

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

TEMA:

Estudio de los protocolos y buses de campo para el control de procesos neumáticos
en la industria productora cartonera de la ciudad de Duran

AUTOR:

Guillén Vélez, Josué Andrés

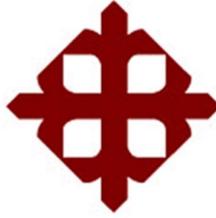
Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

Ing. Carlos Romero Rosero

Guayaquil, Ecuador

11 de septiembre 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Guillén Vélez, Josué Andrés como requerimiento para la obtención del título de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO.

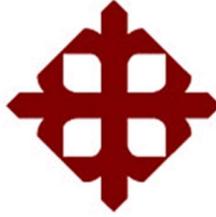
TUTOR

Ing. Carlos Bolívar, Romero Rosero

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Guillén Vélez, Josué Andrés**

DECLARO QUE:

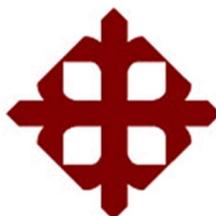
El trabajo de titulación “Estudio de los protocolos y buses de campo para el control de procesos neumáticos en la industria productora cartonera de la ciudad de Duran” previo a la obtención del Título de Ingeniero Electrónico en control y automatismo, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR

Guillén Vélez, Josué Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Guillén Vélez, Josué Andrés**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “Estudio de los protocolos y buses de campo para el control de procesos neumáticos en la industria productora cartonera de la ciudad de Duran”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

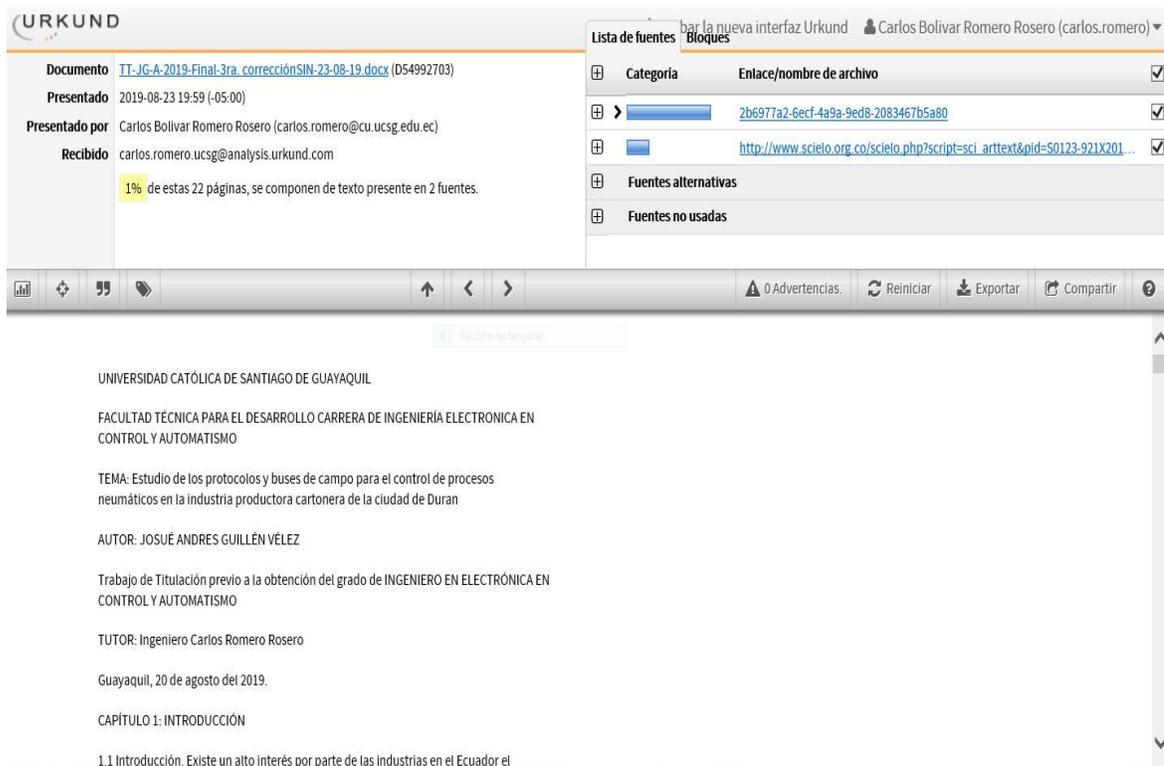
Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2019.

