vinilo)

NC: Normally Closed (normalmente cerrado)

AC: Alternating Current (corriente alterna)

CPU: Central Processing Unit (unidad central de procesamiento)

RAM: Random Access Memory (memoria de acceso aleatorio)

ROM: Read Only memory (memoria de solo lectura)

PIC: Peripheral Interface Controller (controlador de interfaz periférico)

E/S: Entradas y/o Salidas

USB: Universal Serial Bus (bus universal en serie)

PWM: Pulse Width Modulation (modulación de ancho de pulsos)

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal)

ICSP: In-Circuit Serial Programming (programación serial en circuito)

MCU: Micro Controller Unit (unidad de microcontrolador)

TCP: Transmission Control Protocol (Protocolo de transmisión)

IP: Internet Protocol (protocolo de internet)

LAN: Local Area Network (red de área local)

HTTP: Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de hipertexto)

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)

SSID: Service Set Identifier

Wi-Fi: Wireless Fidelity

AT: Attention (comandos AT)

WPAN: Wireless Personal Area Network (redes inalámbricas de área personal)

IoT: Internet of Things (internet de las cosas)

IIoT: Industrial Internet of Things (internet de las cosas industriales)

Introducción

Un sistema neumático es el que utiliza aire o gas como medio transmisor de energía, el cual es comprimido y utilizado en una gran variedad de procesos fundamentales en la industria, ya que además de su bajo costo, es económico de acumular y transportar.

Una gran cantidad de líneas de producción industriales utilizan como fuente de energía los sistemas neumáticos, debido a que tienen la ventaja, frente a otros agentes de transmisión de energía (agua, vapor, electricidad, entre otros), que la atmósfera asimila fácilmente la energía excedente y no hay que recuperar el aire de salida.

La fábrica de impermeables GMQ implementa el uso de un sistema neumático para el funcionamiento de sus diferentes líneas de producción; el cual está conformado por un elemento compresor de aire y su respectiva línea de abastecimiento, los cuales son los responsables de suministrar la energía necesaria para la operación de la maquinaria destinada a la fabricación de sus diferentes productos.

El desarrollo del presente trabajo se enfocará específicamente en el control y monitoreo del suministro de aire presurizado necesario para el proceso de sellado térmico o vulcanización de materiales textiles utilizados por la fábrica de impermeables GMQ, con el fin de lograr mejorar el proceso que actualmente se lleva a cabo, así como también identificar y monitorear las diferentes variables significativas del proceso para que este tenga un mejor rendimiento.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.

La fábrica de impermeables GMQ se encuentra ubicada en Tejar del Guarco en Cartago, fue fundada en el año 1990 por su propietario Gustavo Montoya Quirós, como una micro empresa que inicialmente se dedicaba solamente a la fabricación de indumentaria impermeable de una manera artesanal y a baja escala.

Inicialmente se trabajaba con solo un tipo de material, el PVC (Policloruro de vinilo), ya que en esa época la industria textil en el país era muy reducida y solo este reunía las características requeridas para la elaboración del producto. Este material era cortado, moldeado y ensamblado de una forma totalmente manual, sin que mediara ninguna herramienta eléctrica o mecánica.

Con el paso del tiempo, y el aumento en la demanda del producto que se elaboraba, se fueron implementando el uso de varias herramientas eléctricas, tales como son las máquinas de coser industriales y las cortadoras diseñadas para la industria textil; así también se incorporó el uso de nuevos materiales (fibras de nylon sintético), que debido a su composición, requieren uso de técnicas distintas para la elaboración del producto final, siempre enfocado a la fabricación de vestimenta impermeable.

En el año 2010, la fábrica es trasladada a nuevas instalaciones, debido al aumento que experimentó en su producción; e incorporó dentro de sus productos

la fabricación de aperos o insumos ecuestres, para los cuales fue necesaria la incorporación de nuevas herramientas de trabajo especializadas.

La elaboración de estos aperos siempre se realiza de forma paralela a lo que inicialmente se fabricaba, la indumentaria impermeable; ya que la demanda de esta aumenta considerablemente en la época lluviosa, por lo que su fabricación adquiere una mayor prioridad en este lapso; caso contrario en la época seca, donde la producción de este producto se ve reducida y la prioridad de la fábrica se centra en los insumos ecuestres.

Actualmente, la fábrica para sus operaciones cuenta con cinco empleados adecuadamente entrenados, y ha realizado la importación directa desde Taiwán de una máquina de vulcanización de textiles y otra máquina selladora por ultrasonido, lo que ha permitido el aumento considerable en su producción y en la calidad de los productos que elabora.

La distribución de los productos que se elaboran en la fábrica se realiza a nivel nacional, siendo las zonas rurales las de mayor demanda debido a las diversas actividades económicas que se desarrollan en estos lugares; con respecto a las exportaciones de los productos elaborados, estas se dan de una forma esporádica y a baja escala hacia Panamá.

1.1.2 Justificación del problema.

Desde los inicios de la era industrial, la operación de los procesos y control de las variables se llevaban a cabo de una forma manual, mediante la utilización de instrumentación simple, como lo son los termómetros, manómetros, válvulas, entre otros. Sin embargo debido al gran avance y complejidad que ha experimentado la industria ha sido fundamental desarrollar nuevos instrumentos de medición y control. Tal instrumentación de control moderno ha desplazado al personal del campo de funciones de actuación física directa, relegándolo a campos de supervisión y vigilancia del proceso (Solé, 2012).

Con respecto a la implementación de nuevos instrumentos de control o medición en las industrias (Brenes, 2015) afirma: "En la actualidad la alta demanda del mercado en cuanto cantidad como calidad, genera en las empresas una continua mejora de los procesos de producción para disminuir los tiempos, aumentar la calidad del producto y disminuir costos de producción"(p.3).

Por lo cual es de gran importancia implementar en la industria actual sistemas de control y monitoreo de parámetros de los diferentes procesos, facilitando así a las empresas la operación y obtención de información de sus máquinas y adaptarlas a sus específicas necesidades mediante nuevos instrumentos tecnológicos de control.

La principal carencia de control en los procesos que presenta fábrica de impermeables GMQ, se da en el proceso de vulcanización o sellado térmico de materiales, más específicamente sobre el control del compresor y su línea de

suministro de aire que se encargan de abastecer la máquina vulcanizadora para su correcta operación; ya que ambos elementos se encuentran separados por la naturaleza de su funcionamiento; tomando en cuenta que el compresor es un elemento grande, ruidoso, y que aumenta de forma considerable la temperatura del lugar donde se encuentra, por tanto este permanece aislado; por otra parte, la máquina vulcanizadora se encuentra en un ambiente más controlado en el interior de la fábrica.

Ante estas condiciones, ya en el proceso de operación del sistema los distintos elementos funcionan a la vez, pero físicamente separados y el operador de la máquina vulcanizadora no tiene información alguna de las condiciones en que se mantiene el compresor, ni tampoco el control de este de una forma inmediata, ya que se manipula de forma manual.

De igual manera, esto afecta en el momento en que se pone en marcha o se detienen ambos elementos, ya que es necesario desplazarse desde el interior de la fábrica hasta el cuarto de máquinas para manipular el compresor; así como también existe un riesgo elevado si se presenta alguna emergencia debido al tiempo que transcurre hasta detener el sistema por completo, ya que hay que desactivar ambos elementos de forma separada.

El proceso de lectura de variables a una cierta distancia mediante el uso de sistemas de transmisión / recepción se denomina telemedida, un concepto muy amplio que abarca aplicaciones a corta distancia, tales como las lecturas de los parámetros de un marcapasos, que supone unos pocos centímetros, hasta

casos que suponen millones de kilómetros, como la medida de los parámetros ambientales de un satélite en la órbita de Saturno. (García, 2014, p.5)

Como ya se mencionaron las diferentes carencias con las que cuenta la empresa, el dispositivo propuesto está enfocado en dos áreas de trabajo simultáneas: una es la recolección de datos y la otra, la mejora en el control del proceso del sistema compresor neumático. De esto se extrae que:

El instrumento recolector de datos permite conocer la información de las condiciones en las que opera el sistema compresor de aire, ya que al ser un elemento asilado no se cuenta con tal información a primera mano; lo que permitirá visualizar los parámetros del funcionamiento del sistema en tiempo real y a su vez ser almacenados para su posterior análisis.

Por otra parte, con la mejora del control del sistema será posible la manipulación de este desde el interior de la fábrica, para que de esta forma se pueda interactuar con el sistema compresor, al mismo tiempo que se opera la máquina vulcanizadora.

Junto con lo anterior se plantea el desarrollo de un sistema automático, el cual permite interrumpir las operaciones cuando alguno de los parámetros que son medidos sobrepase un umbral preestablecido, o cuando el operario así lo crea pertinente. Al activarse tal sistema, se notificará automáticamente al operario en la fábrica para que se tomen las medidas que se consideren necesarias para reestablecer el sistema a las condiciones de operación normales.

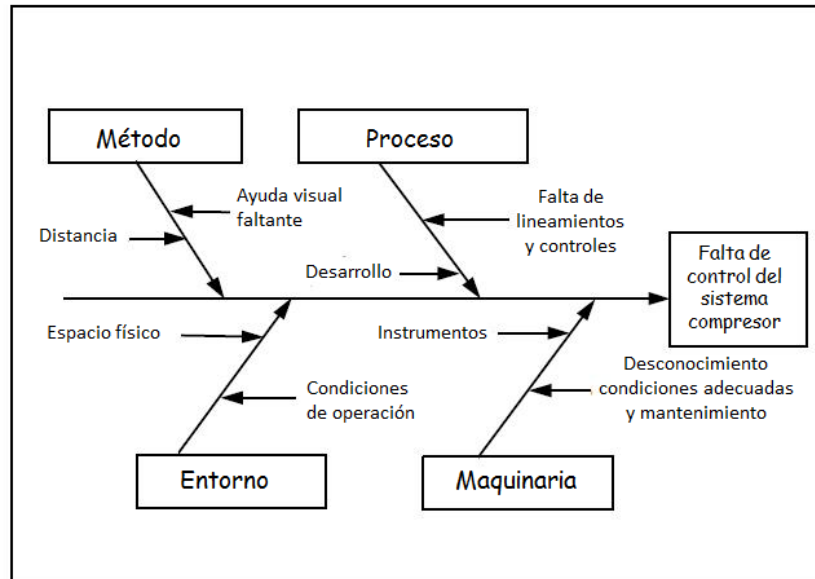
Como lo indican (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), existen criterios para evaluar la importancia y utilidad de un estudio. Uno de estos corresponde a la implicación práctica de la investigación y cómo ayuda a resolver un problema real; asimismo, otro criterio plantea si el estudio aporta una utilidad metodológica mediante la creación de un nuevo instrumento para recolectar o analizar datos.

Por tanto, mediante el desarrollo de un hardware y software se busca crear una herramienta que mejore el proceso de vulcanización de materiales en la fábrica de impermeables GMQ, permitiendo así obtener y conocer datos que antes se desconocían, así como mejorar el control del abastecimiento del sistema neumático de la fábrica.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Como se puede observar en la siguiente figura donde se expone el diagrama causa-efecto del problema ante la falta de control sobre el sistema compresor se numeran varias causas principales, así como los factores más significativos que influyen en cada una de dichas causas identificadas.

Figura 1. Diagrama causa - efecto



Fuente: Elaborado por el autor

- a) **Método:** Actualmente no existe ninguna ayuda visual de primera mano que ayude a identificar las condiciones del funcionamiento del sistema compresor. También debe haber un desplazamiento físico del operario para manipular el mismo.
- b) **Proceso:** Como se trata de una mediana empresa en desarrollo de sus productos y operaciones, existe una falta importante de controles y lineamientos de operación que especifiquen las condiciones adecuadas como debe operar el sistema.
- c) **Entorno:** Debido a las dimensiones y molestias que se generan cuando el sistema compresor está en funcionamiento (aumento de temperatura, ruido, vibraciones, entre otros); este se encuentra en un espacio físico reducido y separado.

d) **Maquinaria:** Los instrumentos de control y medición que se utilizan actualmente son básicos y no permiten conocer e interactuar con todo el entorno de operación del compresor y su línea de abastecimiento.

Como antes se mencionaron las diferentes carencias con las que cuenta el sistema compresor de aire para que su manejo sea de una forma más eficiente; mediante la realización de este proyecto se busca darles una solución a estos puntos débiles, con la implementación de un dispositivo de alta tecnología, el cual es diseñado para adaptarse a los requerimientos que necesitan ser incorporados en el sistema neumático de la fábrica.

Ante la situación expuesta se llega a generar la siguiente interrogante:

¿Cuál será la mejor manera de diseñar un dispositivo capaz de medir las variables presentes en el sistema de compresión de aire, y además a su vez permita controlar de forma remota la activación o detención de distintos elementos de control del compresor neumático y su línea de suministro, así como activar sistemas automáticos de control y fomentar un sistema de alertas ante situaciones anormales de operación, en el proceso de sellado térmico de materiales en la fábrica de impermeables GMQ durante el primer semestre del 2018?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1 Objetivo general.

1. Diseñar un instrumento de control y monitoreo de los parámetros para un sistema compresor neumático marca Campbell Hausfeld VT6195 y su línea de suministro para el proceso de vulcanización de textiles, mediante un dispositivo electrónico de control en la fábrica de impermeables GMQ, durante el primer semestre del 2018.
2. Implementar el diseño propuesto para el sistema compresor neumático marca Campbell Hausfeld VT6195 y su línea de suministro en la fábrica de impermeables GMQ durante el primer semestre del 2018.

1.3.2 Objetivos específicos.

1. Identificar las necesidades y requerimientos específicos del sistema compresor de aire en la fábrica de impermeables GMQ.
2. Estudiar las diferentes tecnologías existentes para elegir la que mejor se adapte al dispositivo que se quiere implementar.
3. Diseñar un prototipo para el control a distancia y lectura de parámetros del sistema compresor en la fábrica de impermeables GMQ.
4. Construir el dispositivo diseñado para el control del sistema compresor neumático en la fábrica de impermeables GMQ.
5. Evaluar la puesta en marcha del dispositivo, sus sistemas de control, recolección de datos, sistemas automáticos, y de alertas.
6. Analizar el costo – beneficio de la implementación del proyecto propuesto en la fábrica de impermeables GMQ.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.

1.4.1 Alcances.

Este proyecto se encuentra enfocado específicamente en el proceso de sellado térmico de materiales textiles mediante un sistema neumático, en una línea de producción diseñada exclusivamente para tal fin, a pesar de que la empresa cuenta con diferentes líneas de producción, las cuales de igual manera pueden llegar a ser optimizadas y automatizadas para mejorar el control en sus procesos.

Se integrarán nuevos elementos modernos como lo son sensores, módulos de comunicación y actuadores, que permitan evaluar las condiciones del sistema y brindar al usuario información del mismo de una forma más simple y ágil.

Tales módulos de comunicación mencionados se implementarán junto con una plataforma de IoT, lo que permitirá obtener y analizar de forma gráfica los datos de las variables del sistema en tiempo real, y poder ser visualizados desde cualquier computadora o teléfono inteligente con acceso a internet, lo que brindará a la empresa una herramienta tecnológica para el control de sus procesos.

Junto con el desarrollo del dispositivo se están incorporando medidas de seguridad con las que antes no se contaban o eran muy escasas, ya que mediante un sistema automático y diversos elementos de control se activará un protocolo que detendrá el funcionamiento del sistema neumático ante condiciones de operación anormales.

También se desarrollará un sistema que mejore la circulación del aire, permitiendo así regular la temperatura y la humedad dentro del cuarto de máquinas donde se ubica el compresor, el cual entrará en funcionamiento de una manera automática cuando se alcancen valores de temperatura mayores a los tolerados.

1.4.2 Limitaciones.

Debido a la implementación de nuevas plataformas para la captura de información de las diferentes variables del sistema, es necesario que para el envío de la información de los parámetros de este a la nube (internet), exista una conexión de red Wi-Fi con acceso a internet de forma permanente.

El elemento de control a desarrollar para manipular de forma remota el sistema neumático utiliza la tecnología Bluetooth para el envío de información entre el dispositivo de control y la aplicación del teléfono móvil; por lo cual debe tomarse en cuenta que esta forma de comunicación inalámbrica está diseñada para cortas distancias, lo cual puede provocar inconvenientes si el receptor y trasmisor de la señal se ubican a distancias donde se pueda perder la comunicación entre estos.

La implementación del dispositivo no sustituye por completo el mantenimiento del sistema compresor neumático; siempre será necesario darle un mantenimiento preventivo y correctivo al mismo; así como también es importante realizar una revisión y calibración periódica de los sensores, así como también a los demás elementos utilizados.

Para la implementación del dispositivo de control fue la misma empresa la que asumió la tarea de adquisición de algunos de los materiales necesarios para el desarrollo de esta, los cuales fueron importados desde el extranjero y sufrieron un atraso de tres semanas en su llegada; por lo cual se solicitó por parte de la empresa pausar la puesta en marcha del proyecto durante este tiempo, lo cual es una situación que afecta la culminación de la investigación.

Este retraso en la implementación del proyecto provoca que de igual manera la etapa de pruebas y ajustes del dispositivo, las cuales para ser efectivas deben ser realizadas en un ambiente real de producción, sean también forzadas a desarrollarse en un periodo de tiempo diferente al planteado inicialmente, dificultando la realización de esta última etapa del proceso.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Compresor neumático.

Un compresor neumático es un dispositivo diseñado para desplazar y comprimir gases (por lo general aire) a una presión mayor que la presión atmosférica, y almacenarlo en un depósito o tanque, para luego poder liberarlo a grandes velocidades y de manera constante, lo que permite el abastecimiento de máquinas neumáticas para diversas aplicaciones.

Un compresor de aire basa su funcionamiento en la transformación de la energía eléctrica generada por un motor eléctrico o de combustión, en energía mecánica, que a su vez pasa a ser energía neumática al comprimir el aire hasta la presión requerida para cada tipo de herramienta o máquina.

El compresor de aire industrial, a diferencia de los comunes, cuenta con mucha más potencia y durabilidad. Posee un depósito de aire con una buena capacidad para evitar que el compresor trabaje constantemente, evitando así producir el efecto parpadeo, esto quiere decir que la salida de aire es constante.

Para efecto de la puesta en marcha del proyecto se utilizará el compresor con el que cuenta la empresa, el cual es un Campbell Hausfeld modelo VT6195 cuyo manual y especificaciones técnicas se encuentran en el anexo uno (Manual Campbell Hausfeld VT6195); este cuenta con un tanque de almacenamiento con capacidad para 60 galones. Este mismo para la compresión del aire utiliza un motor monofásico de 220V a una frecuencia de 60Hz; el cual puede observarse en la siguiente figura.

Figura 2. Compresor de aire



Fuente: Elaborado por el autor

2.1.2 Electroválvula

Una electroválvula o válvula de solenoide es un dispositivo electromecánico que controla el caudal de un fluido dentro de una línea de suministro o conducto, la cual mediante una bobina, que recibe o interrumpe su energía eléctrica, activa un mecanismo de cierre o apertura de las vías de la válvula; de este modo una señal eléctrica puede ser transformada en una señal neumática. (Serrano, 2010).

Al pasar una corriente sobre la bobina solenoide se genera un campo electromagnético que atrae un émbolo metálico debido a su fuerza magnética, permitiendo así el paso de gases o líquidos a través de la válvula. Cuando se corta

el flujo eléctrico al solenoide el campo magnético desaparece y el émbolo vuelve a su posición de reposo, normalmente cerrado (NC).

En la implementación del dispositivo de control en el sistema neumático de la fábrica de impermeables GMQ, se utilizará una electroválvula de tipo NC, en la cual la bobina es alimentada por una tensión eléctrica de 110V AC, cuyo diseño y materiales están ideados para aplicaciones de trabajo considerables, como al que está destinado en este proyecto. Un ejemplo de la electroválvula utilizada se puede observar en la siguiente figura.

Figura 3. Electroválvula



Fuente: Disponible en: <https://ussolid.com>

2.1.3 Relevadores

Los relés o relevadores son dispositivos electromecánicos que funcionan como un elemento interruptor de corriente eléctrica; cuando se energiza la bobina se crea un campo magnético que atrae los contactos haciéndolos cambiar de posición, permitiendo abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Estos dispositivos permiten conmutar circuitos en los cuales se puede controlar altas tensiones, a la vez que opera con una cantidad de electricidad relativamente pequeña, así como también se utilizan para permitir o interrumpir el paso de corriente alterna.

Siempre siguiendo el mismo principio de conmutación de los relevadores, se puede encontrar disponible en el mercado una gran variedad de estos, cada uno con diferentes características y formas, por lo cual deben tomarse en cuenta algunas condiciones importantes para elegir el que mejor se adapte a la aplicación que se desea desarrollar.

Para controlar cargas que consuman una corriente considerable cuando se utilizan placas de desarrollo como Arduino, una de las mejores formas de controlar estas es emplear un módulo de relés (Figura 4), ya que su diseño y estructura está ideado para trabajar conjuntamente con estos.

Figura 4. Módulo de relés de cuatro canales



Fuente: Elaborado por el autor

Dicho módulo está compuesto por cuatro relés cuya tensión para la conmutación es de 5V en la bobina del mismo (lo que entrega el Arduino en sus

pinos de salida); y las salidas de los relés pueden ser sometidas a tensiones de hasta 230V AC y corrientes máximas de 10A. Como elemento de protección, las entradas del módulo se encuentran aisladas por medio de un optoacoplador, permitiendo así separar físicamente el circuito de control con el de potencia.

2.1.4 Contactor

Un contactor eléctrico actúa básicamente bajo el mismo principio de los relevadores, la diferencia radica en que los contactores están diseñados con una mayor robustez para soportar tensiones y corrientes eléctricas mayores; de modo que pueden emplearse en diversos automatismos eléctricos al recibir corriente en la bobina de este. (Cembranos, 2008).

Es un componente electromagnético que está conformado por una bobina que al energizarse conmuta (o “enclava”) el contactor; posee contactos de potencia a través de los cuales se alimenta el circuito de potencia; los contactos auxiliares utilizados para el control del electroimán, y el electroimán que acciona los contactos de potencia y auxiliares.

Figura 5. Contactor



Fuente: Disponible en: <https://www.schneider-electric.es>

La principal aplicación de los contactores se da para la apertura y cierre de circuitos donde la carga sean motores eléctricos.

2.1.5 Disyuntor eléctrico

Un disyuntor eléctrico es un dispositivo electromecánico de seguridad instalado en las líneas eléctricas el cual se encarga de interrumpir el paso de corriente eléctrica cuando esta sobrepasa un valor determinado, impidiendo de esta forma la alimentación a la carga del circuito para prevenir daños a esta.

Los tipos de disyuntores más comunes que existen se pueden clasificar en dos categorías principales:

- **Térmicos:** Estos están conformados por láminas bimetálicas por las cuales circula la energía eléctrica entregada a la carga, ante alteraciones en los valores de la corriente tolerada estas láminas se deforman debido a un aumento de temperatura generado por la energía excedente, provocando que se interrumpa el circuito.
- **Magnéticos:** La corriente que circula por este dispositivo genera campos magnéticos a través de un electroimán, ante variaciones que se presenten en este campo magnético el disyuntor corta el paso de corriente eléctrica.

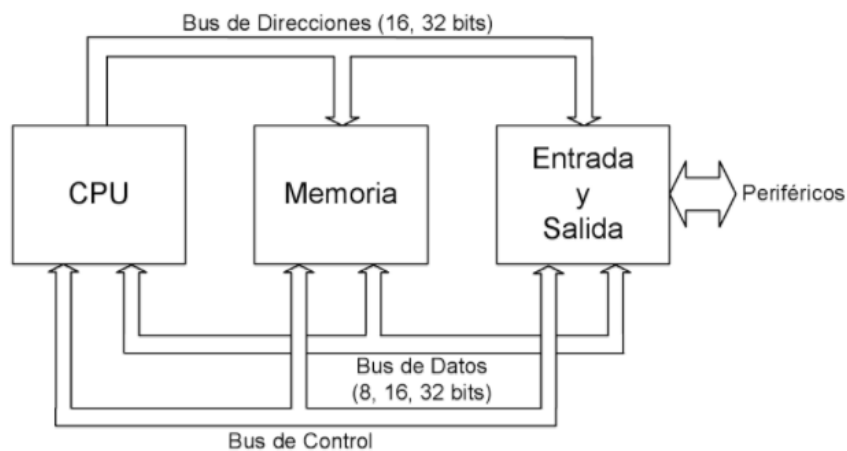
También se puede encontrar disyuntores termo-magnéticos, los cuales incorporan en su diseño los dos principios mencionados de manera conjunta.

2.1.6 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable compuesto de una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria RAM Y ROM, puertos de entrada y salida y diversos módulos para el control de periféricos; tales partes se encuentran interconectadas entre sí mediante líneas eléctricas denominadas buses para llevar a cabo la aplicación para la cual fueron programados. (Pérez & Areny, 2007)

En un microcontrolador, el hardware ya viene integrado en un solo chip; para implementar los mismos, se debe especificar su funcionamiento por medio del desarrollo de un software, a través del cual se indiquen las instrucciones que este circuito integrado debe realizar. En la memoria ROM del dispositivo, se almacenan tales programas y el CPU se encarga de procesar paso por paso el set de instrucciones del programa y así interactuar con el circuito electrónico.

Figura 6. Esquema general básico de un microcontrolador



Fuente: (Pérez & Areny, 2007)

Según comenta (Rossano, 2009) sobre los microcontroladores: “Los microcontroladores son cada vez más utilizados en muchos campos debido a sus ventajas y a la facilidad de diseñar circuitos con ellos, desde los más sencillos, hasta las aplicaciones más complejas” (p.20).

En el mercado actual, existen diversas herramientas disponibles para trabajar con microcontroladores como lo son el PIC, Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone, entre otras; de las cuales se debe elegir la que mejor se adapte al dispositivo que se desea desarrollar, ya que estas presentan ciertas diferencias en sus diseños y prestaciones; tales instrumentos permiten desarrollar de una manera más simple proyectos en los que se quieran implementar microcontroladores.

Para el desarrollo de este proyecto se optó por utilizar Arduino, el cual debido a varias características como la cantidad de puertos E/S (entrada y salida) disponibles, los periféricos que se van a utilizar en el desarrollo del dispositivo, la facilidad de implementación de los diferentes módulos y sensores, cuyos voltajes de los niveles lógicos pueden ser mejor administrados en esta placa de desarrollo; así como también el costo de la placa, hacen al Arduino el entorno de desarrollo ideal para llevar a cabo este proyecto. El dispositivo a utilizar se estudiará más a fondo en el capítulo cinco de esta investigación.

2.1.6.1 Arduino

Arduino es una placa de hardware y software libre o conocido también como opensource, utilizada para la implementación de proyectos y facilitar el desarrollo y programación de sistemas embebidos; el cual cuenta con un microcontrolador

programable interconectado con una serie de pines E/S analógicos y digitales, los cuales permiten la conexión de diferentes dispositivos periféricos, sensores y actuadores, placas de expansión (shields), de una forma más sencilla (Artero, 2013).

El arduino es una placa impresa con todos los componentes necesarios para el funcionamiento del microcontrolador y poder establecer comunicación con una computadora a través de comunicación serial USB.

Existen varios tipos de placas de Arduino, cada una de ellas con diferentes características de diseño y prestaciones que permiten adaptarse de una manera más sencilla a la aplicación que se destine, según sean sus necesidades. En la mayoría de estas placas el hardware está constituido por un microcontrolador central Atmel AVR de ocho bits; el cual es programado mediante lenguajes de alto nivel, y se encarga de realizar los procesos lógicos y matemáticos dentro de la placa, además de controlar y gestionar los recursos de cada uno de los componentes externos conectados a la misma.

2.1.6.2 Arduino MEGA 2560

El Arduino Mega es una plataforma computacional de open-source (código abierto), basada en una pequeña placa con entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales con un pequeño microcontrolador y un entorno de desarrollo de software, fue diseñado con el objetivo de desarrollar proyectos de una manera más centralizada y simple.

Figura 7. Arduino Mega



Fuente: (Arduino, 2017)

El Arduino Mega es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega1280. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. El Arduino Mega es compatible con la mayoría de los shield para el Arduino Duemilanove o Diecimila. (Arduino, 2017).

Tabla 1. Parámetros del Arduino Mega

Arduino Mega	
Microcontrolador	ATmega1280
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada recomendado	7V - 12V
Límite de voltaje	6V - 20V
Puertos digitales E/S	54
Puerto analógicos	16
Corriente DC de salida	40mA
Memoria Flash	128KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Reloj	16MHz

Fuente: Elaborado por el autor

El Arduino Mega, en cuanto a características electrónicas es bastante similar a los demás dispositivos de la familia de Arduino; pero como se puede apreciar en la tabla anterior, el número de pines con los que cuenta es de un total de 54 pines digitales (15 de ellos PWM) y 16 pines analógicos, lo que hace a esta placa idónea para proyectos más robustos que incorporen una mayor cantidad de dispositivos de control y periféricos, además de contar con una capacidad de memoria más amplia, lo que lo hace superior a otras placas de desarrollo de Arduino y así logra obtener un mejor rendimiento.

2.1.7 Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos diseñados para recibir información de una magnitud del exterior variable y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

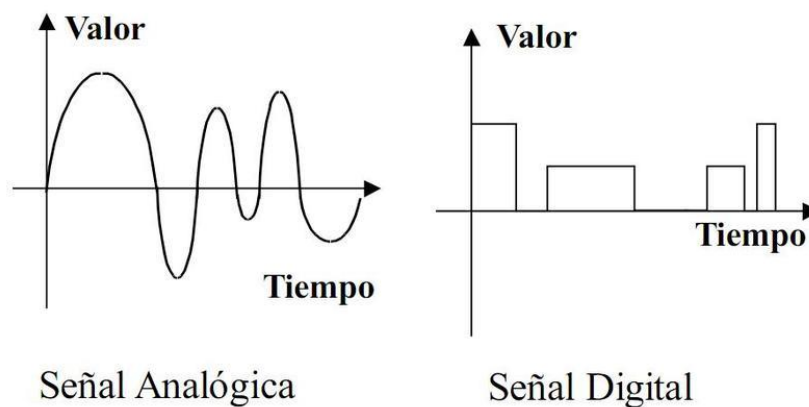
Echar una mirada a nuestro alrededor nos hará descubrir que se ha convertido en algo cotidiano y que los encontramos en innumerables aparatos domésticos: mandos a distancia, sistemas de alarma y seguridad, electrodomésticos, domótica, entre otros. De igual manera, están presentes en automóviles, telefonía móvil, medicina y por supuesto en los procesos de automatización industriales. (Ruiz, García, & Noriega, 2010, p.3)

Un sensor actúa de manera similar a un transductor, el cual está diseñado para captar una magnitud física (temperatura, presión, distancias, pH, luminosidad, fuerza, entre muchas otras aplicaciones), y transformarla en una

señal eléctrica, la cual pueda ser identificada y medible para determinar el valor de las condiciones de las que se desea obtener información.

Como se puede observar en la siguiente figura, según sea la señal proporcionada por los sensores, se pueden clasificar en dos grupos: los sensores analógicos y los sensores digitales. Los sensores analógicos proporcionan información de la variable medida mediante una señal análoga de tensión o corriente; tal sensor debe contemplar propiedades como calibración, rango de funcionamiento, precisión, entre otras para que la información de la variable medida sea exacta. Por otra parte, los sensores digitales proporcionan información mediante una señal digital (un "0" o "1" lógicos), o en su efecto un código de bits; lo que hace más práctico la interpretación de señales y poseen una mayor inmunidad a interferencias electromagnéticas. (Ruiz et al., 2010)

Figura 8. Representación gráfica de señal analógica y digital



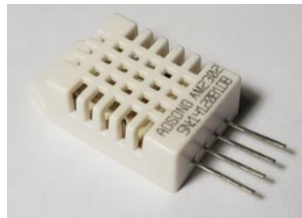
Fuente: (Ruiz et al., 2010)

2.1.7.1 Sensor DHT-22

El sensor digital DHT-22 es un dispositivo electrónico de bajo consumo que permite realizar mediciones de temperatura y humedad relativa de manera simultánea. Utiliza un controlador interno (MCU) con un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la temperatura del aire circundante, y utiliza un solo un pin para la entrega de los datos.

Cuando el MCU envía una señal de inicio, el DHT22 cambia de modo de bajo consumo de energía a modo de funcionamiento, una vez que el MCU finaliza de enviar la señal de inicio, el DHT22 enviará una señal de respuesta de datos de 40 bits que reflejan la información de humedad relativa y temperatura captadas. (Aosong Electronics Co.,Ltd, s.f.)

Figura 9. Sensor DHT-22



Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 2 . Rangos del sensor DHT-22

Sensor DHT-22			
Variable	Rango Min	Rango Max	Tolerancia
Temperatura	-40°C	80°C	0,5°C
Humedad Relativa	0%	99.99%	±2%

Fuente: Elaborado por el autor

Tal como se observa en la tabla anterior, donde se muestran los valores límites tolerables por el sensor DHT-22, debido al amplio rango de estos hace al sensor apto para gran cantidad de aplicaciones; además junto con otros factores como su tamaño, voltaje de operación, encapsulado, entre otros, lo hace idóneo para ser implementado con microcontroladores.

2.1.7.2 Sensor de presión de aleación de acero-carbono.

El sensor de presión es un dispositivo analógico implementado en aplicaciones donde se desea cuantificar la magnitud de una masa de aire, gas o líquidos sometida a una presión mayor que la presión atmosférica.

Figura 10. Sensor de presión de aleación de acero-carbono



Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la siguiente tabla; este dispositivo puede ser adaptado a un amplio rango de aplicaciones ya que está fabricado de acero inoxidable y puede ser sometido a presiones altas (2MPa como máximo); genera una señal de voltaje que varía de 0,5V cuando la lectura de la presión es mínima; hasta los 4,5V cuando la lectura alcanza los valores máximos tolerados, lo que lo hace óptimo para ser implementado con microcontroladores, ya que los datos de esta señal

entregada por el sensor puede ser interpretada para dimensionar la presión a la que se encuentra expuesto.

Tabla 3. Rangos del sensor de presión de aleación acero-carbono

Sensor de presión de aleación acero-carbono	
Voltaje de funcionamiento DC	5 V
Voltaje de Salida DC	0.5 ~ 4.5 V
Corriente de trabajo	< = 10mA
Presión de trabajo	0 ~ 1.2MPa;
Presión máxima	2.4 MPa
Presión de daño	3.0 MPa
Temperatura de Trabajo	0 ~ 85 °C
Temperatura de almacenamiento	0 ~ 100 °C
Peso	53 g

Fuente: Elaborado por el autor

Además de realizar mediciones ante altas presiones de gases o líquidos, este sensor presenta un consumo de corriente y voltajes de operación bajos, 10mA y 4,5V respectivamente, además de poder ser utilizado en aplicaciones donde la temperatura sea de hasta 85°C; lo cual permite que se pueda implementar fácilmente con microcontroladores como Arduino.

2.1.8 Conectividad Wi-Fi

Así como permitir la conexión entre dispositivos para compartir recursos, la principal aplicación de las redes Wi-Fi es la de permitir el acceso de estos dispositivos a internet a través de un punto de acceso ADSL o router, ya que utiliza el mismo protocolo de internet TCP/IP de las redes cableadas. Tales puntos

de acceso (AP o Access Point) son equipos que gestionan las comunicaciones entre los distintos terminales de red, los cuales permiten a los dispositivos inalámbricos, conectarse a una red ya existente para tener acceso a internet.(Carballar & Falcón, 2010).

El estándar Wi-Fi está regulado según la norma IEEE 802.11, donde se determinan las especificaciones técnicas del modelo OSI para establecer una comunicación inalámbrica de datos, según la Wi-Fi Alliance, quien es el ente encargado de dichas regulaciones.

Tabla 4. Estándares IEEE 802.11

Normas	Velocidad máxima de transmisión	Banda de frecuencia	Radio de cobertura (Interiores)	Radio de cobertura (exteriores)
IEEE 802.11a/h	54 Mbps	5 GHz	85 m	185 m
IEEE 802.11b	11 Mbps	2.4 GHz	50 m	140 m
IEEE 802.11g	54 Mbps	2.4 GHz	65 m	150 m
IEEE 802.11n (40MHz)	> 300 Mbps	5 GHz	120 m	300 m
IEEE 802.11n (20MHz)	144 Mbps	2.4 GHz y 5 GHz	120 m	300 m

Fuente: Elaborado por el autor

En la actualidad los estándares 802.11b, 802.11g y 802.11n son los más utilizados a nivel mundial ya que tal y como se puede apreciar en la tabla anterior, los tres estándares mencionados utilizan un mismo ancho de banda para su comunicación (2,4 GHz), la diferencia existente entre estos radica en la velocidad de transferencia que consiguen; 11Mbps, 54Mbps y 300Mbps respectivamente; así como un aumento significativo en el rango de cobertura del estándar 802.11n,

por lo que en conjunto con su velocidad de transferencia es lo que lo hace el más utilizado en las redes inalámbricas Wi-Fi actuales.

2.1.8.1 Módulo ESP8266

El módulo ESP8166 es dispositivo electrónico que cuenta con un chip integrado con conexión Wi-Fi, compatible con el protocolo TCP/IP, el cual permite el acceso de cualquier microcontrolador a una red con una conectividad sencilla a través de la interfaz UART.

El ESP8266 está diseñado inicialmente con un firmware que interpreta comandos AT, con el cual se puede usar el módulo como un adaptador Wi-Fi-Serial, usando un microcontrolador externo como un Arduino para controlarlo y comunicarse con la red inalámbrica.

Debido al constante desarrollo de este módulo y su utilización en una amplia gama de aplicaciones, este puede ser programado mediante el IDE de Arduino, permitiendo aumentar las capacidades que no eran posibles de lograr mediante el uso de comandos AT convencionales.

Figura 11. Módulo ESP8266



Fuente: Disponible en: <https://www.sparkfun.com>

2.1.9 Conectividad Bluetooth

Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones inalámbricas de dispositivos de bajo consumo perteneciente a la familia de las WPAN (Personal Area Network por sus siglas en inglés), la cual es una tecnología para conexiones de corta distancia mediante un enlace de radiofrecuencia, utilizando una banda de 2,4GHz.

Las redes Bluetooth se desarrollan mediante el modelo maestro-esclavo, donde un dispositivo esclavo solo puede conectarse a un dispositivo maestro; por otra parte un dispositivo maestro puede conectarse a varios esclavos, o permitir que ellos se conecten entre sí, aunque solo siete comunicaciones pueden ser simultáneas. (Carballar & Falcón, 2010).

Al implementarse la comunicación Bluetooth por medio de radiofrecuencia, no se requiere que los dispositivos estén alineados y pueden incluso estar en espacios físicos separados, si la potencia de transmisión lo permite. Tal como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 5), estos dispositivos se clasifican en “clases” según sea su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras.

Tabla 5. Clasificación Bluetooth

Clase	Potencia máxima (mW)	Potencia máxima (dBm)	Rango
Clase 1	100 mW	20 dBm	~ 100 m
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~ 10 m
Clase 3	1 mW	0 dBm	~ 1 m

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 6. Versiones de Bluetooth

Especificaciones	Bluetooth 1.0	Bluetooth 1.2 EDR	Bluetooth 2.0 EDR	Bluetooth 2.1	Bluetooth 3.0	Bluetooth 4.0
Velocidad	721 kB/s	721 kB/s	2.1 MB/s	3 MB/s	24 MB/s	24 MB/s
Retrocompatibilidad	-	Si	Si	Si	Si	Si
Lanzamiento	2002	2005	2004	2007	2009	2010

Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede observar en la tabla 6, donde se especifican las versiones de Bluetooth, las mismas están determinadas según la capacidad de transmisión de datos, donde inicialmente en la versión 1.0 de Bluetooth era de 721kB/s (actualmente en desuso), hasta la versión más actualizada, Bluetooth 4.0, donde la capacidad de transmisión de datos alcanza velocidades de hasta 24MB/s, además de mejorar el consumo de energía entre cada versión, así como la conectividad, comunicación entre dispositivos y mantener la compatibilidad con las versiones Bluetooth anteriores.

2.1.9.1 Módulo HC-05

El módulo Bluetooth HC-05 es un dispositivo electrónico que permite establecer una comunicación inalámbrica fiable y sencilla de utilizar, se programa mediante comandos AT y tiene la posibilidad de configurarse tanto en modo maestro como esclavo, por lo que además de recibir conexiones de otros dispositivos, es capaz de generar conexiones hacia diferentes dispositivos Bluetooth y generar una comunicación punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

Figura 12. Módulo HC-05



Fuente: Disponible en: <https://www.prometec.net>

Este módulo es ideal para trabajar con microcontroladores, ya que es de bajo consumo (opera con un voltaje de 3.3V), permitiendo alcanzar comunicaciones de hasta diez metros con una potencia de transmisión de RF de hasta 4dBm, y utiliza una interfaz UART con velocidad de modulación programable.

2.1.10 Internet de las cosas.

El internet de las cosas, más conocido como IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés), es un término que se refiere a la conexión de objetos cotidianos con internet. Tales objetos pueden ser controlados por sistemas embebidos sencillos que no solo les permite la conectividad a internet, sino también realizar tareas que les sean dictadas de forma remota, convirtiendo los objetos ordinarios en objetos inteligentes; dicho de otro modo se puede interpretar el IoT como la digitalización del mundo físico.

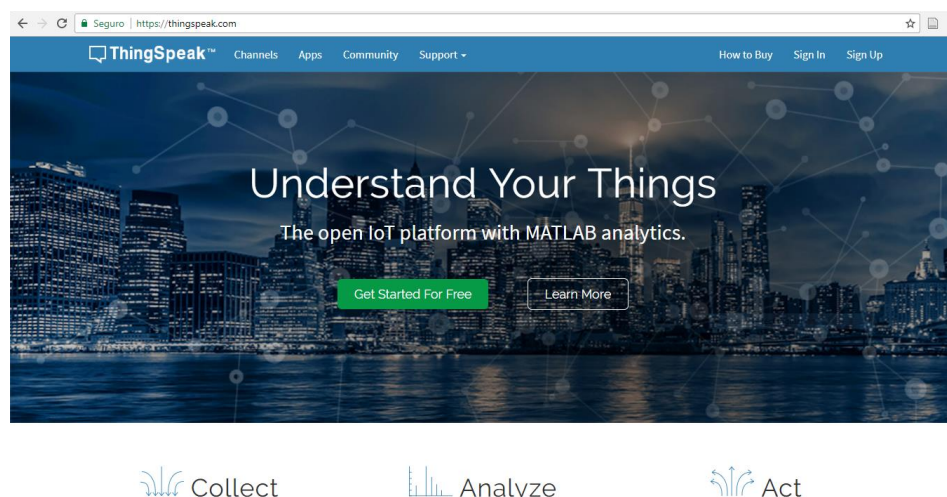
El internet de las cosas ha tenido una evolución constante y actualmente se utiliza en una gran cantidad de aplicaciones, entre ellas la industria; por lo que se ha desarrollado lo que se conoce como IIoT, o Internet Industrial de las Cosas. Con la implementación del IoT en las industrias se transforman herramientas e

instrumentos de uso común en “máquinas inteligentes” que son capaces de capturar y comunicar información de manera precisa, además de tomar acciones de forma autónoma o brindar la posibilidad de hacerlo remotamente, logrando así a las empresas encontrar ineficiencias y problemas de una manera más rápida, ahorrando tiempo y recursos; por lo que la aplicación IoT ayuda de gran manera en la mejora de procesos, seguridad y controles de calidad de las diferentes industrias.

2.1.10.1 ThingSpeak

ThingSpeak es una plataforma abierta de aplicaciones de IoT que gestiona los datos captados de un determinado sistema; con la que es posible recopilar, almacenar, analizar, visualizar y tomar acciones sobre la información entregada por diferentes sensores y dispositivos en la nube (internet), usando el protocolo HTTP o vía LAN. (“ThingSpeak Documentation”, s.f.)

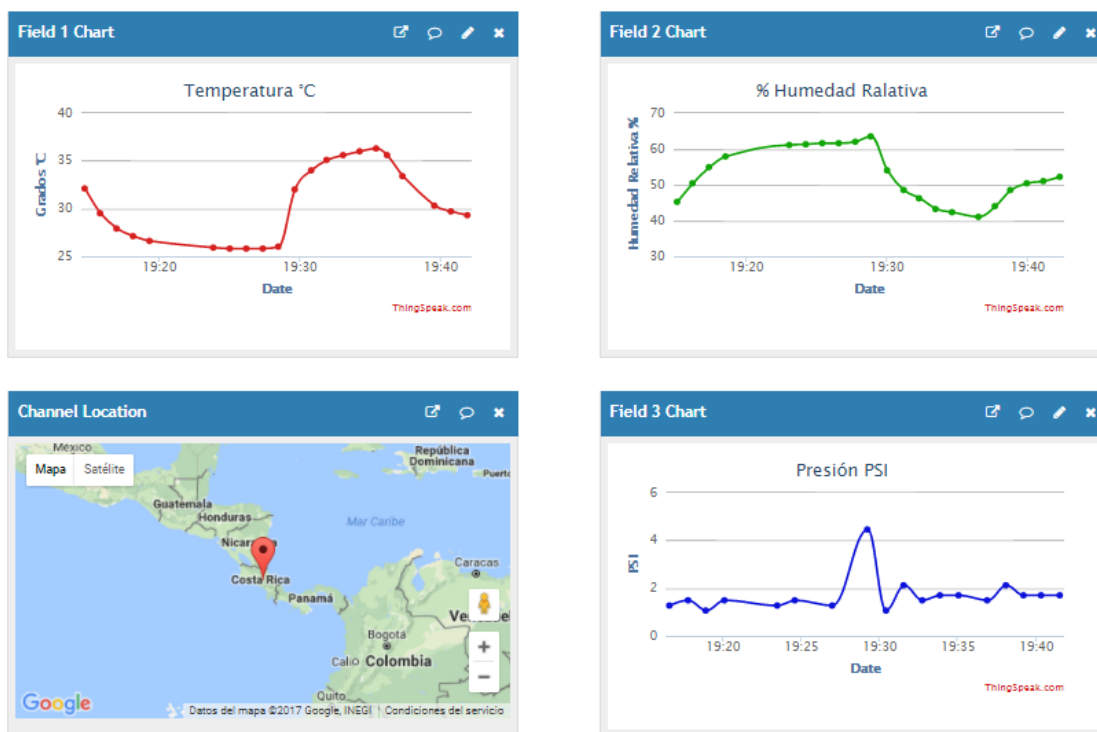
Figura 13. Plataforma ThingSpeak



Fuente: Elaborado por el autor

Esta herramienta nos permite desarrollar de una manera simple una aplicación visual donde se muestren los datos entregados por los dispositivos implementados para tal fin, así como también ofrece aplicaciones que permiten analizar y visualizar datos en MATLAB y tomar acciones sobre los datos recopilados.