EL AUTOR

Guillén Vélez, Josué Andrés

REPORTE DE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo, con **1%** de coincidencias perteneciente al estudiante, **GUILLÉN VÉLEZ JOSUÉ ANDRÉS**.



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, document details are shown: 'Documento: TT-JG-A-2019-Final-3ra_correcciónSIN-23-08-19.docx (D54992703)', 'Presentado: 2019-08-23 19:59 (-05:00)', 'Presentado por: Carlos Bolívar Romero Rosero (carlos.romero@cu.ucsg.edu.ec)', and 'Recibido: carlos.romero.ucsg@analysis.orkund.com'. A yellow highlight indicates '1% de estas 22 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' panel shows two sources with checkboxes: '2b6977a2-6ecf-4a9a-9ed8-2083467b5a80' and 'http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X201...'. Below the interface, the document text is visible, including the university name 'UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL', faculty 'FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO', topic 'TEMA: Estudio de los protocolos y buses de campo para el control de procesos neumáticos en la industria productora cartonera de la ciudad de Duran', author 'AUTOR: JOSUÉ ANDRÉS GUILLÉN VÉLEZ', and chapter 'CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN'.

Atte.

Ing. Carlos Romero Rosero.

Profesor Titular Principal – Tutor

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado primeramente a Dios por ser parte importante en todos los aspectos de mi vida y a mis padres quienes siempre me alentaron a seguir adelante y han estado presentes en cada paso que doy en mi carrera universitaria.

EL AUTOR

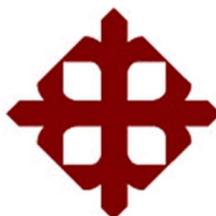
Guillén Vélez, Josué Andrés

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por todas las cosas buenas que me ha brindado y por no dejarme caer en momentos difíciles de mi vida. Por otro lado, agradecer a mi padre Joffre Guillén quien ha sido mi amigo y consejero a lo largo del camino y que por el soy una persona de bien hoy en día. A mi madre Judith Vélez por su inmenso amor, comprensión y apoyo incondicional. Mención especial para mi novia Andrea Álvarez quien con su apoyo constante me motivó a seguir adelante para culminar mi carrera.

EL AUTOR

Guillen Vélez, Josué Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. _____

M. Sc. HERAS SANCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

M. Sc. VEGA URETA, NINO TELLO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XIV
Índice de Tablas.....	XVI
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO 1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Antecedentes.....	2
1.3. Justificación del tema de investigación.....	3
1.4 Definición del Problema.....	3
1.4.1. Situación problemática.....	3
1.4.2. Formulación del problema.....	4
1.5 Objetivos del Tema de Investigación.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Metodología de Investigación.....	5
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. Introducción.....	6
2.2. Automatización Industrial	6
2.2.1. Niveles de automatización industrial	6
2.3. Elementos operativos en automatización	7
2.3.1. Transductores.....	7
2.3.2. Accionadores	7
2.4. Neumática.....	8