Figura 14. Datos plataforma ThingSpeak



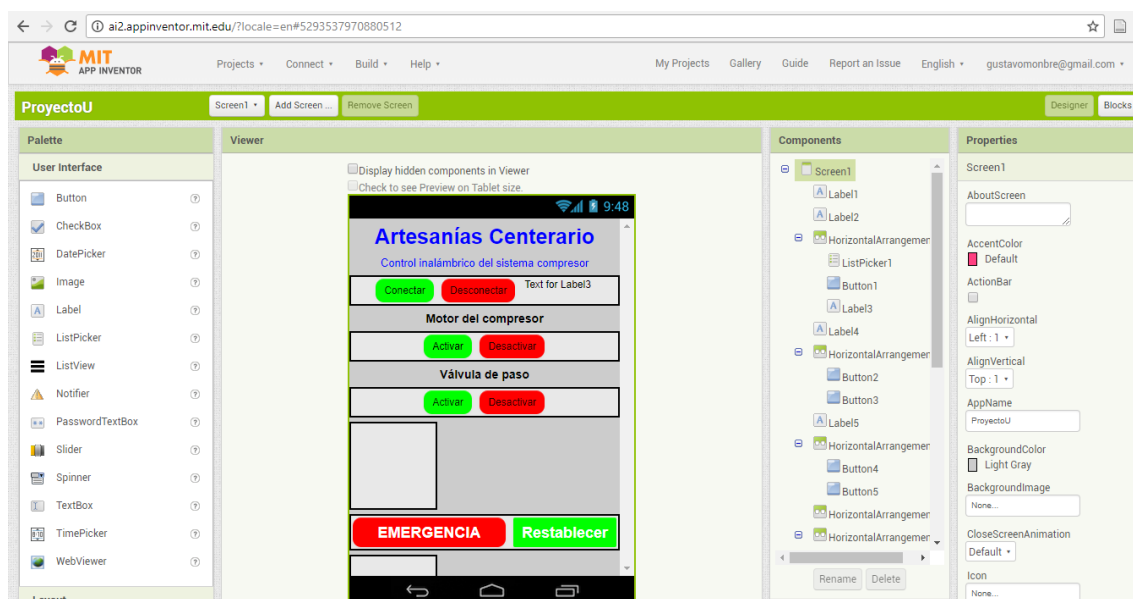
Fuente: Elaborado por el autor

2.1.10.2 App inventor

App inventor es una aplicación creada originalmente por Google y desarrollada por el MIT, la cual permite a personas con conocimientos mínimos de programación crear aplicaciones de software para el SO Android para dispositivos móviles.

Utiliza una interfaz gráfica en la cual el usuario puede interactuar con objetos visuales para crear una aplicación, sin la necesidad de escribir algún tipo de código, además de contar con un emulador, por lo que no es necesario contar con un teléfono inteligente para comprobar las aplicaciones a medida que se desarrollan.

Figura 15. Entorno de desarrollo App inventor



Fuente: Elaborado por el autor

Esta herramienta será utilizada en este proyecto con el fin de desarrollar una aplicación para teléfono inteligente que utilice un sistema operativo Android, desde donde sea posible controlar a distancia el sistema neumático de la fábrica, así como también permitir visualizar la información de los distintos parámetros a los que se les da seguimiento.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández Sampieri et al., 2014: “La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema” (p.4). Cada investigación se puede clasificar en varios aspectos según su aplicación, objeto de estudio o medición; que determinan el tipo de estudio que se lleva a cabo; los cuales se explican a continuación.

3.1.1 Finalidad

La finalidad se refiere al método de investigación de esta y a la forma en que se recopila la información, las cuales según Muñoz, 2011 define una investigación teórica como:

... trabajos cuyo método de investigación se concentra exclusivamente en la recopilación de datos de fuentes documentales, ya sea de libros, textos, sitios Web o cualquier otro tipo de documentos gráficos, icnográficos y electrónicos. Su único propósito es obtener antecedentes documentales para profundizar en teorías, leyes, conceptos y aportaciones ya existentes y asentados en documentos sobre el tema que es objeto de estudio, para luego complementar, refutar o derivar, en su caso, nuevos conocimientos. (p.14)

También es conocida como investigación pura o dogmática y básicamente su finalidad es formular nuevas teorías o modificar las ya existentes, pero sin contrastarlos con algún aspecto práctico.

Así también, (Muñoz, 2011) define la finalidad de campo o práctica como una investigación donde:

... se utilizan los métodos de investigación específicos para la disciplina de estudios y también se diseñan ciertas técnicas e instrumentos para recabar información en el medio donde interactúa el fenómeno bajo estudio. Para la tabulación y el análisis de la información obtenida, se utilizan métodos y técnicas estadístico-matemáticos que ayudan a concentrar, interpretar y obtener conclusiones formales, científicamente comprobadas. (p.14)

También es conocida como investigación empírica, básicamente lo que interesa al investigador utilizando este método son las consecuencias prácticas del desarrollo del proyecto.

Como tercer tipo de clasificación se encuentran las de finalidad combinada, de las cuales (Muñoz, 2011) explica:

Son tesis en cuyo método de recopilación y análisis de datos se conjunta la investigación documental con la de campo, con la finalidad de profundizar en el estudio del tema propuesto para tratar de cubrir todos los posibles ángulos de una exploración. Al aplicar ambos métodos se pretende consolidar los datos y los resultados obtenidos. (p.14)

El desarrollo de esta investigación se puede determinar que tiene una finalidad combinada, debido a que se realizará una revisión de la teoría referente al desarrollo del proyecto, como lo es el uso de los sistemas neumáticos en la

industria, las diferentes técnicas, herramientas y tecnologías existentes que van a ser implementadas en la investigación de campo.

3.1.2 Dimensión temporal

La dimensión temporal de una investigación hace referencia al periodo de tiempo en el que se recolecta la información para llevar a cabo la investigación. Hernández Sampieri et al., 2014, clasifica la dimensión temporal de una investigación no experimental en dos tipos: transversales o longitudinales.

Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede. (Hernández Sampieri et al., 2014, p.154)

Este diseño es aplicado cuando la investigación se centra en analizar una o varias variables en un momento específico o la relación entre varias variables en un punto determinado en el tiempo.

Para diseños longitudinales o evolutivas, Hernández Sampieri et al., 2014 establece que:

En ocasiones, el interés del investigador es analizar cambios al paso del tiempo en determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, o bien, de las relaciones entre éstas. Aún más, a veces ambos tipos de cambios. Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. (p.159)

Analizando los diseños expuestos anteriormente se determina que la presente investigación concuerda con el diseño de tipo transversal, ya que el periodo de tiempo para la implementación de este está definido durante el primer semestre del año 2018.

3.1.3 Marco

El marco de la investigación hace referencia a la extensión o impacto que tendrá el proyecto o tema en estudio, el cual se clasifica en tres diferentes niveles, mega, macro y micro:

- **Mega:** El marco mega de la investigación hace referencia a la industria en general, la cual para sus procesos y elaboración de productos utilizan diferentes sistemas alimentados por energía neumática.
- **Macro:** El nivel macro de la investigación corresponde de forma específica a la empresa donde se llevará a cabo este proyecto, la cual para este proyecto corresponde a la fábrica de impermeables GMQ, la cual utiliza tales sistemas neumáticos en sus distintas líneas de producción.
- **Micro:** Este corresponde al proceso específico que es objeto de estudio en la investigación, para este proyecto corresponde a la línea de producción de la fábrica de impermeables GMQ en la cual se lleva a cabo el proceso de vulcanización o sellado térmico de materiales textiles.

3.1.4 Naturaleza

Según sea la naturaleza de la investigación, (Hernández Sampieri et al., 2014), se clasifica en dos enfoques: cualitativos o cuantitativos, cada uno con sus propias características.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Hernández Sampieri et al., 2014, p.4)

Por otra parte, se afirma del enfoque cualitativo:

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más

importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio. (Hernández Sampieri et al., 2014, p.7)

En este proyecto el enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo; ya que a partir de las diferentes mediciones, recolecciones de datos y experimentación con los diferentes sensores implementados, se analizará el comportamiento de un sistema, con la finalidad de monitorear su funcionamiento y tomar decisiones según sean de los datos obtenidos.

3.1.5 Carácter

El alcance o carácter que se le dé a una investigación es importante, pues de este depende la estrategia de la investigación; así como el diseño, los procedimientos, y demás componentes del proceso serán distintos según el estudio sea exploratorio, descriptivo, experimental, explicativo o correlacional. (Hernández Sampieri et al., 2014)

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas. (Hernández Sampieri et al., 2014, p.90)

Esta forma de investigación permite identificar características básicas de una determinada situación para abrir líneas de investigación posteriores adecuadas.

De acuerdo con Hernández Sampieri et al., 2014:

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (p.92)

En sí, un estudio descriptivo consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o individuo con objetivo de conocer su estructura y características. (Arias, 2012)

Asimismo, Hernández Sampieri et al., 2014 afirma que:

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. (p.95)

Es decir, este tipo de estudio busca establecer el porqué de los hechos mediante relaciones causa-efecto.

Para definir los estudios experimentales (Muñoz, 2011) escribe lo siguiente:

El objetivo de estas tesis es reproducir un fenómeno dentro de un ambiente específico de pruebas e ir modificando diferentes elementos para observar qué sucede con el fenómeno. Desde luego, todo esto se realiza mediante un método formal de investigación con manipulación de variables experimentales en condiciones rigurosamente controladas para simular las posibles condiciones a las que se enfrentará el objeto de estudio. (p.23)

Por su parte, los estudios correlaciones son los que asocian variables mediante un patrón predecible para el grupo o población que se estudia. Como menciona (Hernández Sampieri et al., 2014):

Los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. Pretenden responder a preguntas de investigación como las siguientes: ¿aumenta la autoestima de los pacientes conforme reciben una psicoterapia gestáltica? ¿A mayor variedad y autonomía en el trabajo corresponde mayor motivación intrínseca respecto de las tareas laborales? Todas en un contexto específico. (p.93)

Analizando los tipos de estudios anteriormente expuestos se puede definir que esta investigación tiene primeramente un carácter de tipo descriptivo, ya que se analizará la industria donde son utilizados los neumáticos, y más específicamente

analizar el ambiente en que este se implementa en la fábrica de impermeables GMQ para así interpretarlo y conocer sus procesos, características y variables.

De igual manera, la investigación cuenta con un enfoque experimental en el cual se desarrollará un prototipo de un dispositivo electrónico destinado al mejoramiento del sistema neumático para el proceso de sellado térmico de materiales en la fábrica de impermeables GMQ, el cual se expondrá a un conjunto de pruebas de campo para realizar ajustes o modificaciones de diseño, de manera que el producto final sea el óptimo.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información son aquellas de donde se obtiene y recopila la información encargada de fundamentar la investigación. Se hace una referencia a los diferentes elementos que permitan validar los resultados del proyecto, mediante la consulta y comparación de información de fuentes fiables y de calidad.

3.2.1 Fuentes primarias

Como lo indica Hernández Sampieri et al., 2014: “Las referencias o fuentes primarias proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes”(p.61). Ejemplos de estas fuentes primarias son documentos como estudios, encuestas, tesis, conferencias, entrevistas, entre otros.

Para la obtención de información de fuentes primarias de primera instancia para el desarrollo de este proyecto, se utilizarán diferentes herramientas de recopilación de información, tales como el método de observación y entrevistas dirigidas a los empleados de la empresa encargados de la manipulación y mantenimiento del sistema neumático. Así como también se implementarán distintas referencias bibliográficas que den sustento teórico a la investigación.

3.2.2 Fuentes secundarias

“Son compilaciones, resúmenes y listados de referencias publicadas en un área de conocimiento en particular (son listados de fuentes primarias), donde se mencionan y comentan brevemente artículos, libros, tesis, disertaciones y otros documentos relevantes” (Gómez, 2006, p.51).

Las fuentes secundarias de información son aquellas que contienen material que haya sido publicado previamente en fuentes primarias, de tal manera que esta es básicamente un análisis o comentario basado en una fuente primaria. Tales fuentes secundarias son válidas únicamente si son obtenidas de fuentes fidedignas como libros de texto, monografías, artículos, enciclopedias, entre otros.

De igual manera que las fuentes primarias, las secundarias son consultadas en este proyecto para poder dar validez y fundamento a la información, haciendo uso de documentos como libros de texto, documentos de internet, artículos de revistas, entre otros más.

3.2.3 Sujetos de información

Los sujetos de información hacen referencia a las personas relacionadas con el problema de investigación, las cuales son contactadas como fuente de información para el desarrollo del proyecto, así de esta forma se puede obtener información valiosa para el proyecto. Estas personas pueden ser empleados de la empresa, gerentes, expertos en el área de desarrollo del proyecto, entre otros.

Para la realización de esta investigación los sujetos de información corresponden al propietario de la fábrica donde se realizará la misma, así como los empleados encargados de la manipulación del sistema compresor; con los cuales se trabajarán diferentes herramientas de recolección de datos para la investigación.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

La recolección de datos es el acopio de la información en ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de análisis; en un estudio de enfoque cualitativo el instrumento recolector de información es el propio investigador, el cual no solamente analiza la información, sino que también mediante el empleo de diversos métodos es el responsable de recolectar los datos para la investigación. Tales métodos de indagación cualitativa no son estandarizados. Se pueden implementar diferentes herramientas como observación, entrevistas, encuentros o encuestas (Hernández Sampieri et al., 2014)

“La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento” (Arias, 2012, p.68)

Para la obtención de información valiosa durante el desarrollo de esta investigación se utilizarán distintas herramientas para la recolección de esta, tales como la aplicación de entrevistas, así como también se empleará el método de la observación del proceso a investigar. Tales métodos se describen a continuación.

3.3.1 Observación

“La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (Arias, 2012, p.69)

No consiste solamente en limitarse a ver un evento, sino que implica involucrarse en la situación de estudio y mantener un papel activo dentro de esta, así como una reflexión permanente, prestando atención a los detalles, sucesos y eventos. (Hernández Sampieri et al., 2014)

La técnica de observación que se desarrollará en esta investigación será de participación activa, mediante la cual se obtendrá información del proceso que realiza la empresa donde se va a implementar el sistema compresor de aire, así como su funcionamiento, condiciones físicas y de operación, para así generar la

información requerida para el proyecto y estructurar la idea del dispositivo por desarrollar.

3.3.2 Entrevista

Una entrevista es una técnica de recolección de información basada en un diálogo “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado; con la cual se logra obtener la información requerida de un tema determinado. Este instrumento se caracteriza por su profundidad, ya que con él se puede indagar de manera más amplia sobre los diferentes aspectos o detalles de la investigación (Arias, 2012).

En una entrevista de tipo semiestructurada, esta se basa en una guía o lista de preguntas donde el entrevistador posee la libertad de formular preguntas adicionales conforme se desarrolle la entrevista, para de esta forma precisar conceptos y obtener información adicional. (Hernández Sampieri et al., 2014)

La entrevista para la recolección de información necesaria en esta investigación se realizará de manera semiestructurada, de tal forma que se entablará un diálogo con las personas involucradas en el proceso en estudio, para así realizar ciertas preguntas preestablecidas y de esta forma se irá estructurando la entrevista conforme avanza el trabajo de campo, ya que su experiencia y conocimiento en el tema aportan datos de gran relevancia para la investigación, tanto para identificar la situación actual del proceso, así como los puntos relevantes que se desean mejorar, desarrollar o modificar.

3.4 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Cuando se hace referencia a una variable se habla de una propiedad que tiende a sufrir cambios que pueden medirse u observarse. “Una variable es una característica o cualidad, magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control de una investigación” (Arias, 2012, p.57).

Por su parte (Hernández Sampieri et al., 2014) define las variables como:

una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. Ejemplos de variables son el género, la presión arterial, el atractivo físico, el aprendizaje de conceptos, la religión, la resistencia de un material, la masa, la personalidad autoritaria, la cultura fiscal y la exposición a una campaña de propaganda política. El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida. Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas. (p.105)

De acuerdo a lo anteriormente expuesto sobre las variables de una investigación, una forma simple de visualizar estas en el desarrollo del presente proyecto es mediante una tabla (Tabla 7), donde se identifica cada una de estas variables según sea el objetivo planteado.

Tabla 7. Variables de la investigación

Objetivo Específico	Variable	Definición
Identificar las necesidades y requerimientos específicos del sistema neumático en la fábrica.	Necesidades y requerimientos del sistema	Elementos a tomar en cuenta para mejoramiento del proceso actual
Estudiar las diferentes tecnologías existentes para elegir la que mejor se adapte al dispositivo que se quiere implementar.	La tecnología para el desarrollo del proyecto	La elección de los dispositivos y tecnologías ideales para el desarrollo del proyecto
Diseñar un prototipo para el control a distancia y lectura de parámetros del sistema.	Diseño del prototipo	Creación del diseño del dispositivo propuesto para el proyecto
Construir el prototipo del diseño propuesto para el control del sistema compresor de aire	Construcción del prototipo	Elaboración física del dispositivo a implementar
Evaluar la puesta en marcha del dispositivo, sus sistemas de control, recolección de datos, sistemas automáticos, y de alertas.	Resultados	Estudio de la implementación del dispositivo en las pruebas de campo efectuadas
Analizar el costo – beneficio de la implementación del proyecto propuesto	Viabilidad del proyecto	Evaluación de la rentabilidad de la implementación del proyecto

Fuente: Elaborado por el autor

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Trochim (2005), el diseño de la investigación “es el pegamento que mantiene el proyecto de investigación cohesionado. Un diseño es utilizado para estructurar la investigación, para mostrar cómo todas las partes principales del proyecto de investigación funcionan en conjunto con el objetivo de responder a las preguntas centrales de la investigación” (p.13).

Aquí es donde se muestra el proceso que conlleva todo el desarrollo de la investigación, las distintas etapas, procesos o fases, en las cuales se indica cuales herramientas y técnicas se aplican por cada etapa adicionalmente de los resultados que se esperan de cada una.

El diseño de la investigación es una planificación compendiada de lo que se debe hacer para lograr los objetivos del estudio, para esto se aplica una tabla (Tabla 8) donde se resumen los elementos de la investigación, logrando así tomar cohesión entre las etapas de esta, técnicas, herramientas, variables y objetivos del trabajo.

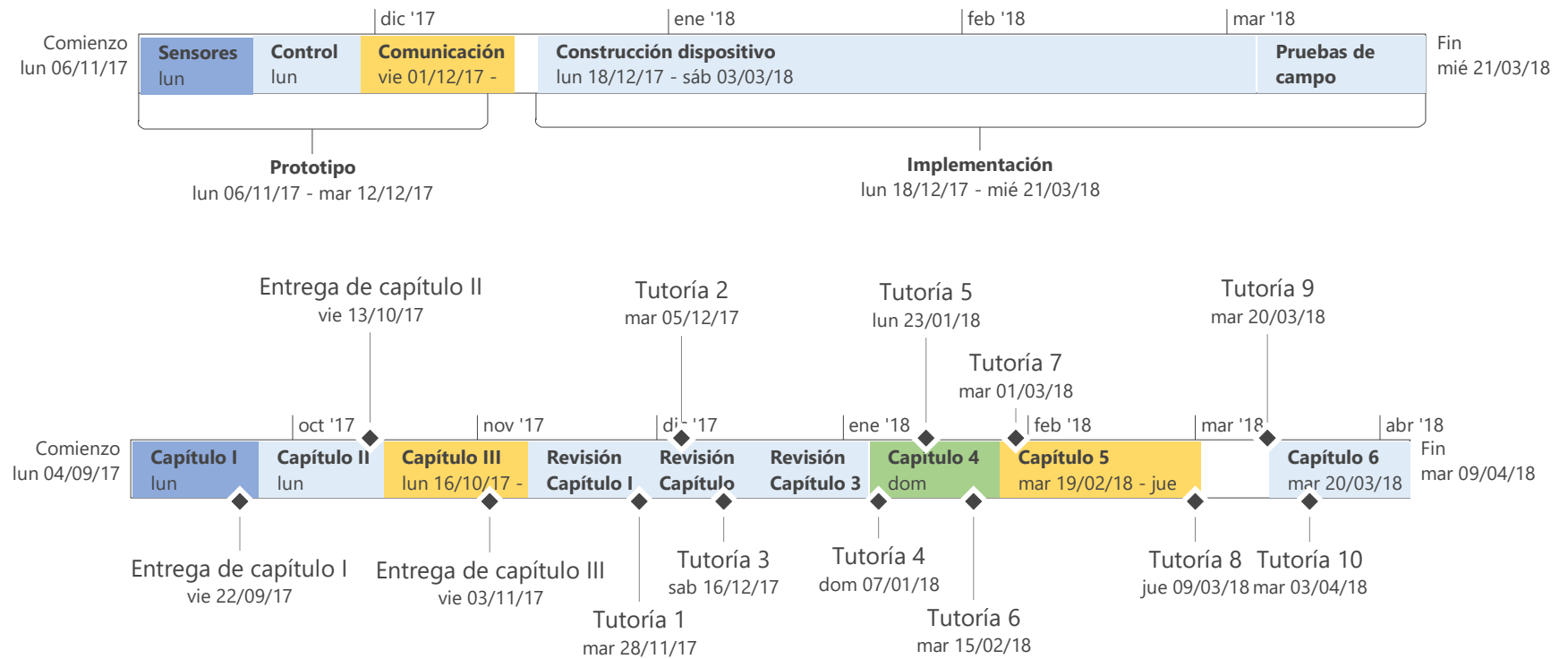
De igual manera para evidenciar el uso y el aprovechamiento del tiempo utilizado para la construcción, desarrollo, diseño y aplicación de esta investigación, tanto durante la construcción del dispositivo y su implementación, así como la redacción del documento escrito de esta, se desarrollaron dos cronogramas en los cuales es posible identificar la planificación utilizada en cada una de las etapas de esta investigación. Dichos diagramas pueden ser visualizados en la figura 16 y localizarse completos en los anexos dos y tres.

Tabla 8. Diseño de la investigación

Pregunta de la investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de investigación	Técnicas y herramientas
¿Cuál será la mejor manera de diseñar un dispositivo capaz de medir las variables presentes en el sistema de compresión de aire, y además a su vez permita controlar de forma remota la activación o detención de distintos elementos de control del compresor neumático y su línea de suministro, así como activar sistemas automáticos de control y fomentar un sistema de alertas ante situaciones anormales de operación, en el proceso de sellado térmico de materiales en la fábrica de impermeables GMQ durante el primer semestre del 2018?	Diseñar un instrumento de control y monitoreo de los parámetros para un sistema compresor neumático marca Campbell Hausfeld VT6195 y su línea de suministro para el proceso de vulcanización de textiles, mediante un dispositivo electrónico de control en la fábrica de impermeables GMQ, durante el primer semestre del 2018.	Identificar las necesidades y requerimientos específicos del sistema compresor de aire en la fábrica.	Necesidades y requerimientos del sistema	Método descriptivo	Observación Entrevista
		Estudiar las diferentes tecnologías existentes para elegir la que mejor se adapte al dispositivo que se quiere implementar	La tecnología para el desarrollo del proyecto	Método descriptivo	Observación Entrevista
		Diseñar un prototipo para el control a distancia y lectura de parámetros del sistema	Diseño del prototipo	Método experimental	Diseño experimental
		Construir el prototipo del diseño propuesto para el control del sistema compresor de aire	Construcción del prototipo	Método experimental	Diseño experimental
		Evaluar la puesta en marcha del dispositivo, sus sistemas de control, recolección de datos, sistemas automáticos, y de alertas	Resultados	Método experimental	Diseño experimental
		Analizar el costo – beneficio de la implementación del proyecto propuesto	Viabilidad del proyecto	Método experimental	Diseño experimental

Fuente: Elaborado por el autor

Figura 16. Escalas de tiempo planteadas



Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El sistema compresor de aire es utilizado en la fábrica de impermeables GMQ para alimentar una línea de producción que sella térmicamente diversos materiales textiles mediante maquinaria neumática, la cual es indispensable para elaborar gran cantidad de sus productos. Tal energía es proporcionada por un compresor Campbell Hausfeld VT6195 con capacidad de almacenamiento para 227 litros, el cual puede suministrar aproximadamente 280l/min de flujo de aire.

Dicho elemento compresor de aire tiene varias limitaciones y carencias para que su funcionamiento sea el adecuado; como ya se mencionó anteriormente debido a que tiene un gran tamaño, así como también la contaminación sonora que produce cuando su motor se encuentra en funcionamiento, el mismo se encuentra aislado en el exterior de la fábrica, dentro de un cuarto de máquinas sellado térmicamente, el cual está destinado solo para esta finalidad.

Este cuarto de máquinas está conformado por una estructura de concreto de aproximadamente 1m² de área, el cual se encuentra adaptado para contener el sistema compresor de aire y posee los elementos mínimos necesarios para su funcionamiento, como una instalación eléctrica específica, un suelo adaptado a los requerimientos del compresor, y una línea de aire según las necesidades de la fábrica; pero en su contraparte, este espacio tiene algunas carencias importantes, como lo es un elemento enfriador o extractor de aire que permita regular la temperatura y humedad del cuarto de máquinas, lo cual es de gran importancia ya

que es necesario mantener las condiciones de operación adecuadas para mejorar la vida útil del compresor neumático y demás componentes.

Uno de los principales enfoques de esta investigación corresponde a que el control del sistema compresor de aire se realice de una manera más eficiente, debido a que actualmente se ejecuta de una forma totalmente manual, lo cual implica que debe darse un desplazamiento del operario desde el interior de la fábrica hasta el cuarto de máquinas para poder manipular el mismo, ya sea para activar o desactivar este, o para regular el flujo de aire que es entregado a la máquina vulcanizadora, debido a que esto se efectúa mediante una llave de paso manual, tal como puede observarse en la siguiente figura.

Figura 17. Activación manual del compresor neumático



Fuente: Elaborado por el autor

Otro aspecto importante a tomar en consideración consiste en la visualización de las condiciones en las que se encuentra el sistema compresor de aire mientras se encuentra en operación, ya que es prácticamente imposible poder visualizarlo;

debido que al estar aislado y lejos de la máquina vulcanizadora el operador no tiene información alguna sobre tales condiciones, como lo es temperatura y humedad del cuarto de máquinas, así como la presión de aire que es entregada por el compresor. Actualmente, solo se implementa un manómetro analógico ubicado en la salida del tanque del compresor, algo que es de poca utilidad ya que como se mencionó se encuentra aislado.

Figura 18. Manómetro analógico actual



Fuente: Elaborado por el autor

Adicional a esto, en el proceso actual de la fábrica no se implementa ningún elemento que realice el registro de información sobre las condiciones de operación antes mencionadas, con el cual sea posible almacenar tales datos y permita establecer un registro continuo en el tiempo de estos, de esta forma será posible observar y analizar el desempeño del sistema compresor; lo que permitirá mantener un mejor monitoreo del sistema con el que sea posible detectar condiciones anómalas y prevenir daños significativos en el sistema compresor neumático.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Debido a que el enfoque del proyecto está dado hacia un problema específico en una industria, se optó por utilizar dos herramientas distintas para la recolección de información sobre tal situación en estudio, una de estas es el método de la observación, en donde se realizará una inspección general del proceso actual para así poder analizarlo y conocer sus características y requerimientos; así como también se hará una entrevista al responsable de la fábrica y al personal involucrado en el proceso, los cuales con su experiencia y conocimiento permitirán conocer el problema más a fondo.

4.2.1 Observación

Para el proceso de observación que se realizó en la fábrica de impermeables GMQ, específicamente en el proceso de sellado térmico de textiles, se desarrolló un check-list, con el cual se evaluaron las características y condiciones de los diferentes elementos que se deben tomar en cuenta en este proceso, tal documento puede localizarse completo en el anexo cuatro (Checklist de observación.pdf).

De las observaciones que se realizaron al espacio físico donde se ubica el compresor neumático se determinó que este no es el adecuado debido a que ese sitio está conformado por una estructura de concreto con dimensiones de aproximadamente 1m^2 , por lo cual se presentan algunas complicaciones para efectuar labores de mantenimiento necesarias para el buen funcionamiento del sistema. El acceso al mismo es restringido y solamente puede acceder el personal

de la fábrica; este espacio a pesar de contar con iluminación propia no posee los niveles adecuados de luminosidad para poder realizar los trabajos necesarios en esta zona.

Siendo el cuarto de máquinas una estructura pequeña y por el tipo de construcción que posee, se notó que no tiene una adecuada ventilación con el exterior, por lo cual la temperatura y humedad tienden a ser elevadas, más aún cuando el compresor de aire se encuentra en funcionamiento por prolongados periodos de tiempo; por esto es necesario mantener un monitoreo constante de estos parámetros para así poder regular las condiciones en las que se encuentra el compresor neumático, lo que permitirá evitar eventuales fallos ante daños por humedad o sobrecalentamiento y de esta forma aumentar su vida útil.

De igual manera, se realizaron observaciones a la instalación eléctrica con la que cuenta el compresor neumático. La misma es una línea monofásica de 220V que posee disyuntores termomagnéticos y diferenciales para la protección de las cargas conectadas a la línea eléctrica, así como su respectiva conexión a tierra. Se encuentra en buenas condiciones de operación y sus dispositivos de protección funcionan de manera adecuada.

Con respecto a las características físicas del compresor neumático se observó que este cuenta con un motor en buenas condiciones de funcionamiento, el cual tiene una potencia de 3.7 HP o 2.7kW, que se encarga de presurizar el aire en un tanque de gran capacidad de almacenamiento (60 gal), lo cual es de vital importancia ya que debe alimentar dos máquinas neumáticas y al tener estas

dimensiones evita que se presente el efecto “parpadeo”, que obliga al motor a estar en constante funcionamiento para mantener el rango de 120 PSI a 90 PSI, necesario para las líneas de producción de la fábrica. A su vez, la línea de aire que conecta el compresor con la maquinaria posee buenas prestaciones y cuenta con un filtro de impurezas, permitiendo que el aire entregado sea de buena calidad.

La instrumentación actualmente implementada en el sistema compresor para conocer sus variables es muy básica, ya que solamente se utiliza un manómetro analógico ubicado en la salida del tanque del compresor para cuantificar la presión dentro de este, igualmente para el control de la salida del flujo de aire únicamente se encuentra una llave de paso manual para realizar esta tarea; algo que es poco viable sabiendo que el compresor de aire se encuentra en el exterior de la fábrica.

Por esto, es necesario que se desarrolle un sistema que permita obtener datos de primera mano de las condiciones de operación y parámetros dentro del cuarto de máquinas mediante una red de diferentes sensores, así como la implementación de dispositivos modernos de control, con los cuales sea posible manipular de una mejor forma el sistema neumático; dotando así a la fábrica de un mejor control en sus procesos y darle un valor agregado a sus productos.

El mantenimiento que se da al sistema compresor es estricto al ser un elemento que realiza una función importante en los procesos de la fábrica; debido a esto se realizan trabajos de mantenimiento diarios como lo es el drenaje del tanque y chequeo del nivel de aceite; mensualmente se remplazan filtros de aire y

se limpian varios componentes; al igual que los mantenimientos trimestrales como el chequeo del funcionamiento del motor, así como el cambio de aceite. Todo esto debido al riguroso trabajo que desempeña el compresor, ya que se encuentra en funcionamiento por periodos aproximados de cuatro a seis horas diarias.

4.2.2 Entrevista

Para esta investigación se aplicó una entrevista semiestructurada de quince preguntas dirigidas al propietario de la fábrica de impermeables GMQ, quien debido a su conocimiento y experiencia sobre el tema en estudio permite conocer más a fondo este proceso, la entrevista desarrollada puede localizarse en el anexo cinco (Entrevista.pdf). De dicha entrevista se extrae la información más relevante y se muestra a continuación.

En la línea de producción el mecanismo que está más anuente a presentar fallas en su funcionamiento es el compresor neumático, ya que normalmente se mantiene en operación por prolongados periodos de tiempo, y así abastecer el suministro de aire presurizado correcto a dos maquinarias distintas; por lo que llega a presentar problemas de desgastes mecánicos o por las condiciones del ambiente donde se encuentra. Debido a esto, también es el elemento que requiere un mayor mantenimiento al tener que garantizar que su funcionamiento sea continuo o con interrupciones cortas para no afectar la operativa de la fábrica.

Entre los problemas que se presentan más comúnmente en la línea de producción se encuentran los fallos mecánicos u eléctricos en el compresor de aire, para los cuales se debe acudir a un especialista que ayude a solventar la

situación detectada; así como también frecuentemente se producen fallos cuando la presión suministrada a la máquina vulcanizadora no es la adecuada, debido a que esta maquinaria se configura a una temperatura determinada según sea el material textil con el que se trabaje y al no haber una relación adecuada entre estos parámetros el producto final no cumple con las requisitos de calidad deseados.

Anteriormente, se han presentado fallas de grandes proporciones en el compresor neumático, como lo fue un daño por corto circuito en los bobinados del motor eléctrico generado por el exceso de humedad del lugar donde se encuentra ubicado, lo que significó que aparte del costo de reparación de las partes dañadas, se presentaran importantes pérdidas económicas ya que por esta línea de producción se genera casi el 70% de los productos impermeables elaborados en la fábrica.

Teniendo en cuenta lo anterior, es de suma importancia incorporar un elemento que permita conocer y regular las condiciones en las que se encuentra el compresor neumático para así aumentar la protección y alargar su vida útil, y a la vez, se vean reducidos los costos y eventos de mantenimiento.

La manipulación actual del sistema se realiza de una forma manual, lo que impide que se tenga un control inmediato sobre el elemento compresor, provocando desde retrasos en la producción, hasta eventos donde se ve afectada la seguridad del personal, debido a situaciones de riesgo en los cuales deba

detenerse el sistema de forma inmediata, lo que es algo que actualmente no es posible de realizar sin la instrumentación y elementos de control adecuados.

El monitoreo de las condiciones de operación de los diferentes sistemas es de vital importancia ya que es fundamental observar cómo se desempeñan estos, más aún cuando existe una relación de dependencia entre varios elementos y sea necesario conocer y mantener el buen funcionamiento de los mismos. El compresor neumático es el dispositivo que requiere un mejor monitoreo de sus condiciones ya que actualmente se desconoce sus parámetros al estar en funcionamiento debido a su ubicación física.

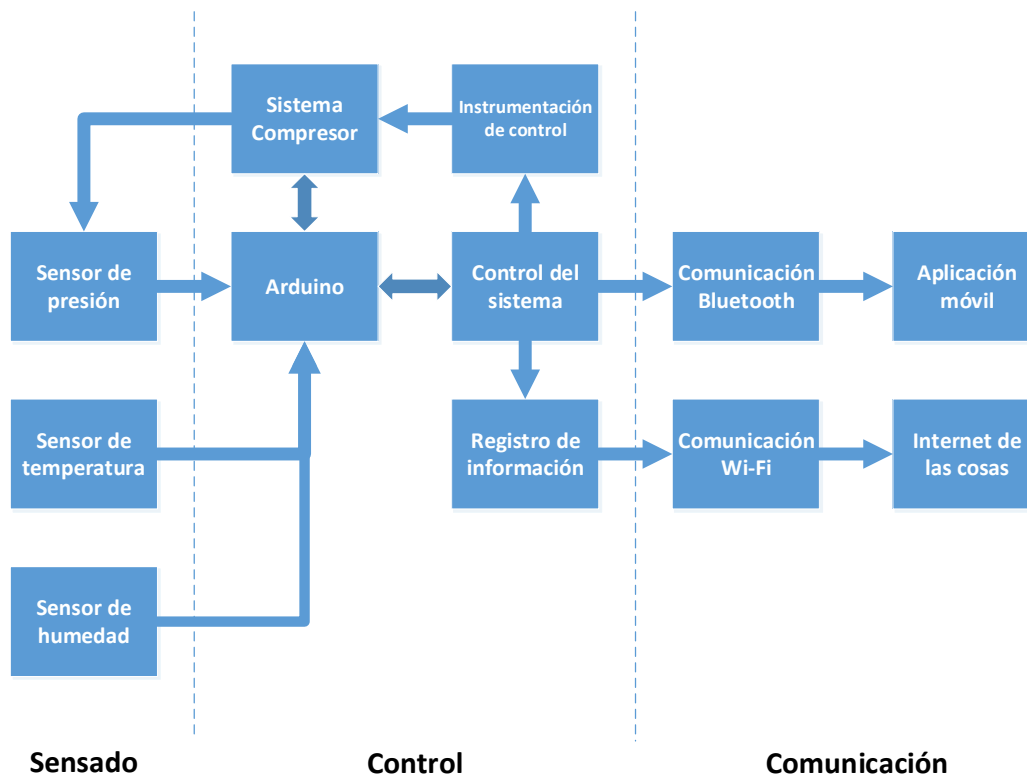
Es importante implementar un registro de información de las diferentes máquinas y sistemas de toda línea de producción en cualquier fábrica, ya que esto posibilita un análisis posterior y de forma remota de cada elemento para corroborar su adecuado funcionamiento, sin ser necesario esperar un evento de mal funcionamiento para detectar una falla, además de que brinda la facilidad de estudiar el desempeño de los sistemas para determinar brechas y ayudar a mejorar el proceso así como el rendimiento de la maquinaria involucrada.

En resumen, con la información obtenida se puede evidenciar la necesidad que tiene la fábrica impermeables GMQ en mejorar el control del sistema compresor neumático mediante nuevas herramientas de control ajustadas a sus necesidades, mediante un dispositivo electrónico moderno con el cual sea posible obtener un mayor desempeño del proceso en el que el sistema es implementado.

4.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO

En la figura 19 se muestra un diagrama de bloques en el cual se pueden apreciar las distintas etapas y elementos necesarios en el desarrollo del prototipo propuesto para el mejoramiento en el control del sistema neumático de la fábrica de impermeables GMQ, según se identificaron las deficiencias en el análisis del proceso actual de la línea de producción de interés.

Figura 19. Diagrama de bloques del prototipo propuesto



Fuente: Elaborado por el autor

Mediante la implementación de varios sensores se van a cuantificar las variables más significativas del proceso que afectan directamente al compresor neumático, como lo son la temperatura y humedad a la que se encuentra

expuesto, así como también la presión suministrada a la maquinaria dentro de la fábrica; esta información captada por los sensores será procesada por el Arduino el cual establecerá los parámetros de funcionamiento según sea la información capturada.

Se implementará un sistema de control para el compresor neumático mediante el desarrollo de una aplicación para teléfonos inteligentes que empleen Android como sistema operativo, la cual utilizará una comunicación vía Bluetooth para establecer una comunicación entre esta y el Arduino, este último procesará la información enviada por el usuario desde la aplicación móvil y ejecutará las señales necesarias para interactuar con los diferentes actuadores e instrumentación de control. En esta aplicación, también será posible visualizar la información captada por los sensores, lo que permitirá al usuario conocer estos datos de una forma más fácil.

En la etapa de registro de información el Arduino cuenta con un módulo de comunicación Wi-Fi, el cual es configurado a una red inalámbrica cercana permitiendo de esta forma el envío de información de los parámetros del sistema neumático a una plataforma web de IoT, con la cual es posible almacenar la información de la operación del sistema neumático para luego poder ser analizada; a la vez que esta comunicación Wi-Fi permite el envío de alertas por medio de correo electrónico cuando uno de los parámetros del sistema sobrepasa los valores preestablecidos de operación regular.

Con lo mencionado anteriormente se desarrollará un dispositivo electrónico que cumpla con los requerimientos necesarios para que el sistema compresor neumático de la fábrica de impermeables GMQ tenga un control y condiciones más eficientes sobre una línea de producción en específico; logrando de esta manera que se dé un mejor aprovechamiento de los recursos utilizados en la fábrica.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO


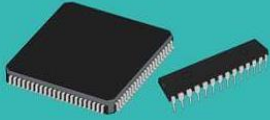



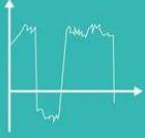
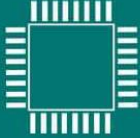

5.1 Descripción de la propuesta

En los capítulos anteriores, se ha analizado la problemática en una de las líneas de producción de la fábrica de impermeables GMQ. La línea es utilizada para realizar el proceso de sellado térmico de diversos materiales textiles, la cual presenta una importante falta de control y monitoreo necesarios para garantizar el buen funcionamiento, así como condiciones de operación adecuadas; es por esto que ante la información documentada se presenta la propuesta del dispositivo electrónico a desarrollar en este proyecto, sus etapas y características con adecuado nivel de detalle.

Es fundamental analizar cada una de las posibles tecnologías a utilizar en el desarrollo del proyecto, las cuales son los microprocesadores y los microcontroladores, debido a que estos elementos están conformados por los mismos componentes pero con diferencias en sus características, por lo cual es necesario conocerlos más detalladamente para distinguirlos entre sí.

En el caso de los microprocesadores debido a la arquitectura robusta con la que cuentan están destinados al procesamiento masivo de información; así mismo sus componentes como memorias RAM, ROM y periféricos se encuentran separados y deben integrarse de forma individual; por su parte, los microcontroladores son mayormente implementados para diversos procesos de control y sus elementos se encuentran integrados en un solo chip. Estas y otras características más se muestran en la figura 20 donde se clasifican sus aspectos más importantes.

Figura 20. Comparación de tecnologías

CARACTERÍSTICAS	 MICROPROCESADORES	 MICROCONTROLADORES
 VELOCIDAD DE OPERACIÓN	Su frecuencia de procesamiento es del orden de GHz	Su frecuencia de procesamiento es del orden de MHz
 ELEMENTOS NECESARIOS PARA SU FUNCIONAMIENTO	Normalmente el microprocesador opera en conjunto con una memoria RAM, ROM y un decodificador de direcciones dentro de lo que se conoce como microcomputador	El microcontrolador incluye prácticamente todos los elementos necesarios para operar en un solo circuito integrado por lo que únicamente es necesario energizarlos para funcionar
 COSTO	Debido a su arquitectura compleja su costo es elevado y aumenta aún más el requerir elementos adicionales para su funcionamiento	Por su arquitectura de bajo set de instrucciones y al requerir de pocos elementos adicionales su costo es bajo
 SUCEPTIBILIDAD A RUIDO ELECTROMAGNÉTICO	Posee mayor susceptibilidad al ruido electromagnético debido a su tamaño e interconexiones externas entre elementos	Presenta menor susceptibilidad al ruido electromagnético ya que sus elementos se encuentran dentro del mismo circuito integrado
 CPU	Su CPU posee una mayor potencia por lo que es ideal para el procesamiento de datos	Posee una capacidad de procesamiento menor que los microprocesadores
 MEMORIAS RAM Y ROM	Requiere de memorias RAM y ROM para su funcionamiento pero deben incorporarse como elementos adicionales	Las memorias son mucho más simples ya que se ubican dentro del mismo circuito integrado

Fuente: Elaborado por el autor

El uso de una tecnología u otra depende de la finalidad que se le vaya a dar, por eso para una aplicación en la que sea necesario monitorear algún elemento por medio de sensores o controlar algún proceso por medio de motores o actuadores, lo más conveniente es utilizar un microcontrolador. Por su parte, los microprocesadores están orientados a tareas que conllevan el manejo de un gran volumen de datos, una velocidad de procesamiento mayor, una interfaz gráfica o manejo de información a través de internet; aunque también es posible integrar ambas tecnologías de ser necesario.

El dispositivo planteado utiliza un microcontrolador Arduino como elemento principal, el cual es el encargado de recibir y analizar la información proveniente de los diferentes sensores, los cuales son necesarios para cuantificar la humedad y temperatura del ambiente del sistema compresor, así como la presión de aire dentro de este, la cual es suministrada a la maquinaria correspondiente.

A su vez el microcontrolador gobierna el sistema compresor mediante distintos actuadores que se encargan de regular las condiciones como opera: el flujo de aire comprimido en la línea de abastecimiento o la energización del motor del compresor. Todo se realizará por medio de una aplicación para teléfonos móviles que permite al operario interactuar desde el interior de la fábrica con el sistema, permitiendo de esta forma tener un mejor control sobre este y de igual forma conocer las condiciones de su funcionamiento.