2.4.1. Definición	8
2.4.2. Propiedades del aire comprimido.....	8
2.4.3. Unidades y magnitudes	8
2.4.4. Presión de aire.....	9
2.4.5. Caudal de aire.	9
2.4.6. Generación de aire comprimido.....	9
2.4.7. Válvulas Direccionales.....	10
2.4.7.1. Válvulas de 2/2 vías	10
2.4.7.2. Válvulas de 3/2 vías	11
2.4.7.3. Válvulas de 5/2 vías	11
2.4.8. Electroválvulas.....	11
2.4.9. Cilindros neumáticos.....	11
2.4.9.1. Cilindro simple efecto	12
2.4.9.2. Cilindro doble efecto	12
2.4.10. Calculo de fuerza de un cilindro	12
2.5. Autómatas programables.....	14
2.5.1. Introducción.....	14
2.5.2. Definición	14
2.5.3. Funciones básicas de un PLC	14
2.5.4. Clasificación de los PLC	15
2.5.5. Estructura externa del PLC.....	16
2.5.6. Estructura interna del PLC	16
2.5.6.1 Módulos de entrada	17
2.5.6.2 Módulos de salida	17
2.5.6.3. CPU	17
2.5.7. Memoria del PLC.....	17
2.5.8. CPU	18

2.6. Interface Hombre-Maquina	18
2.6.1. Características de la Interfaz al usuario.....	19
2.6.2. Modelos de interfaces de usuario.....	20
2.7. Comunicaciones industriales	20
2.7.1. Introducción.....	20
2.7.2. Medios de comunicación.....	21
2.7.3. Tipos de comunicación.....	22
2.7.3.1. Comunicación en serie	22
2.7.3.2. Comunicación en paralelo	22
2.8. Buses de Campo.....	22
2.8.1. Introducción.....	22
2.8.2. Definición	23
2.8.3. Ventajas de buses de campo	23
2.8.4. Buses de alta y baja funcionalidad.....	23
2.8.5. Buses de altas prestaciones.....	23
2.8.6. Buses estandarizados.....	24
2.8.6.1. Interbus.	24
2.8.6.2. Canbus	24
2.8.6.3. Modbus	24
2.8.6.4. Bus AS-i	25
2.8.6.5. Hart.....	25
2.9. Profibus	25
2.9.1. Interfaz 485.....	25
2.9.2. Perfil profibus DP	26
2.9.3. Perfil profibus PA	26
2.9.4. Métodos de acceso a red.....	27
2.10. Bloque de válvulas con buses de campo	28

2.10.1. Bloque de válvulas Multipolo.....	28
2.10.2. Bloque de válvulas con bus de campo AS-i.	28
2.10.3. Estación de válvulas con Profibus DP.....	29
2.10.4. Tecnología IO-LINK.....	29
2.11. Tipos de estructura de un bloque de válvulas con bus de campo.	30
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
3.1. Revisión de bibliografía de buses de campo en procesos neumáticos industriales.	32
3.1.1. Topología de red Profibus para comunicación Maestro-Eslavo.	32
3.1.2. Soluciones de comunicación con bus de campo para plantas de manufactura según Micro Automacion.....	32
3.1.3. Ahorro de cableado eléctrico en las estaciones neumáticas con bus de campo según SMC.....	33
3.1.4. Comunicación de bus con estructura o control directo según Rexroth.....	33
3.1.5. Diferentes buses de campo en estaciones de válvulas neumáticas.	34
3.2. Procesamiento de información en sitio, tomando como referencia la línea de producción “corrugadora de cartón” de la industria productora cartonera de la ciudad de Duran.	35
3.2.1. Descripción de la Industria Productora Cartonera.	35
3.2.1.1. Ubicación geográfica.....	36
3.2.2. Línea de producción corrugadora de cartón.	36
3.2.2.1. Estudio del bus de campo profibus Dp para el control de procesos neumaticos de la linea de produccion corrugadora de carton.	37
3.2.3. Empalmadora de bobina	37
3.2.4. Red Profibus de la empalmadora de bobinas.....	38
3.2.4.1. Bloque de valvulas neumaticas.....	39
3.2.4.2. PLC Siemens ET200S	39
3.2.4.3. Supervision de estado operativo de las valvulas.....	39
3.2.5. Cortadora longitudinal.....	40