5.2 Diseño y construcción del prototipo

En este apartado se detalla el proceso de diseño y construcción del prototipo del proyecto, para lo cual se analizan las características y funcionamiento de cada una de las partes del mismo, así como las razones de su selección para ser implementados en el proyecto.

La construcción del prototipo se realizará mediante una serie de diferentes etapas de sensado, comunicación y control, que en forma individual cuentan con características de diseño y funcionamiento distintas; las cuales de manera conjunta componen el prototipo creado, tales etapas se presentan a continuación.

5.2.1 Etapa de sensado

La etapa de sensado se encarga de medir las principales variables que afectan directamente el sistema compresor neumático como lo son la temperatura y humedad presentes en el cuarto de máquinas, al igual que la presión del aire comprimido que es suministrado. A continuación se expone como son medidas estas variables y el elemento utilizado para tal fin.

5.2.1.1 Sensor de temperatura y humedad DHT-22

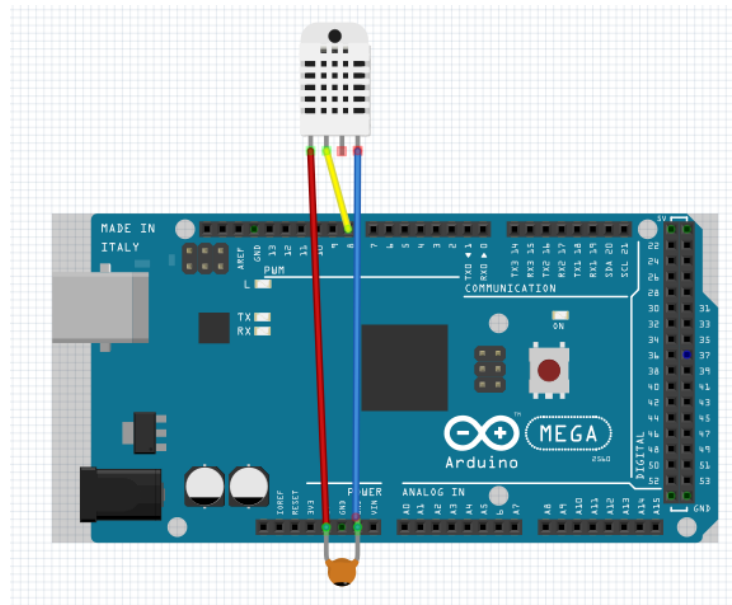
El sensor DHT-22 permite monitorear la temperatura y humedad relativa de un ambiente de forma sencilla y precisa por medio de un microcontrolador, ya que utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante y muestra los valores mediante una señal digital en el pin de datos.

El rango de medición de temperatura es de -40°C hasta 80°C con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$; por su parte, el rango de humedad relativa sensada varía de 0% a un 100% RH con precisión de $\pm 2\%$ RH; lo que lo hace idóneo para la aplicación en este proyecto. En el anexo seis (DHT-22 Hoja de datos.pdf) puede encontrarse la hoja de datos del sensor con toda la información referente a este.

Dicho sensor es colocado dentro del cuarto máquinas donde se ubica el sistema compresor para realizar las correspondientes mediciones del nivel de humedad y temperatura que mantiene, debe tener una colocación estratégica donde no pueda ser afectado por un medio externo como corrientes de aire o expuesto directamente a algún líquido o gas para garantizar que las mediciones no sean afectadas.

El hardware necesario para la implementación del sensor DHT-22 es sencillo, ya que la conexión eléctrica del sensor con el arduino es simple, como se muestra en la figura 21; el sensor utiliza un pin para el suministro de voltaje el cual es conectado al pin de alimentación de 5V del Arduino y su respectivo pin a tierra del circuito, que de igual manera es conectado a la tierra de la placa Arduino; un tercer pin del sensor es conectado a una entrada digital del microcontrolador la cual suministra la información sensada a este.

Figura 21. Hardware sensor DHT-22



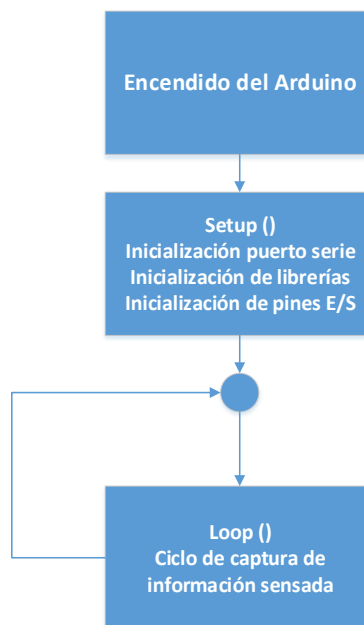
Fuente: Elaborado por el autor

Previamente al desarrollo del software de programación para la integración del sensor DHT-22 junto con el arduino se planteó el diagrama de flujo correspondiente a esta parte del proceso, este se puede observar en la figura 22; donde de forma inicial se define la parte del setup, en la que se configuran diferentes aspectos como una comunicación serial, se definen las librerías a utilizar, así como también la configuración de los pines necesarios como entradas o salidas digitales.

El ciclo permanente Loop es donde se envía la información del sensor hacia el microcontrolador mediante una trama de 40 bits enviada por el MCU del sensor, de los cuales 2 bytes corresponden a los datos de la medición de temperatura, otros 2 bytes para los datos de la humedad relativa y un byte final para

comprobación de errores; puede extraerse la información leyendo estas señales temporizadas o bien utilizarse una librería para simplificar el proceso. Una vez capturada la información de las variables se muestra el valor numérico de cada una en el puerto serial del Arduino, para luego repetir el proceso cada dos segundos el cual es el tiempo mínimo de envío de información del sensor DHT-22.

Figura 22. Diagrama de flujo del sensor DHT-22



Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 23 puede observarse parte del código de programación desarrollado para la implementación del sensor DHT-22 junto con el microcontrolador Arduino, en el cual se expone la configuración a nivel de software como librerías utilizadas para la lectura de los datos que entrega el sensor, las diferentes variables definidas, así como también los puertos destinados para

obtener la información de las variables de interés. Para facilitar su interpretación se expone un comentario en cada una de las líneas del código fuente.

Figura 23. Código fuente del sensor DHT-22

```

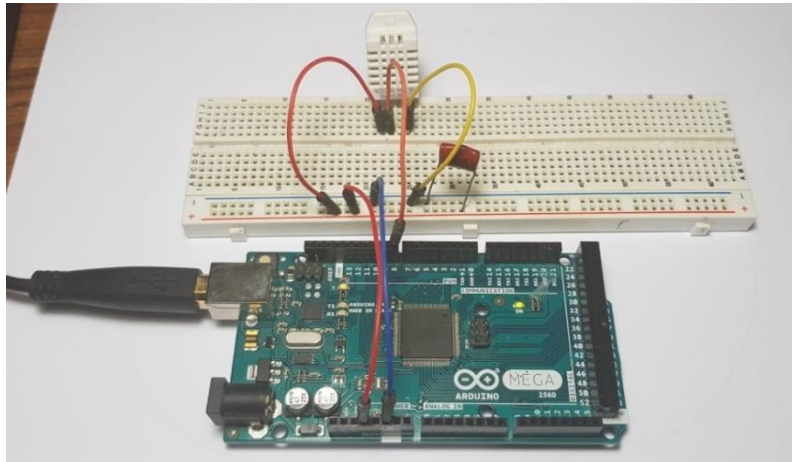
1.  /* SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT-22 */
2.  #include "DHT.h"           // Librería del sensor DHT22
3.  #define DHTPIN 8          // Pin digital utilizado
4.  #define DHTTYPE DHT22    // Tipo de sensor implementado
5.  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Se inicializa el sensor
6.
7.  void setup()
8.  {
9.    Serial.begin(9600);      // Velocidad del puerto serial
10.   Serial.println("DHT22 test!");
11.   dht.begin();
12. }
13.
14. void loop()
15. {
16.   delay(2000);             // Tiempo entre lecturas
17.   float h = dht.readHumidity(); // Lectura de humedad
18.   float t = dht.readTemperature(); // Lectura de temperatura en °C
19.   float f = dht.readTemperature(true); // Lectura de temperatura en °F
20.   if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f))
21.   {
22.     Serial.println("Error de lectura del sensor!"); // Comprob de errores
23.     return;
24.   }
25.   float hi = dht.computeHeatIndex(f, h);
26.   Serial.print("Humedad: ");
27.   Serial.print(h);        // Envío de información de humedad
28.   Serial.print(" %\t");
29.   Serial.print("Temperatura: ");
30.   Serial.print(t);        // Envío de información de temperatura
31.   Serial.print(" *C ");
32.   Serial.print(" %\n");
33. }

```

Fuente: Elaborado por el autor

Para efectos de evaluar el funcionamiento de la integración de la etapa de hardware junto con la de software se realizó un circuito de pruebas en protoboard, en el cual se realizaron varias mediciones en un ambiente controlado para poder determinar la veracidad y presión de los datos suministrados antes de implementarlo en pruebas de campo reales; en la figura 24 puede observarse el circuito desarrollado.

Figura 24. Circuito de pruebas del sensor DHT-22



Fuente: Elaborado por el autor

5.2.1.2 Sensor de presión de aleación acero-carbono

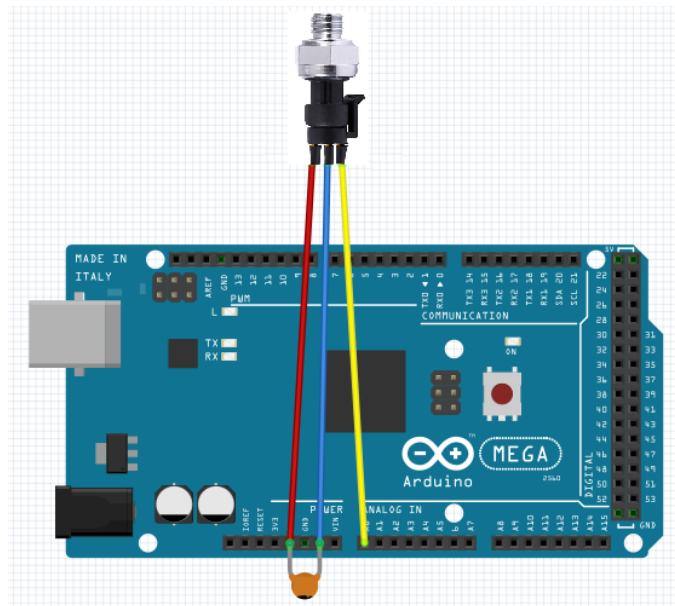
Este sensor permite realizar mediciones de la presión de aire que se encuentra contenida dentro del tanque del sistema compresor de la fábrica, la cual en condiciones normales de operación alcanza presiones de hasta 135 PSI; para realizar este proceso de sensado este dispositivo debe ser ubicado directamente en el cuerpo del tanque, el cual posee un acople cilíndrico con un diámetro de $\frac{3}{4}$ " específico para este fin.

El sensor utiliza como alimentación una fuente de voltaje DC de 5V, para proveer una señal analógica desde 0.5V para lecturas de presión bajas, hasta los 4,5V para medidas de presión superiores, con una sensibilidad de 1,2 mV/kPa; por lo cual es ideal para implementarse con las entradas de lecturas analógicas de un microprocesador como Arduino. Tales lecturas de la señal análoga pueden ser

mapeadas por medio de software de programación para establecer el valor numérico correspondiente a cada valor sensado.

La implementación del hardware necesario para el funcionamiento del sensor de presión se puede observar en la figura 25, donde el sensor cuenta con 3 pines disponibles: uno de ellos corresponde al pin de alimentación el cual debe ser energizado con 5V DC, otro pin es el de conexión a tierra del circuito, y el pin restante es el que suministra la señal analógica de voltaje variable al microprocesador que debe ser vinculado con una de las entradas analógicas del Arduino. Este dispositivo se debe colocar en la salida del tanque de almacenamiento del sistema compresor para así obtener una lectura directa de la presión de aire contenida en el interior de este.

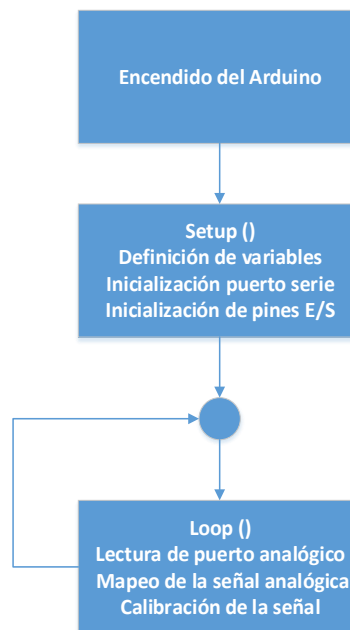
Figura 25. Hardware sensor de presión



Fuente: Elaborado por el autor

A nivel de la programación del microcontrolador para la implementación del sensor de presión se elaboró un diagrama de flujo que se puede observar en la siguiente figura, donde inicialmente en la etapa de setup se definen las variables a utilizar, así como la configuración de las entradas analógicas que se emplea para la lectura de los datos que proporciona el sensor y se establece una comunicación con el puerto serial del Arduino para la manipulación de la información obtenida.

Figura 26. Diagrama de flujo del sensor de presión



Fuente: Elaborado por el autor

Por su parte el ciclo de loop corresponde a un bucle donde es enviada la señal analógica hacia el microcontrolador, la cual es sometida a un proceso de mapeo para determinar el valor numérico de la variable medida según sea el valor de la tensión eléctrica suministrada por la señal del sensor. Luego de recibir esta información se debe realizar una calibración de la información sensada para lograr

reducir el grado de error de los datos obtenidos y así garantizar una mayor exactitud de las mediciones realizadas a la presión de aire contenida en el tanque de almacenamiento del compresor.

En el código fuente desarrollado para el sensor de la presión del sistema se puede visualizar en la figura 27, donde se aprecia las diferentes variables definidas, así como los puertos del Arduino utilizados para la recepción de la señal del sensor; de igual manera el proceso que se lleva a cabo desde la señal obtenida directamente del sensor hasta obtener un valor numérico para la cuantificación del parámetro en estudio.

Figura 27. Código fuente del sensor de presión

```

1.  /*PROGRAMACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN*/
2.
3.  int rawValue;           // Lectura del pin analógico
4.  int offset = 102;      // Valor mínimo de la presión (mapeo)
5.  int fullScale = 922;   // Valor máximo de la presión (mapeo)
6.  float pressure;       // Variable de presión en Pascales
7.  float PSI;           // Variable de presión en PSI
8.
9.  void setup()
10. {
11.   Serial.begin(9600);   // Inicialización del puerto serial
12. }
13.
14. void loop()
15. {
16.   rawValue = analogRead(A0); // Lectura analógica en el pin A0
17.   Serial.print("Raw A/D is ");
18.   Serial.print(rawValue); // Indica lectura de señal de entrada
19.   pressure = (rawValue - offset) * 1.2 / (fullScale - offset); // Mapeo
20.   PSI = (pressure * 1000000) / (6894.76); // Conversión a PSI
21.   Serial.print("La presión es: ");
22.   Serial.print(pressure, 3); // Valor final de la presión
23.   Serial.print(" MPa");
24.   Serial.print(" PSI: ");
25.   Serial.println(PSI, 3);
26.   delay(1000);
27. }

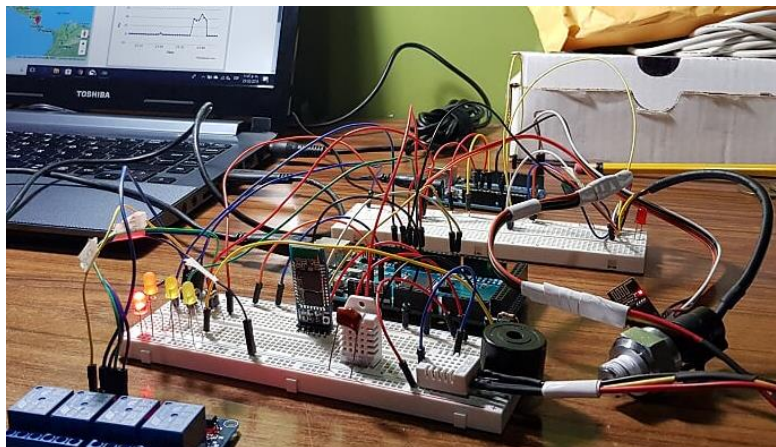
```

Fuente: Elaborado por el autor

Para obtener una medición de presión real se debe calibrar adecuadamente el sensor, para lo cual se determinan las lecturas mínimas y máximas que esta entrega, para de esta manera, realizar un ajuste en su configuración y así reducir el desfase existente entre la respuesta ideal con respecto a la respuesta actual del parámetro medido. Dicho ajuste puede observarse a nivel de software en la línea 19 del código mostrado en la figura anterior.

En la siguiente figura, se muestra el prototipo del circuito electrónico por medio del cual se efectuaron pruebas del funcionamiento del sensor de presión, para así poder analizar los resultados obtenidos y realizar las debidas calibraciones. Al ser el sensor un dispositivo que realiza mediciones de presiones mayores a la presión atmosférica, las pruebas se realizaron de forma directa en el sistema compresor de aire.

Figura 28. Circuito de pruebas del sensor de presión



Fuente: Elaborado por el autor

5.2.2 Etapa de comunicación

En la etapa de comunicación se configuran los elementos necesarios para el envío y recepción de información desde el microcontrolador hacia las diferentes interfaces implementadas que permiten al usuario del dispositivo conocer las condiciones de operación del sistema; así como también la comunicación necesaria para la activación de los diferentes elementos de control de una forma remota.

Para el desarrollo del dispositivo se incorporarán dos diferentes métodos de comunicación, los cuales tendrán un manejo de la información de forma independiente; una de estas corresponde a una comunicación Bluetooth la cual es implementada para establecer un enlace con un dispositivo móvil desde donde el usuario podrá visualizar la información del sistema compresor, a la vez que manipula los distintos instrumentos de control.

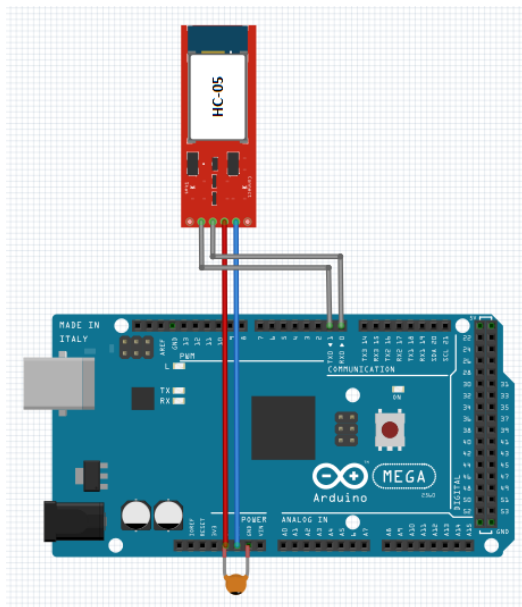
De igual manera, se emplea una comunicación a internet mediante el uso de una red Wi-Fi, por medio de la cual se realiza el envío de la información obtenida del sistema neumático a un servidor web de IoT, que permite tanto almacenar como analizar los datos extraídos. Ambos métodos usados para el manejo de información y los elementos requeridos para tal fin se exponen seguidamente.

5.2.2.1 Comunicación Bluetooth

Para diseñar e implementar una comunicación inalámbrica vía Bluetooth es utilizado un módulo HC-05, el cual permite establecer una comunicación punto a

punto entre el microcontrolador y el instrumento de control, que en este caso corresponde a un teléfono móvil, por medio de la cual el usuario del dispositivo es capaz de visualizar en una pantalla la información de los parámetros de operación del sistema compresor, así como también mediante la selección en un menú de opciones mostradas en pantalla es posible activar y desactivar los distintos actuadores que permiten regular la operación del sistema compresor.

Figura 29. Hardware del módulo HC-05



Fuente: Elaborado por el autor

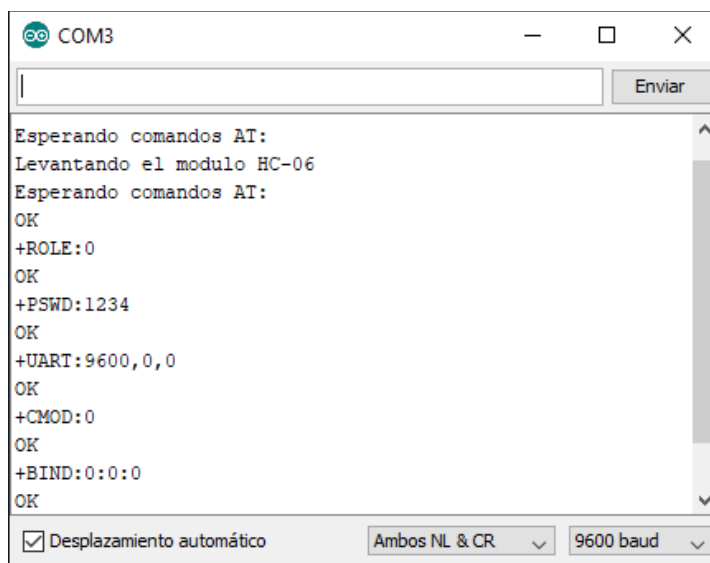
El hardware necesario para implementar una comunicación inalámbrica Bluetooth por medio del módulo HC-05 es simple, debido a que solamente es necesario establecer una conexión física directa desde el módulo hacia el Arduino.

Como se puede apreciar en la figura anterior, el dispositivo cuenta con un pin de alimentación el cual requiere una tensión de 3.6V a 6V para funcionar, además

de tener dos pines destinados para la transmisión y recepción de datos (Tx y Rx), los cuales deben ser vinculados con los pines del puerto serie del Arduino, ya que el módulo requiere este puerto para entablar la comunicación.

El módulo HC-05 es configurado inicialmente mediante una serie de comandos AT donde se especifican diferentes parámetros de funcionamiento como rol que desempeña (maestro / esclavo), velocidad de operación, contraseña de acceso, entre otras, con lo cual únicamente es necesario configurar el módulo HC-05 una única vez, de modo que para enviar o recibir información a través de este solo será necesario establecer una instrucción mediante software para habilitar el puerto serie del Arduino. Dicha configuración se puede observar en la siguiente figura.

Figura 30. Configuración módulo HC-05 mediante comandos AT



The image shows a serial terminal window titled 'COM3'. The window contains a text input field at the top with an 'Enviar' button. Below the input field, the terminal displays the following text:

```
Esperando comandos AT:  
Levantando el modulo HC-06  
Esperando comandos AT:  
OK  
+ROLE:0  
OK  
+PSWD:1234  
OK  
+UART:9600,0,0  
OK  
+CMOD:0  
OK  
+BIND:0:0:0  
OK
```

At the bottom of the window, there are three controls: a checked checkbox for 'Desplazamiento automático', a dropdown menu set to 'Ambos NL & CR', and another dropdown menu set to '9600 baud'.

Fuente: Elaborado por el autor

El enlace por medio de Bluetooth funciona bajo un esquema maestro-esclavo, donde el dispositivo maestro establece una comunicación para el envío y recepción de información hasta el dispositivo esclavo, para esto el módulo HC-05 es configurado como elemento esclavo, el cual es accedido por el teléfono móvil para el manejo de datos a una velocidad de transferencia de 9600 Bd; a la vez que se configura una contraseña de seguridad para lograr vincular ambos dispositivos de manera correcta.

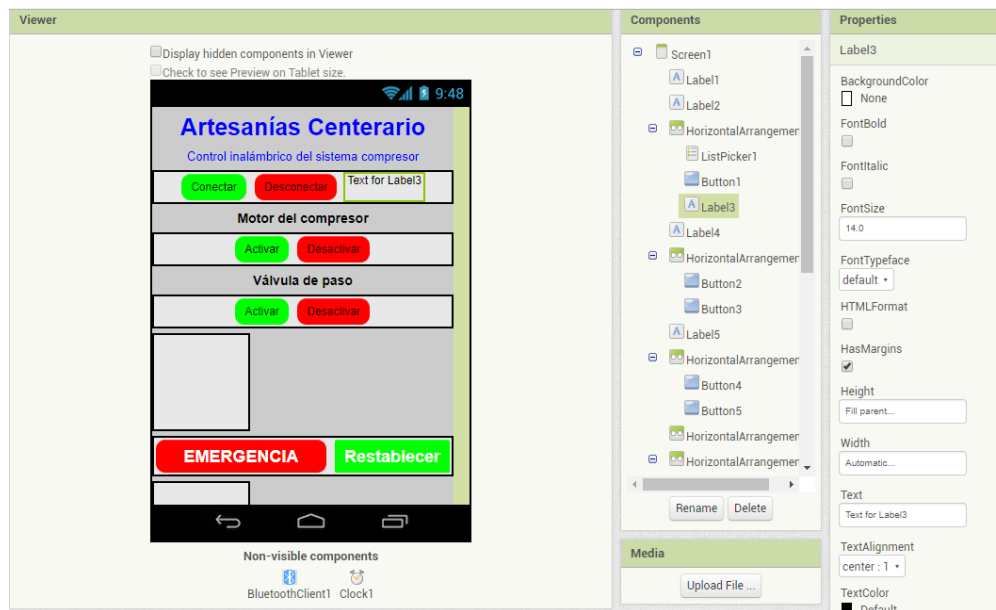
El desarrollo de la aplicación de control y monitoreo del sistema compresor se realizó mediante la herramienta de desarrollo visual App Inventor, la cual es un entorno de desarrollo de aplicaciones para dispositivos que utilicen sistema operativo Android.

Al construir las aplicaciones se debe trabajar con dos diferentes interfaces para la estructuración de la misma, la primera corresponde al App Inventor Designer, en el cual se desarrolla la interfaz de usuario, eligiendo y situando los elementos con los que interactuará el usuario y los componentes que utilizará la aplicación.

Como se muestra en la siguiente figura, en la creación de la interfaz de usuario de la aplicación a utilizar en este proyecto se incorporaron elementos con los cuales fuera posible manipular los distintos elementos que controlan el sistema compresor, como lo es la conexión al módulo central, la activación del motor eléctrico, la apertura de la línea de abastecimiento, un botón de parada de

emergencia; así como elementos que permitieran visualizar la información del sistema captada por los diferentes sensores.

Figura 31. App Inventor Designer

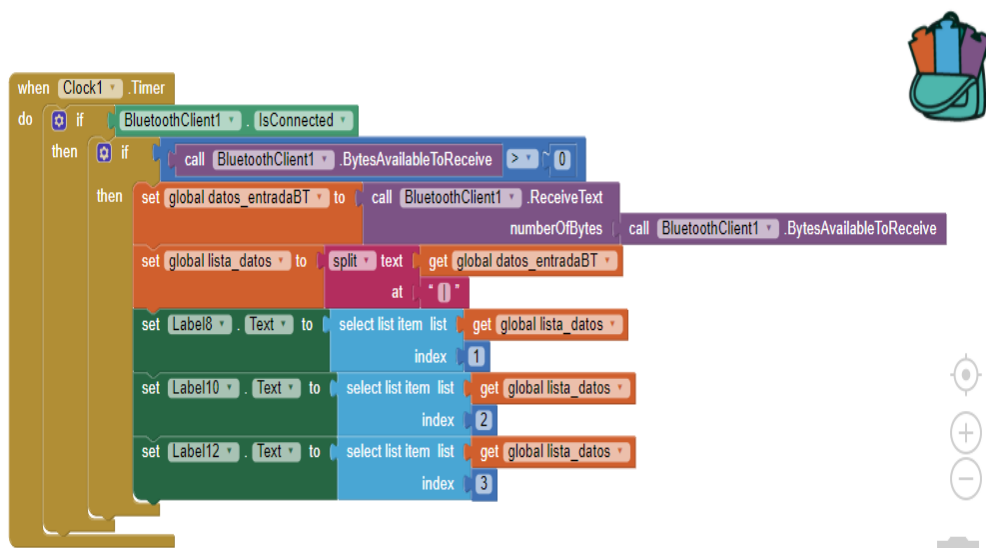


Fuente: Elaborado por el autor

La segunda interfaz con la que se debe trabajar para la creación de la aplicación corresponde al App Inventor Blocks Editor, por medio del cual se programa la aplicación mediante el enlace de diversos bloques que definen el comportamiento o acciones de los elementos de la aplicación sin necesidad de utilizar ningún lenguaje de programación para tal fin.

Parte de esta interfaz puede ser observada en la siguiente figura, así como también es posible observarse completa en el anexo siete (App inventor blocks editor.png).

Figura 32. App Inventor Blocks Editor



Fuente: Elaborado por el autor

Como se mencionó anteriormente para establecer una comunicación Bluetooth entre el módulo HC-05 y el dispositivo móvil que ejecuta la aplicación desarrollada, no se necesita configurar un código adicional en el microcontrolador para tal fin; solamente basta con habilitar el puerto de comunicación serial de este cuando sea requerido y así se podrán obtener los datos de entrada provenientes desde la aplicación, que dependiendo de este valor de entrada se ejecutará una acción correspondiente.

Un ejemplo de esto se puede ver en un extracto de software mostrado en la siguiente figura.

Figura 33. Configuración de la comunicación Bluetooth

```

1. void loop() {
2.
3.
4.   if (Serial.available()) //Si el puerto serie (Bluetooth) está disponible
5.   {
6.     valor = Serial.read(); //Lee el dato entrante vía Bluetooth
7.
8.     if (valor == 'A') //Si el dato que llega es una A
9.     {
10.      digitalWrite(motor, LOW);
11.    }
12.    if (valor == 'B') //Si el dato que llega es una B
13.    {
14.      digitalWrite(motor, HIGH);
15.    }
16.    if (valor == 'C') //Si el dato que llega es una C
17.    {
18.      digitalWrite(valvula, LOW);
19.    }
20.    if (valor == 'D') //Si el dato que llega es una D
21.    {
22.      digitalWrite(valvula, HIGH);
23.    }

```

Fuente: Elaborado por el autor

Las características y manual de uso de la aplicación desarrollada pueden ser observadas en el anexo ocho (Manual de usuario aplicación.pdf), así como se puede obtener el archivo instalador de esta en el anexo número nueve (Instalador de aplicación.apk).

5.2.2.2 Comunicación Wi-Fi

Uno de los más importantes alcances a lograr en este proyecto es la conexión del sistema compresor a un servidor de IoT por medio del cual es posible almacenar la información del sistema a la vez de poder ser monitoreada desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Para este fin, se utiliza un módulo de comunicación ESP8266, el cual cuenta con un chip integrado que permite establecer una conexión Wi-Fi compatible con el protocolo TCP/IP que brinda

acceso a internet a cualquier microcontrolador. En el anexo número diez (Hoja de datos ESP8266.pdf) se localiza la hoja de datos correspondiente a este dispositivo.

El hardware necesario para establecer una comunicación vía Wi-Fi se puede observar en la siguiente figura, donde como elemento principal es implementado el módulo ESP8266, el cual debe ser alimentado por una tensión no mayor de 3.6V ya que de lo contrario se dañaría el módulo.

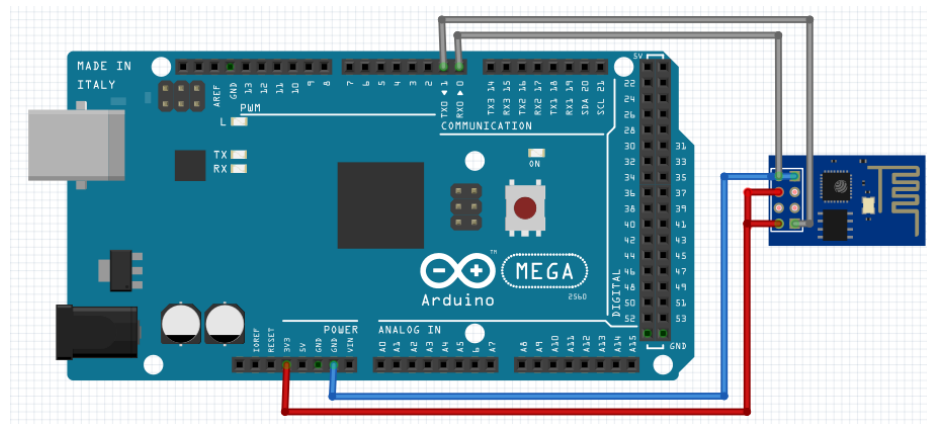
Por otra parte, el consumo del ESP8266 puede sobrepasar los 200mA durante la conexión o arranques, lo cual puede llegar a saturar el Arduino; por este motivo se realizaron pruebas a nivel de prototipo las cuales mostraron que el microcontrolador puede alimentar satisfactoriamente el módulo ESP8266 desde su regulador de 3.3V.

El ESP8266 posee un pin de arranque necesario para la habilitación del chip que controla el módulo, el cual de igual forma debe ser alimentado a una tensión máxima de 3.3V; finalmente para la comunicación del módulo con el microcontrolador mediante la utilización de un puerto serial de este, se emplean dos pines de Tx y Rx por medio de los cuales se establece una comunicación entre ambos dispositivos.

La velocidad de dicha comunicación puede configurarse en rangos de hasta 115200Bd, pero al utilizarse un microcontrolador de intermediario como es el caso del Arduino lo más adecuado es utilizar velocidades bajas para de esta forma

evitar que la conexión se vuelva inestable y se presenten errores en el flujo de datos.

Figura 34. Conexión del módulo ESP8266

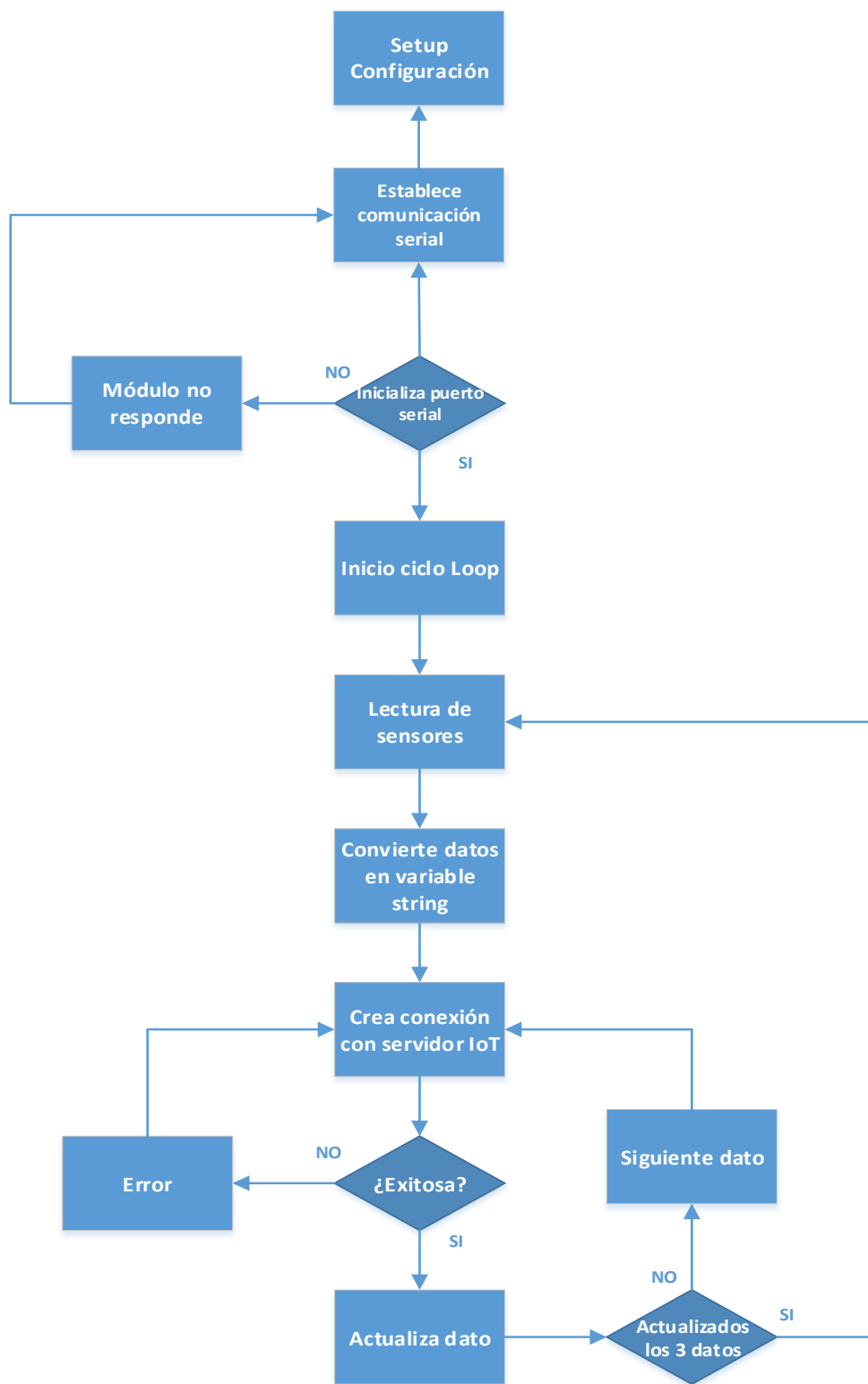


Fuente: Elaborado por el autor

Para poder interpretar de una mejor manera el desarrollo de la programación estructurada para incorporar una comunicación a internet haciendo uso del módulo Wi-Fi ESP8266, se planteó un diagrama de flujo que se muestra en la siguiente figura.

En ese diagrama se observa que de manera inicial se configura la parte del setup del código fuente, en el que se establecen el SSID de la red a utilizar, la contraseña de acceso a dicha red, así como se define la dirección IP del servidor de IoT que se utiliza, junto con sus API keys que permiten leer y almacenar los datos del sistema.

Figura 35. Diagrama de flujo de comunicación Wi-Fi



Fuente: Elaborado por el autor

Una vez configurado la comunicación Wi-Fi, el paso siguiente es inicializar el puerto serial del Arduino para que pueda establecerse una comunicación de este con el módulo Wi-Fi ESP8266, a una velocidad de transmisión de datos definida en 9600Bd; para lo cual se verifica dicha conexión mediante un comando AT definido y se evalúa la respuesta brindada por el puerto serial.

Posteriormente se inicia el ciclo Loop, el cual es un bucle que captura la información del sistema brindada por los diferentes sensores, estos datos son interpretados por el microcontrolador como datos con formato float o “de coma flotante” (números expresados con decimales); cuyos valores son convertidos en una variable tipo string, la cual es una cadena de datos con una longitud definida que facilita el manejo de información a través del puerto serial del Arduino.

Cuando ya se tiene la información con el formato requerido, el paso siguiente es establecer una conexión con el servidor web de IoT, para enviar los datos de cada una de las variables del sistema compresor; por lo cual al ser tres los parámetros de interés y cada uno de los datos es enviado de forma individual, es necesario que se establezcan la misma cantidad de conexiones con el servidor de IoT para actualizar cada uno de los parámetros. Una vez completado este proceso se procede a obtener las nuevas lecturas de los sensores y realizar de nuevo el procedimiento anterior para el flujo de la información hacia internet.

En la figura 36 se muestra parte del código fuente que fue desarrollado para la implementación de la comunicación hacia el servidor web de IoT haciendo uso de una red inalámbrica Wi-Fi.

Figura 36. Código fuente para comunicación a internet

```

1. /** Configuración red Wi-Fi**/
2. #define SSID "Famonbre"           // Nombre de la Red WiFi
3. #define PASS "Password1234"      // Contraseña de la Red Wifi
4. #define IP "184.106.153.149"     // ThingSpeak.com
5. String GET_TEMP = "GET /update?key=6KHNTZ4WZCS7RRK8&field1="; // API key
6. String GET_HUM = "GET /update?key=6KHNTZ4WZCS7RRK8&field2="; // API key
7. String GET_PRE = "GET /update?key=6KHNTZ4WZCS7RRK8&field3="; // API key
8.
9. void setup()
10. {
11. Serial.begin(9600);             // Se inicializa el puerto serial
12. Serial.setTimeout(3000);       // Set el Timeout en 3 segundos
13. Serial.println("AT\r");        // Prueba de comunicación
14. delay(2000);
15.
16. if(Serial.find("OK")){         // Verificar si Modulo Wifi responde
17.     if(!connectWiFi()){        // Conectarse a la red
18.         Serial.println("NO SE PUDO CONECTAR A RED WIFI");
19.     }
20. } else {
21.     Serial.println("MODULO WIFI NO RESPONDE");
22. }
23. }
24. void loop(){
25.
26. char bufferTemp[8]; //Crear buffer temporal para convertir float a string
27. String temperatura = dtostrf(t, 8, 3, bufferTemp);
28. updateTemp(temperatura);      // Actualizar dato de temperatura
29. digitalWrite(13,HIGH);
30. delay(16000);                 // 15s mínimo entre cada dato actualizado
31. }
32.
33. void updateTemp(String temp){
34.
35. String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\",\","; //Crear conexión TCP
36. cmd += IP;                     // IP del sitio a conectarse (ThingSpeak.com)
37. cmd += "\",80";                // Puerto (80)
38. Serial.println(cmd);           // Crear conexión
39. delay(2000);                   // 2s para respuesta
40. if(Serial.find("ERROR")){
41.     return;                     //No se pudo conectar
42. }
43.
44. temp.trim();
45. cmd = GET_TEMP;                //Crear datos a enviar
46. cmd += temp;                   //Agregar la temperatura leída
47. cmd += "\r\n";                 //Agregar caracteres de newline y carriage return
48. Serial.print("AT+CIPSEND="); //Indicar cuantos datos se enviaran por TCP
49. Serial.println(cmd.length()); //Tamaño de los datos a enviar por TCP
50. delay(2000);
51. if(Serial.find(">")){
52.     Serial.print(cmd);           //Enviar datos
53. }else{
54.     Serial.println("AT+CIPCLOSE"); // Cerrar conexion TCP
55. }
56. }

```

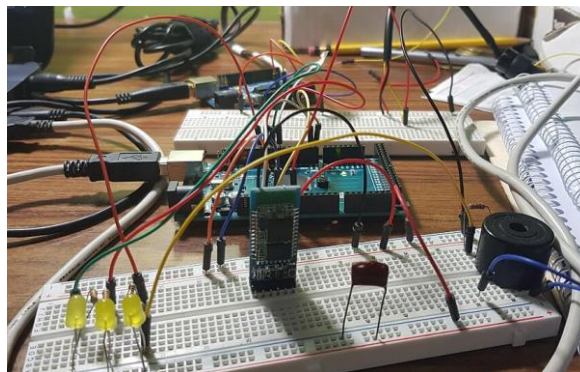
Fuente: Elaborado por el autor

En el software mostrado en la figura anterior se pueden observar las diferentes variables definidas para poder establecer una conexión con la red inalámbrica a utilizar, como también la dirección IP y API keys necesarias para comunicarse con el servidor de IoT, que en este caso se utiliza Thinspeak. Igualmente se muestra la configuración del puerto serial del Arduino con el módulo ESP8266 para iniciar la comunicación del microcontrolador hacia internet.

Una vez que se tiene el dato de la variable a enviar al servidor web se establece mediante el uso de comandos AT un enlace a este donde se especifica la dirección IP de destino y el puerto a utilizar para el envío del paquete de información, una vez exportada la información de interés se procede a finalizar la conexión con el servidor para luego repetir de nuevo este procedimiento y actualizar la información de una nueva variable.

En la siguiente figura se puede apreciar el circuito de pruebas desarrollado para realizar pruebas de funcionamiento de la etapa de comunicación del dispositivo.

Figura 37. Prototipo de etapa de comunicación



Fuente: Elaborado por el autor

La interfaz de programación de aplicaciones (API) utilizada para el manejo de datos del sistema compresor es la plataforma ThingSpeak, la cual permite almacenar, analizar, visualizar y actuar sobre la información recopilada por los diferentes sensores y dispositivos. Esta plataforma utiliza canales los cuales contienen los campos de datos que se quieren recopilar; para el uso en este proyecto se crearon tres diferentes canales, en los cuales se actualiza la información correspondiente a la temperatura, humedad y presión presente en el sistema.

Figura 38. Creación de canales en ThingSpeak

Channel Settings

Percentage complete 70%

Channel ID 317910

Name Control de sistema compresor neumático

Description Fábrica de impermeables GMQ

Field 1 Temperatura

Field 2 Humedad

Field 3 Presión

Fuente: Elaborado por el autor

Para cargar los datos de las variables captadas por los sensores a esta plataforma web será necesario definir la API Key asignada por ThingSpeak a cada canal dentro del software desarrollado e identificarla cada vez que se establezca una conexión con el servidor para el envío de información; un ejemplo de esto se puede apreciar en la figura 36, donde se definieron las diferentes API keys como

variables y al momento de establecer una conexión al servidor de IoT se identifica a cuál de los canales se debe cargar el valor medido según sea la variable que se cuantifica.

Una vez creados estos canales cada vez que se actualiza la información de cada variable en su respectivo canal, es almacenada y mostrada de forma gráfica (tal como se mostró anteriormente en la figura 14), con el fin de facilitar su interpretación y análisis; esta interfaz gráfica puede ser accedida desde cualquier dispositivo que cuente con una conexión a internet.

De igual manera, esta plataforma de IoT permite exportar un archivo que contiene el registro de los datos almacenados en cada uno de los canales creados, con lo que es posible estudiar los datos capturados por cada uno de los sensores implementados y analizar el ambiente y funcionamiento del sistema compresor. Un ejemplo de este archivo puede ser localizado en el anexo once (Registro del sistema compresor.csv).

5.2.3 Etapa de control

La finalidad del desarrollo de una etapa de control es sustituir al operario en el campo de actuación física directa y para ello se implementan distintos métodos y elementos de control que permiten tener un mejor manejo sobre el sistema compresor.