3.2.6. Red Profibus de la cortadora longitudinal	40
3.2.6.1. Bloque de válvulas neumáticas	41
3.2.6.2. Plc Simatic ET 200M	41
3.2.6.3. Supervisión de estado operativo	42
3.2.6.4. Diagnóstico de errores	43
3.3. Tabla comparativa entre los bloques de válvulas controladas por bus de campo y las estaciones de válvulas controladas electromecánicamente para actuar en la línea de producción corrugadora de cartón.	43
3.3.1. Análisis de la tabla comparativa	45
3.4. Elaboración de un presupuesto aproximado para una futura instalación de un bloque de válvulas neumáticas controladas por bus de campo.	48
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	51
4.1. Conclusiones.....	51
4.2. Recomendaciones.	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
Glosario de Términos.....	57
ANEXOS.....	58

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1: Pirámide de automatización	7
Figura 2.2: Accionadores electromecánicos.....	8
Figura 2.3: Partes de la unidad compresora de tornillo	10
Figura 2.4: Composición de cilindro doble efecto	12
Figura 2.5: Curva de presión vs fuerza en cilindros neumáticos.....	14
Figura 2.6: PLC Nano	15
Figura 2.7: PLC compacto	15
Figura 2.8: PLC modular	16
Figura 2.9: Estructura interna del PLC	16
Figura 2.10: Panel Con Interface HMI	19
Figura 2.11: Interface con navegación táctil.	19
Figura 2.12: Comunicación en pirámide CIM.....	21
Figura 2.13: Comunicación en serie y paralelo.....	22
Figura 2.14: Esquema de pines de la interfaz RS485	26
Figura 2.15: Comunicación Maestro- esclavo.....	27
Figura 2.16: Bloque de válvulas con bus AS-i.....	29
Figura 2.17: Bloque de válvulas con Profibus	29
Figura 2.18: Bloque de válvulas con bus Io-Link	30

Capítulo 3

Figura 3.1: “Topología maestro-esclavo de una red Profibus”	32
Figura 3.2: Estructura de control directo de bus.....	34
Figura 3.3: Productora cartonera S.A	35
Figura 3.4: Ubicación de la industria Procarsa.....	36
Figura 3.5: Maquina empalmadora de bobinas de cartón.	38
Figura 3.6: Red profibus Dp de la maquina empalmadora de bobinas.....	38
Figura 3.7: Bloque de valvulas 5/2 Rexroth.....	39
Figura 3.8: Plc Siemens ET200S.....	39
Figura 3.9: Supervisión de esta operativo de una válvula.....	40

Figura 3.10: Red profibus Dp de la maquina cortadora longitudinal.	41
Figura 3.11: Bloque de válvulas 5/2 marca Aventics	41
Figura 3.12: Plc Simatic ET200M	42
Figura 3.13: Estado operativo de válvulas mediante HMI grafico.....	42
Figura 3.14: Diagnostico de error mediante panel HMI.	43
Figura 3.15: Cableado de conexión de bobinas en control electromecánico	45
Figura 3.16: Activación de bobinas de bloque de valvulas numatics.....	46
Figura 3.17: Supervisión de estado operativo de una válvula neumática.....	48

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1: Unidades de presión	8
Tabla 2.2: Configuraciones de válvulas direccionales.....	11
Tabla 2.3: Tipos de memoria.....	17
Tabla 2.4: Clasificación de medios cableados e inalámbricos.	21
Tabla 2.5: Ventajas de los buses de campo.....	23
Tabla 2.6: Generalidades de Interbus	24
Tabla 2.7: Cuadro comparativo de los perfiles Profibus.....	27

Capítulo 3

Tabla 3.1: Buses de campo en estaciones de válvulas	34
Tabla 3.2: Comparación de un control electromecánico y un control por bus de campo de un bloque de válvulas para la línea de producción corrugadora de cartón.....	44
Tabla 3.3: Presupuesto para la instalación del sistema.....	49