Esta etapa es el complemento de las otras dos etapas expuestas anteriormente, ya que son estos nuevos elementos de control los que ejecutan las acciones solicitadas por el operario mediante la aplicación móvil desarrollada, ya sea para la activación del motor eléctrico del compresor neumático o para regular el flujo de aire presurizado hacia el interior de la fábrica.

De la misma manera, ante situaciones donde los datos entregados por los sensores estén en un rango anormal, se activará un protocolo que permita detener el sistema por completo para que de esta forma se reduzcan las situaciones de alto riesgo y evitar posibles daños en los elementos del sistema.

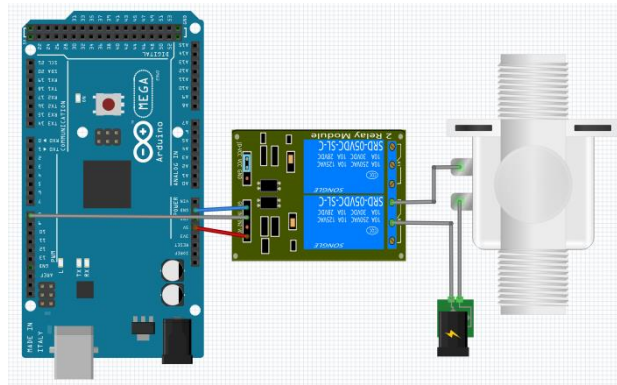
5.2.3.1 Control de la línea de aire presurizado

Como instrumento de control de la línea de abastecimiento de aire presurizado, encargada de transportar el aire a presión desde el tanque del compresor hasta la máquina vulcanizadora, se implementó una válvula de selenoide de tipo NC cuya bobina es energizada con 110V AC; esta válvula de uso industrial está compuesta de un cuerpo metálico ya que debe soportar presiones de hasta 135 PSI.

Para controlar la electroválvula mediante el microcontrolador es utilizado un módulo de relés electromagnéticos de 5V el cual es conmutado por medio de la activación de uno de los pines digitales del Arduino, permitiendo de esta forma activar y desactivar el circuito que alimenta el selenoide de la válvula. Este módulo de relé tiene integrado un opto acoplador con el cual se logra aislar físicamente el microcontrolador de los circuitos de mayor potencia.

En la siguiente figura, se puede observar el hardware necesario para el control de la electroválvula de paso de aire presurizado controlado por el microcontrolador Arduino y conmutada mediante un relé, la cual es alimentada por una fuente externa de 110V AC.

Figura 39. Circuito de control de la electroválvula



Fuente: Elaborado por el autor

A nivel de software para activar o desactivar la válvula de paso solamente es necesario activar una salida digital del microcontrolador, la cual conmuta el relé permitiendo el paso de energía eléctrica hacia el selenoide de la válvula; el software necesario para lograr esto se muestra en la siguiente figura.

Para la conmutación del relé se debe tomar en cuenta que su terminal NO (normalmente abierto) es activada cuando se le envía un cero lógico o lo que es lo mismo 0V y para desactivarlo se alimenta con un uno lógico que es una señal de 5V proveniente de un determinado pin del microcontrolador.

Figura 40. Software para la activación de la electroválvula

```
1. if (Serial.available()) //Si el puerto serie (Bluetooth) está disponible
2.   {
3.     valor = Serial.read(); //Lee el dato entrante vía Bluetooth
4.
5.     if (valor == 'A') //Si el dato que llega es una A
6.       {
7.         digitalWrite(valvula, LOW); //Enciende "válvula"
```

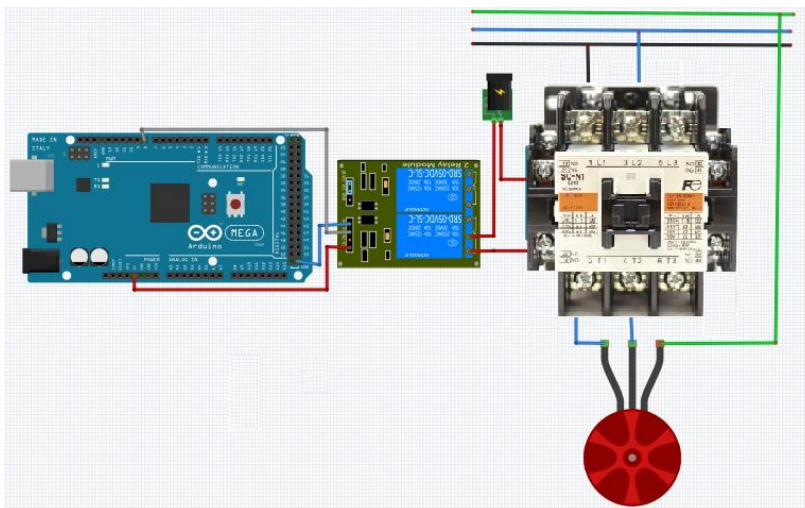
Fuente: Elaborado por el autor

5.2.3.2 Control del motor eléctrico del compresor de aire

Dado a que la potencia necesaria para la activación del motor del compresor neumático es equivalente a 2800W y con un consumo de corriente nominal de más de 15A, es necesario controlar este elemento mediante un contactor electromagnético, en este caso se incorporó un Chint Electric NC1-3210 que posee una bobina de 110V; con el cual sea posible establecer e interrumpir el flujo de energía hacia el motor.

Desde el microcontrolador es enviada una señal de 5V proveniente de uno de los pines digitales del Arduino, con la cual es conmutado un relé electromagnético, que este a su vez al ser activado energiza la bobina del contactor mediante una fuente de alimentación externa de 110V AC, con lo cual se enclava el contactor permitiendo el paso de energía entre las terminales, y de esta manera se pone en marcha el motor del sistema compresor, el que es necesario alimentar de forma independiente con una línea monofásica a una tensión de 220V AC. Dicho circuito puede ser observado en la siguiente figura.

Figura 41. Diagrama de control del motor eléctrico



Fuente: Elaborado por el autor

Al igual que como se explicó anteriormente en el control de la electroválvula, para conmutar el relé electromagnético que permite la energización de la bobina del contactor solamente basta con activar una de las salidas digitales del microcontrolador para dicho fin. Esto se logra enviando una señal desde la aplicación móvil desarrollada para el control del sistema compresor. A nivel de software esta función puede observarse en la siguiente figura.

Figura 42. Software para la activación del motor del compresor

```

1. if (Serial.available()) //Si el puerto serie (Bluetooth) está disponible
2. {
3.   valor = Serial.read(); //Lee el dato entrante vía Bluetooth
4.
5.   if (valor == 'A') //Si el dato que llega es una A
6.   {
7.     digitalWrite(motor, LOW); // Enciende motor

```

Fuente: Elaborado por el autor

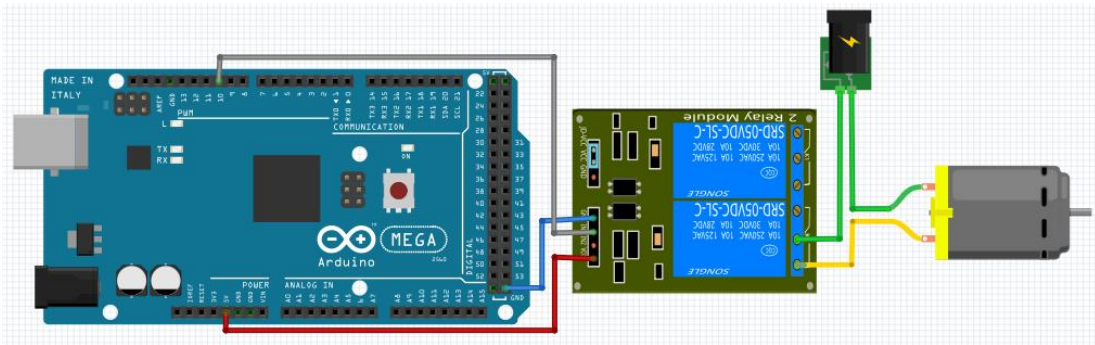
5.2.3.3 Control a nivel de software

Para el control del sistema compresor fueron desarrollados varios sistemas de control automatizados para los cuales no es necesario que medie la operación manual o a distancia del operario del sistema en la fábrica.

Uno de estos sistemas automáticos mencionados corresponde al control del extractor de aire, el cual con su activación se encarga de regular la temperatura y humedad existentes dentro del cuarto de máquinas en el que se encuentra el compresor neumático; para esto se realizó una programación en el software del microcontrolador en la cual cuando la temperatura captada por los sensores alcance un valor mayor a 26°C, este entrará en funcionamiento de forma autónoma. Al ser este valor de temperatura mayor a la temperatura ambiente habitual se puede interpretar que el sistema compresor se encuentra en operación, por lo cual es necesario mantener las condiciones reguladas para este.

Para la activación de este extractor de aire, solamente es necesario energizar el motor desde una fuente externa de 120V AC, lo cual es posible mediante la conmutación de uno de los relés del módulo ya implementado en el dispositivo. Tal activación del relé es llevada a cabo mediante uno de los pines digitales del Arduino, la cual se activa y/o desactiva automáticamente dependiendo del valor de la temperatura capturada. El circuito electrónico para esto se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 43. Circuito de activación del extractor de aire



Fuente: Elaborado por el autor

En cuanto al software necesario para la activación del relé electromecánico y por consiguiente, el motor del extractor de aire, como se puede ver en la figura 44, se debe establecer una condición con la cual se pueda mantener un “cero lógico” en la salida del microcontrolador mientras no sea alcanzado el valor establecido de 26°C, y cuando este valor sea igualado o superado se establezca un “uno lógico” en el pin digital destinado para tal fin.

Figura 44. Software de control automático del extractor de aire

```

1. int vent = 12;           // Variable vent "ventilación"
2. void setup() {
3.   pinMode(vent, OUTPUT); // Se declara como salida digital
4.   if (temperatura > 26){ // Condición para activación a 27°
5.     digitalWrite(vent, LOW); // Activar
6.   }
7.   else{
8.     digitalWrite(vent, HIGH); // Desactivar o mantener desactivado
9.   }

```

Fuente: Elaborado por el autor

Otro de los controles automatizados para el control del sistema compresor corresponde a la detención total del sistema compresor por motivos de seguridad, así cuando la temperatura alcance un valor igual o mayor a 35°C, se desactivará el motor del compresor neumático y se bloqueará la línea de abastecimiento de aire presurizado que alimenta la línea de producción para evitar posibles daños por sobrecalentamiento.

Por las mismas razones de seguridad del personal y garantizar las condiciones adecuadas del sistema compresor, se diseñó un protocolo de detención automática cuando la cantidad de aire presurizado contenida dentro del taque de almacenamiento sea mayor o igual a 135 PSI, ya que este es el valor máximo de presurización recomendada por el fabricante del compresor y un exceso de aire puede provocar desde daños en alguno de los componentes utilizados, hasta la explosión del tanque de almacenamiento; por lo cual se detendrá el motor de forma inmediata cuando sea alcanzado este valor, a la vez que la electroválvula de la línea de suministro se mantendrá habilitada para liberar el excedente de aire acumulado.

En el momento de alcanzarse alguna de las condiciones anteriormente mencionadas se activará tanto una alarma sonora en el dispositivo mediante un buzzer, así como una notificación, mediante correo electrónico a un destinatario predeterminado donde se informe de las condiciones anormales presentes en el sistema compresor. Durante el periodo que se mantengan estas condiciones adversas al funcionamiento adecuado, se mantendrá activado el extractor de aire para recuperar de una manera más rápida las condiciones adecuadas para el

sistema, así como se inhabilitará cualquier instrucción que sea enviada desde la aplicación móvil, hasta que el funcionamiento del sistema compresor se dé en condiciones normales. Un ejemplo de lo expuesto anteriormente puede observarse a nivel de software en la siguiente figura.

Figura 45. Software de detención automática

```

1. do{ // Bucle condicional
2.   /*Código de funcionamiento normal*/
3. }
4.   }while(temperatura < 35); // Valor de la condición
5.
6.   digitalWrite(emergencia, HIGH); // Activa "emergencia"
7.   digitalWrite(motor, HIGH); // Desactiva "motor"
8.   digitalWrite(valvula, HIGH); // Desactiva "válvula"
9.   delay(100);
10.  if (temperatura <= 35); // Condición de recuperación
11.  {
12.    digitalWrite(emergencia, LOW); // Desactiva "emergencia"
13.    digitalWrite(motor, HIGH); // Mantiene "motor" desactivado
14.    digitalWrite(valvula, HIGH); // Mantiene "válvula" desactivado
15.  }

```

Fuente: Elaborado por el autor

Una de las funcionalidades de la plataforma ThingSpeak es la de reacción, con la cual es posible ejecutar acciones de forma autónoma cuando los datos de un canal alcanzan ciertas condiciones definidas; esta reacción permite que ante mediciones que superen los parámetros normales de la temperatura, humedad o presión en el sistema compresor se envíe una alerta por medio de correo electrónico para notificar de forma inmediata sobre las condiciones de funcionamiento no tolerables.

Esta situación se presenta en la misma plataforma donde se selecciona el canal, los parámetros límites de este, así como el tipo de reacción a realizar

cuando se alcancen los valores definidos; ejemplo de esto se observa en la siguiente figura.

Figura 46. Reacción plataforma Thingspeak

The screenshot displays the Thingspeak React configuration interface. On the left, a table lists existing reacts:

Name	Created
Alerta de temperatura < 35°	2017-08-22
Alerta de humedad < 70%	2018-03-14
Alerta de presión < 135 PSI	2018-03-14

On the right, the configuration for the 'Alerta de temperatura < 35°' react is shown:

- React Name:** Alerta de temperatura < 35°
- Condition Type:** Numeric
- Test Frequency:** On Data Insertion
- Condition:** If channel: Control de sistema compresor neumático (317910)
- field:** 1 (Temperatura)
- Operator:** is greater than
- Value:** 35

Fuente: Elaborado por el autor

Como anteriormente fue mencionado, se establecieron valores máximos de operación de las variables medidas de temperatura y humedad en 35°C y 135 PSI respectivamente, con lo cual una vez alcanzado uno de estos límites se notificará una alerta de dicha condición vía correo electrónico a una dirección preestablecida.

Para efectos de la humedad contenida dentro del cuarto de máquinas donde está ubicado el sistema compresor, igualmente se estableció un valor límite de esta el cual corresponde a un 70% de humedad relativa, utilizando como referencia el estándar ANSI/ASHRAE 62-2001 donde establece que la calidad del aire en espacios habitables debe ser de un valor no mayor a 65%. Una vez sobrepasado este rango se procede a emitir una notificación mediante correo electrónico; con la diferencia que indiferentemente del valor obtenido el sistema

compresor no será detenido ya que esta no es una condición que provoca inconvenientes a corto plazo.

5.3 Implementación del dispositivo

El proceso de construcción y puesta en marcha del dispositivo se realizó según se planteó de manera gráfica en la figura 19 donde, se expusieron las diferentes etapas de sensado, control y comunicación del sistema compresor neumático, con las cuales de una manera unificada se logró la creación e implementación del dispositivo de control diseñado.

Haciendo uso de diversos sensores de temperatura y humedad relativa en el ambiente donde se encuentra el compresor neumático, así como un sensor que dimensione la cantidad de aire presurizado contenido en el tanque de almacenamiento, se obtiene la información de estos parámetros la cual es enviada al Arduino y así se logra crear una etapa de sensado de la información de operación y las condiciones presentes en el sistema.

Una vez obtenidos estos datos son enviados mediante un enlace Bluetooth desde el módulo HC-05, hasta un dispositivo móvil utilizado por el operario en la línea de producción, el cual cuenta con una aplicación desarrollada en parte para poder identificar en tiempo real los valores de las variables del sistema.

De igual forma la información sensada es enviada a un servidor web de IoT, de manera que es almacenada para poder realizar un posterior análisis del funcionamiento y comportamiento del sistema compresor. Tal información es

mostrada de forma gráfica para facilitar su análisis o también mediante un registro detallado para un estudio más a fondo; esto se logra mediante la implementación de un módulo WiFi ESP8266 vinculado a una red inalámbrica cercana.

Mediante la aplicación móvil desarrollada se logra manipular de una forma remota desde el menú de control los diferentes elementos actuadores, como el contactor, con el cual es posible energizar el motor eléctrico del compresor; así como también la electroválvula que regula el suministro de aire presurizado enviado a la maquinaria en el interior de la fábrica.

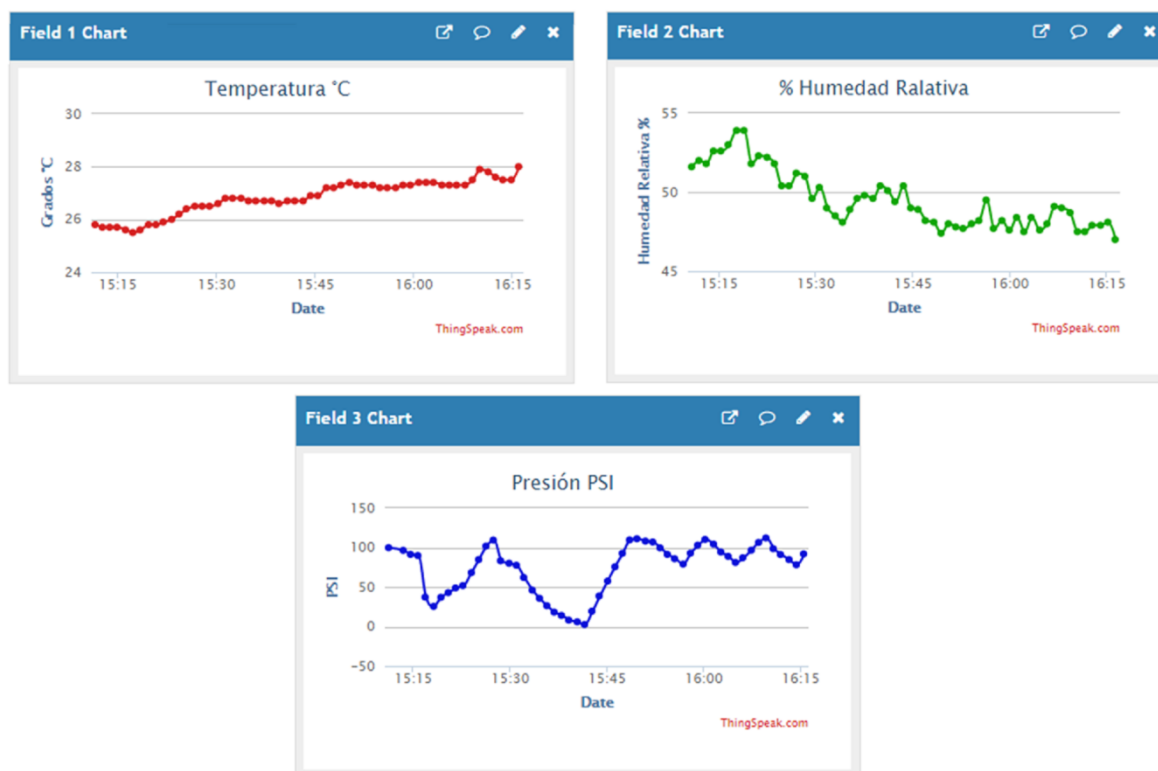
Con el diseño e implementación del dispositivo se incorporan nuevos controles automatizados buscando optimizar el desempeño del sistema compresor, como lo es la incorporación de un mecanismo de ventilación con el cual es posible regular la circulación de aire y mejorar las condiciones del ambiente donde se ubica el compresor de aire; esto de forma totalmente autónoma según sean las variaciones en la temperatura obtenida mediante el sensor de temperatura DHT-22.

Con el objetivo de lograr aumentar la seguridad tanto del sistema como del personal, en la fábrica fueron implementados varios protocolos de seguridad con los cuales se detendrá de forma automática el sistema compresor, ya sea ante un exceso de temperatura que puede provocar un sobrecalentamiento de este; o por una sobrecarga de aire en el depósito del compresor; con lo cual no se pondrá en marcha hasta no restablecer las condiciones normales de operación.

Mediante la puesta en marcha del dispositivo de control dentro de la línea de producción en la fábrica de impermeables GMQ, se obtuvo un registro continuo en

el tiempo de la información de las variables de interés, mediante el cual puede ser analizado el desempeño de este, tales datos son mostrados y analizados según la siguiente figura.

Figura 47. Información obtenida del sistema compresor



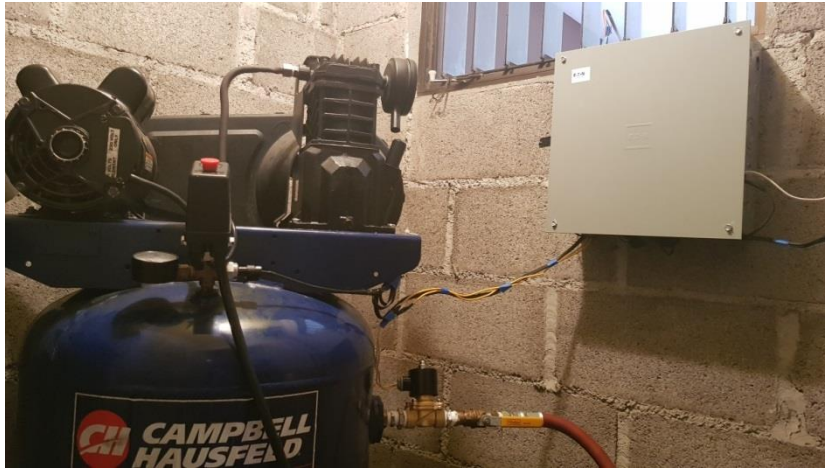
Fuente: Elaborado por el autor

En la información anterior se puede observar de una forma gráfica los datos enviados a la plataforma Thingspeak en el transcurso de una hora, en la cual estaba en funcionamiento el sistema compresor; allí se puede apreciar el aumento de la temperatura dentro del cuarto de máquinas y el descenso de la humedad, debido a la relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros, así como también es posible observar la presión contenida dentro del tanque de

almacenamiento de aire, el cual experimentó dos ciclos de descarga completa y posteriormente varios ciclos de funcionamiento normal de carga y descarga en este periodo de tiempo.

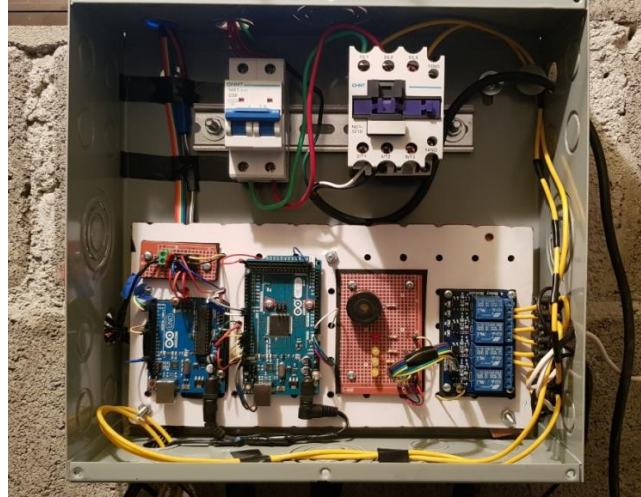
El montaje final del dispositivo diseñado, así como el diagrama electrónico del mismo se pueden visualizar en las siguientes figuras.

Figura 48. Implementación del dispositivo



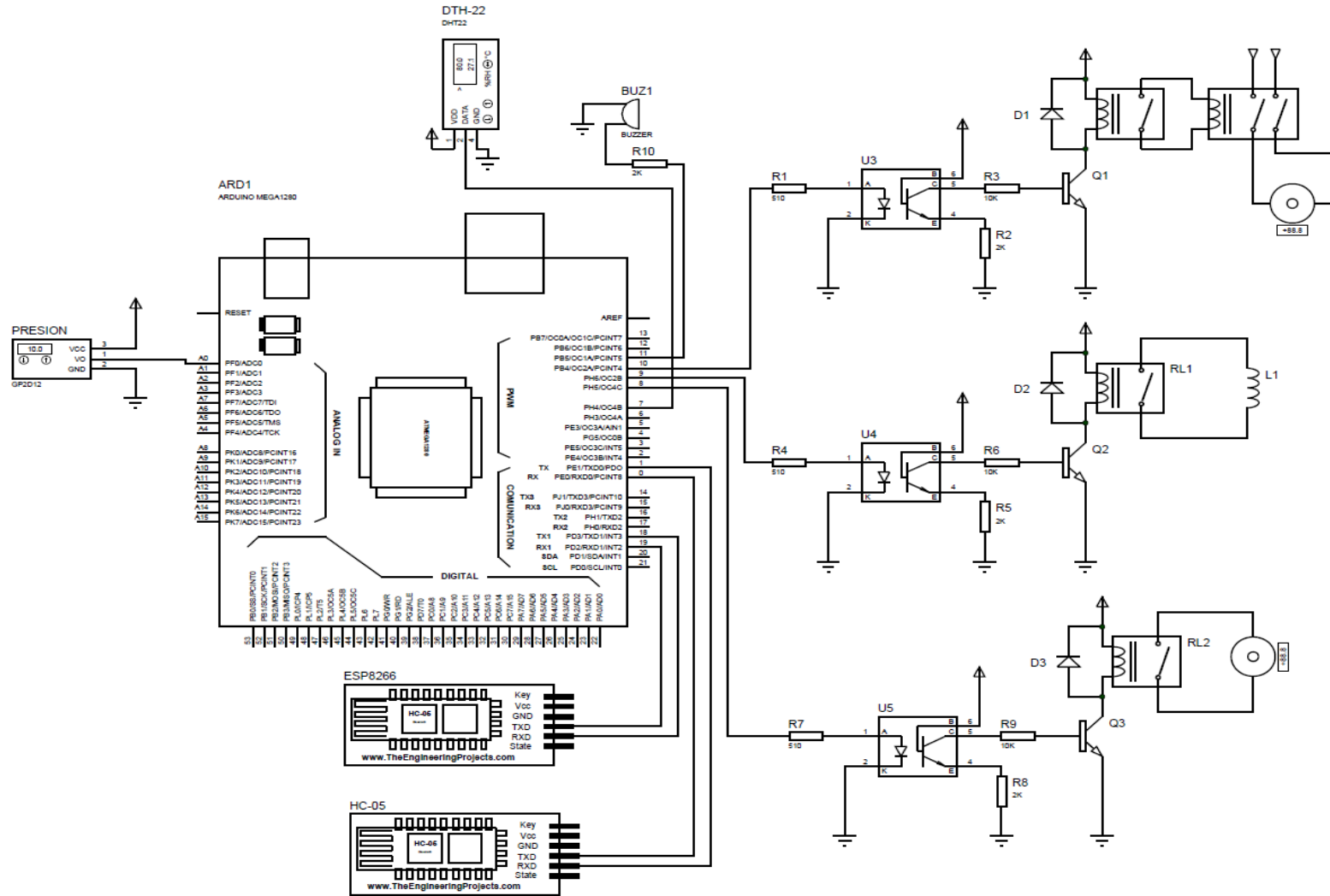
Fuente: Elaborado por el autor

Figura 49. Implementación del circuito de control



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 50. Diagrama electrónico del dispositivo



Fuente: Elaborado por el autor

5.4 Análisis de costos

En la siguiente tabla puede observarse el desglose de la inversión económica realizada para la compra de cada uno de los elementos necesarios para construir el dispositivo de control; la mayoría de estos componentes pueden encontrarse con facilidad en el mercado nacional, pero otros, deben ser importados debido a lo específico de su aplicación.

Tabla 9. Análisis de costos de materiales utilizados

Artículo	Precio unitario	Cantidad	Total
Arduino Mega 2650	₺ 23546.25	1	₺ 23546.25
Sensor DHT-22	₺ 5146.25	1	₺ 5146.25
Sensor de presión	₺ 31314.5	1	₺ 31314.5
Módulo de relés	₺ 3996.95	1	₺ 3996.95
Módulo HC-05	₺ 5146.25	1	₺ 5146.25
Módulo ESP8166	₺ 4575.25	1	₺ 4575.25
Contactador	₺ 19095.05	1	₺ 19095.05
Disyuntor eléctrico	₺ 3181.51	1	₺ 3181.51
Electroválvula	₺ 17715.75	1	₺ 17715.75
Regleta de cable	₺ 500	1	₺ 500
Cable	₺ 2500	1	₺ 2500
Chasis metálico	₺ 18141.59	1	₺ 18141.59
Riel DIN	₺ 3375.86	1	₺ 3375.86
Ferrobord	₺ 1870	1	₺ 1870
Buzzer	₺ 700	1	₺ 700
LED	₺ 200	4	₺ 800
Resistencias	₺ 25	5	₺ 125
Tornillos	₺ 150	10	₺ 1500
Adaptador DC	₺ 3000	1	₺ 3000
Total			₺ 146230.21

Fuente: Elaborado por el autor

De igual manera se deben contemplar los gastos correspondientes de diseño y construcción del dispositivo, para los cuales al realizar el cálculo de estos montos se toma como referencia el costo hora, honorarios y salario mínimo establecidos por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica en su última actualización.

La construcción del dispositivo se inició con una etapa de diseño, la cual contempla la planificación general del elemento de control y la escogencia de los diferentes elementos requeridos para su fabricación, así como la realización de la debida configuración del software que corresponde a las instrucciones cargadas en el microcontrolador. Posteriormente, se procedió con la construcción del dispositivo en el sitio a ser implementado, seguido de un periodo de pruebas en condiciones de operación normales.

En la Tabla 10 se muestran las diferentes actividades llevadas a cabo para realizar el diseño e implementación del proyecto, así como la cantidad de horas dedicadas a cada una de estas etapas, de igual forma se aprecia el costo total del proceso de diseño y ejecución del proyecto.

Tabla 10. Costos de implementación

Actividad	Costo por hora	Horas	Total
Diseño del dispositivo	₡ 2150	24	₡ 51600
Diseño de software	₡ 2150	16	₡ 34400
Construcción del dispositivo	₡ 2150	8	₡ 17200
Pruebas de campo	₡ 2150	2	₡ 4300
Total			₡ 107500

Fuente: Elaborado por el autor

Ya conociendo el monto requerido de la inversión, tanto de la parte correspondiente a los materiales, así como el valor del diseño del dispositivo, se realiza la siguiente tabla en la cual se muestra el monto total necesario para llevar a cabo todas las etapas del dispositivo de control del compresor neumático en la fábrica de impermeables GMQ.

Tabla 11. Costo total del proyecto

Descripción	Monto
Costo de materiales	₺ 146230.21
Costo de implementación	₺ 107500
Ganancia 30%	₺ 76119
Total	₺ 329.849,21

Fuente: Elaborado por el autor

El monto de la ganancia correspondiente al diseño del dispositivo fue establecido en una relación del 30% propia del valor total del mismo, esto debido a que este diseño contempla solamente una de las líneas de producción de la fábrica de impermeables GMQ; de este modo se asegura la ganancia inicial por servicios profesionales realizados en el desarrollo del dispositivo creado. De tal forma que de llegar a realizarse una o más etapas de control en la fábrica, la ganancia tendrá un menor margen, ya que parte de las etapas futuras fueron contempladas en la inversión inicial del proyecto.

Por tanto, con la información referente a la parte económica mostrada anteriormente se obtiene que la inversión requerida para llevar a cabo el desarrollo del proyecto sea de un monto aproximado de ₺330000 en su etapa inicial.

Anteriormente, cuando el control del sistema compresor se realizaba de una forma totalmente manual, en la línea de producción de vulcanización de textiles de la fábrica de impermeables GMQ, se producía una manufactura diaria total de 35 productos terminados. Esta cantidad se debe a que la elaboración de los productos no se realizaba de una forma continua, sino más bien en varios intervalos de tiempo, lo cual significa un retraso importante al activar o detener de forma manual el sistema compresor durante varias veces al día.

Una vez que se implementó el dispositivo de control y se realizaron las pruebas de campo de forma exitosa, se procedió a utilizar el módulo en un ambiente normal dentro de la línea de producción de la fábrica, donde la cantidad de productos elaborados diariamente tuvo un aumento a 38 unidades en total, por tanto, la cantidad de productos manufacturados en la línea de producción aumentó en tres unidades diariamente luego de la puesta en marcha del dispositivo diseñado.

Según la información proporcionada por la fábrica de impermeables GMQ, el valor del producto elaborado en esta línea de producción tiene un costo al comprador de ₡25000, del cual el margen de ganancia para la empresa corresponde a un 20% de este monto, es decir ₡5000 por cada unidad producida. Con base en los datos obtenidos se elaboró la siguiente tabla donde se representa de una mejor forma las ganancias generadas a nivel monetario con el desarrollo del dispositivo de control.

Tabla 12. Análisis costo-beneficio

Descripción	Ganancia por unidad (20%)	Producción diaria	Ganancia diaria	Ganancia mensual
Sin dispositivo de control	₡ 5000	35	₡ 175000	₡ 5250000
Con dispositivo de Control	₡ 5000	38	₡ 190000	₡ 5700000
Diferencia	₡ 0	3	₡ 15000	₡ 450000

Fuente: Elaborado por el autor

Ante lo anteriormente expuesto queda totalmente evidenciado que desde el punto de vista económico, el desarrollo del proyecto es completamente viable para la empresa, ya que pese a aumentar solamente una pequeña cantidad de los productos elaborados diariamente, debido a que se posee un mejor control del sistema compresor; esto implica una ganancia mensual de ₡450000, lo cual supera con facilidad a los ₡330000 invertidos en el diseño e implementación del dispositivo de control; con lo cual la inversión realizada es recuperable en un corto periodo de tiempo.

Junto con la viabilidad financiera del proyecto en el tema de ganancias en la producción, se debe tomar en cuenta que el dispositivo creado es también una herramienta que permite regular el funcionamiento del sistema compresor mediante el monitoreo de las condiciones de operación del mismo; y ante condiciones adversas de funcionamiento se genera desde una alerta, hasta la detención automática, para de este modo restablecer las condiciones normales de trabajo, permitiendo así alargar la vida útil de los diferentes elementos que lo

componen y disminuir la cantidad de eventos de detención del sistema por reparaciones de daños presentados.

Esto significa que si el sistema compresor debe ser detenido durante un día completo por motivo de reparaciones, conociendo el costo y cantidad de los productos elaborados en la línea de producción, esto provocaría una pérdida diaria de ¢875000, o bien un total de ¢4375000 no percibidos en el transcurso de una semana; de igual forma tal puede ser el caso donde el compresor neumático presente un daño total y el mismo deba ser reemplazado, lo cual implica que deba realizarse una inversión económica superior a ¢1000000 para su reemplazo.

Estos eventos de reparaciones y mantenimiento del sistema son en cierta medida prevenidos mediante el monitoreo realizado por el dispositivo diseñado, por tanto, desde este otro punto de vista también se evidencia el beneficio que trae consigo la implementación del dispositivo de control para la prevención ante posibles averías del sistema.

Si bien es cierto, el dispositivo no es capaz de prevenir la totalidad de los daños que el sistema compresor pueda presentar, sí es posible que mediante el registro de información que se realiza en la plataforma de IoT, se pueda identificar o dar una guía de cual es posiblemente el daño generado, lo cual significa que se pueda dar de una forma más rápida un diagnóstico del problema y poder dar una solución más expedita a la reparación del equipo. De este modo, el sistema estará menos tiempo fuera de funcionamiento y se presentarán menos pérdidas

económicas para la empresa, lo cual es una funcionalidad que le da un valor agregado al dispositivo de control diseñado.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Mediante la recolección de información realizada referente a las características y deficiencias con las que contaba el sistema compresor neumático, para la cual se emplearon los métodos de observación del proceso y una entrevista a los involucrados en el manejo de la línea de producción, fue posible conocer la operativa de esta y así determinar las características del procedimiento actual; a la vez que se definieron los puntos débiles del sistema; donde se demostró la importante necesidad de implementar un dispositivo que permitiera mejorar el proceso que se llevaba a cabo.

Se estableció una comparativa entre las diferentes tecnologías en las cuales se podía basar el desarrollo del proyecto, para lo cual se estudiaron las propiedades de mayor relevancia de estas y su relación con la finalidad a la cual fue destinada, así como también el ambiente en el que se implementó el dispositivo.

Se determinó que la mejor opción para llevar a cabo el proyecto es mediante el uso de microcontroladores, debido a que estos dispositivos son menos costosos, físicamente son más pequeños y todos los elementos necesarios para su operación se encuentran dentro del mismo circuito integrado, lo cual los hace menos susceptibles al ruido electromagnético de otros dispositivos presentes en el sistema compresor como los son motores y diversos componentes electromecánicos. La placa Arduino Mega 2650 fue elegida por su capacidad de operación superior a otras tarjetas de la misma familia de microcontroladores, así

como también la fácil integración de los diversos sensores y módulos de comunicación utilizados en el dispositivo de control.

Mediante el diseño y montaje de diversos circuitos electrónicos fue posible construir un prototipo del dispositivo de control, lo cual fue fundamental para lograr evaluar y realizar modificaciones del funcionamiento tanto del hardware implementado, como de los sensores, módulos de comunicación y dispositivos electromecánicos, así como también se desarrolló y ajustó el software de control del microcontrolador y su integración junto con el hardware.

De igual manera se crearon ambientes de prueba donde fuera posible poder evaluar las diferentes alertas que debe generar el dispositivo y los protocolos de control automatizados como lo es la activación del regulador del flujo de aire dentro del cuarto de máquinas y la detención del sistema ante condiciones de operación poco favorables.

Utilizando la herramienta de App Inventor, se creó una aplicación para teléfonos inteligentes Android, mediante la cual se establece una comunicación Bluetooth con el dispositivo de control, permitiendo realizar el envío de la información de los diferentes sensores al teléfono y de esta forma poder ser visualizado por el operario de la línea de producción dentro de la fábrica; al mismo tiempo que este puede manipular los distintos elementos actuadores para la activación o detención del sistema compresor desde el menú de control en la aplicación desarrollada.

Fue integrado junto con el dispositivo de control un módulo WiFi ESP8266 mediante el cual se estableció una comunicación al servidor web de IoT Thinspeak, en el que se elaboró un canal que permita almacenar la información

sobre las condiciones de funcionamiento del sistema compresor, para así poder estudiar el rendimiento de este.

Se construyó el dispositivo de control según el diseño planteado, en el cual se interconectaron todas las partes necesarias para un correcto funcionamiento. Una vez construido tal dispositivo de control, fue ubicado dentro del cuarto de máquinas en la fábrica de impermeables GMQ, donde se logró integrar de manera exitosa junto con el sistema compresor.

Una vez implementado el dispositivo, fue sometido a un periodo de pruebas de funcionamiento de cada uno de sus componentes, para posteriormente ser puesto en marcha en un ambiente real de producción; donde se evaluó de manera satisfactoria los diferentes elementos de control que gobiernan el sistema compresor, la recolección de datos enviados al servidor web de IoT, así como también los dispositivos de activación automáticos y la generación de alertas.

Se realizó un análisis del costo-beneficio que conlleva desarrollar un sistema de control para la línea de producción dedicada a la vulcanización de textiles en la fábrica de impermeables GMQ, para lo cual se determinó que debido a la mejora en el dominio sobre el sistema, aumentan los niveles de producción y por consiguiente, se acrecientan las ganancias; con lo cual la inversión requerida para el desarrollo e implementación del dispositivo es recuperable en un corto periodo de tiempo.

Por tanto, con la realización del diseño e implementación de este proyecto se logró la creación de un dispositivo electrónico que permitirá controlar de forma remota y realizar la lectura de los parámetros de un sistema compresor neumático Campbell Hausfeld VT6195 y su línea de suministro, utilizados para el proceso de

vulcanización de materiales textiles en una línea de producción de la fábrica de impermeables GMQ.

6.2 Recomendaciones

El alcance de este proyecto contempla exclusivamente una de las líneas de producción de la fábrica de impermeables GMQ, por tanto se puede desarrollar una o varias fases donde se realicen algunas modificaciones al dispositivo creado para poder extender el control a toda la maquinaria de la fábrica y así obtener un mejor rendimiento de toda esta.

En una mejora futura del dispositivo de control se puede considerar la integración de una memoria externa tipo SD con la cual sea posible realizar el almacenamiento de los datos generados por el sistema en forma de respaldo, de esta manera no se tendrá que depender de la existencia de una red WiFi para archivar esta información.

Como una mejora técnica en la construcción de este proyecto se considera la utilización de un display LCD táctil, el cual permita al operario dentro de la fábrica visualizar y manipular el dispositivo de control sin la necesidad de depender de un dispositivo adicional, como lo es el teléfono celular.

Un aspecto importante a fortalecer en el diseño del dispositivo de control se puede considerar la creación de una PCB, en la cual el diseño permita optimizar el uso del microcontrolador, utilizando solamente los pines necesarios para la aplicación que se destine, así como también que integre demás elementos

utilizados en una sola tarjeta de control, con lo cual las dimensiones del dispositivo son reducidas y se limita la cantidad de conexiones cableadas entre los diversos elementos, siendo así un dispositivo con mayor robustez.

La comunicación del dispositivo con el teléfono móvil es realizada mediante un enlace Bluetooth, la cual se ve limitada por la distancia existente entre ambos elementos, por lo que se puede considerar incorporar un tipo de comunicación distinta que permita tener el control del sistema sin que se presente una limitante de pérdida de comunicación.

Una mejora importante a tomar en cuenta para obtener un mejor rendimiento del compresor de aire y prevenir futuras fallas, consiste en integrar un elemento que permita conocer los niveles de humedad dentro del tanque de almacenamiento de aire, el cual acumula considerables niveles de agua debido a la condensación generada por el mismo aire, la cual de no ser extraída periódicamente puede generar inconvenientes.

Un aspecto no considerado en este proyecto debido a la generación de costos adicionales es la incorporación de un dispositivo que permita monitorear los flujos de corriente de entrada en la línea que alimenta el motor del compresor, con lo cual se puedan suprimir los picos de entrada que se puedan presentar, para que de esta forma se prevengan daños por sobretensiones y se tenga un mejor rendimiento eléctrico.

Anexos

Lista de anexos

En el CD se puede encontrar una carpeta llamada “Anexos” en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

01. Manual Campbell Hausfeld VT6195.pdf
02. Cronograma de construcción.mpp
03. Cronograma de redacción.mpp
04. Checklist de observación.pdf
05. Entrevista.pdf
06. DHT-22 Hoja de datos.pdf
07. App inventor blocks editor.png
08. Manual de usuario de aplicación.pdf
09. Instalador de aplicación.apk
10. Hoja de datos ESP8266.pdf
11. Registro de sistema compresor.csv
12. Software Arduino Mega 2560.pdf

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas

Referencias obtenidas de internet:

Aosong Electronics Co.,Ltd. (s/f). DHT22 Datasheet. Recuperado a partir de

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.

Arduino. (2017). Arduino Mega 2560 Rev3. Recuperado el 3 de octubre de 2017, a

partir de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>.

CH Air Compressor, 60-Gallon Vertical Single-Stage 10.2CFM 3.7HP 230V 1PH

(VT6195). (s/f). Recuperado el 24 de octubre de 2017, a partir de

<https://campbellhausfeld.com/air-compressor-60-gallon-vertical-single-stage-10-2cfm-3-7hp-230v-1ph-vt6195.html>.

Chint Electrics España catalogo general de soluciones. (s/f). Recuperado el 2 de marzo de 2018, a partir de

<http://www.chintelectrics.es/catalogogeneral.html>.

Interpretations for Standard 62-2001. (s/f). Recuperado el 17 de marzo de 2018, a

partir de <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-interpretations/interpretations-for-standard-62-2001>.

ThingSpeak Documentation. (s/f). Recuperado el 19 de octubre de 2017, a partir

de <https://www.mathworks.com/help/ThingSpeak>.

US Solid 3/4" Brass Solenoid Valve 110VAC (Air, Water) Normally Closed, NBR Gasket. (s/f). Recuperado el 13 de febrero de 2018, a partir de

<https://ussolid.com/solenoid-valves/3-4-brass-solenoid-valve-110vac-air-water-normally-closed-nbr-gasket.html>.

Referencias obtenidas de libros:

Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición* (6ta ed). Caracas: Editorial Episteme.

Artero, Ó. T. (2013). *Arduino : curso práctico de formación*. Madrid: RC Libros.

Brenes Quesada, J. C. (2015). *Diseño e implementacion de un sistema de monitoreo de vibraciones en motores de la empresa closure systems internacional* (Tesis inédita de bachillerato). Universidad Hispanoamericana, San Jose.

Carballar, J. A., & Falcón, J. A. C. (2010). *Wi-Fi : lo que se necesita conocer*. Madrid: RC Libros.

Cembranos, J. (2008). *Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos* (5ta ed). España: Editorial Paraninfo.

Garcia, M. A. P. (2014). *Instrumentación electrónica*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.

Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Córdoba: Editorial Brujas.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed). México D.F.: McGraw-Hill.

Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* (2da ed). México, D.F.: Prentice- Hall.

Pérez, F. E. V., & Areny, R. P. (2007). *Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC*. Barcelona: Marcombo.

Rossano, V. (2009). *Electrónica & microcontroladores PIC*. Banfield: USERSHOP.

Ruiz, A. S., García, F. R., & Noriega, J. C. R. (2010). *Guía práctica de sensores*.

Madrid: Creaciones Copyright SL.

Serrano, A. (2010). *Neumática práctica*. Madrid: Editorial Paraninfo.

Solé, A. C. (2012). *Instrumentación Industrial* (8va ed). Barcelona: Marcombo.