RESUMEN

La presente investigación propone un estudio integral de las ventajas que brinda el bus de campo Profibus DP para el control de los procesos neumáticos en la línea de producción “corrugadora de Cartón” de la Industria Productora Cartonera de la ciudad de Duran. La investigación se enfocará en el control de los bloques de válvulas neumáticas, por medio de un PLC que estará comunicado mediante Profibus Dp el cual es considerado el bus de mayor impacto en la industria de manufactura al contar con altas velocidades de respuesta y un control efectivo de los dispositivos de campo. Se realizará una investigación en sitio analizando la línea de producción antes mencionada, para hacer una tabla comparativa entre un bloque de válvulas neumáticas de control electromecánico con otro de control por bus de campo, con el fin de demostrar las ventajas de esta tecnología que le facilitará al operador la verificación del estado operativo de los dispositivos neumáticos, así como el diagnóstico de errores mediante un HMI. Esto le permitirá a la industria reducir tiempo y dinero en mantenimientos correctivos y paros de producción inesperados.

Palabras clave: BUS DE CAMPO, VALVULAS, NEUMATICA, PLC, PROFIBUS DP, COMUNICACIÓN, HMI.

ABSTRACT

The present investigation proposes a comprehensive study of the advantages offered by the Profibus DP fieldbus for the control of pneumatic processes in the “Corrugated paperboard” production line of the Productora cartonera Industry in the city of Duran. The research will focus on the control of the pneumatic valve blocks, through a PLC that will be communicated through Profibus Dp which is the bus with the greatest impact on the manufacturing industry by having high response speeds and effective control of Field devices. An on-site investigation will be carried out analyzing the “Corrugated paperboard” production line, to make a comparative table between a block of pneumatic electromechanical control valves with a fieldbus control valve, in order to show the advantages of this technology that will help to the operator to check the operative state of the pneumatic devices, as well as the diagnosis of errors by means of an HMI. This will allow the industry to reduce time and money in corrective maintenance and unexpected production stoppages.

Keywords: FIELD BUS, VALVES, PNEUMATICS, PLC, PROFIBUS DP, COMMUNICATION, HMI.

CAPÍTULO 1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.

1.1 Introducción.

Existe un alto interés por parte de las industrias en el Ecuador el desarrollar nuevos sistemas de automatización para sus procesos, los cuales en su mayoría el día de hoy son procesos electromecánicos. La neumática está presente en gran medida dentro de los procesos de una industria por lo cual es importante estudiar un mejor desarrollo en este tipo de automatización. Con el presente trabajo de investigación se busca estudiar y demostrar como los buses de campo utilizando mínimos recursos pueden ofrecer a las industrias gran facilidad de montaje y a su vez tener un mejor control de los procesos con mayor eficacia. Para esto debemos estudiar cómo se comunica el PLC con los elementos electro neumáticos dentro del proceso. Existen varios fabricantes a nivel mundial que han desarrollado diferentes estaciones de buses de válvulas con buses de campo las cuales brindan soluciones compactas y confiables a diferentes tipos de industrias, como por ejemplo en la industria cartonera. Las estaciones de válvulas que estudiaremos serán las estaciones múltipolo, con comunicación profibus.

1.2 Antecedentes.

En la actualidad dentro de las instalaciones neumáticas de las industrias en el Ecuador, no se tiene una supervisión eficiente de los diferentes parámetros electromecánicos de los dispositivos que conforman dicha instalación, lo que hace que no se pueda tener un control total de estos parámetros, por lo cual tienen menor vida útil y el costo de operación y mantenimiento es mayor.

Uno de los factores que ha impedido la adopción de la tecnología de los buses de campo ha sido la falta de conocimiento sobre las bondades que nos brinda esta tecnología, además de la inversión que deben hacer las industrias. Hoy en día la mayoría de máquinas industriales que llegan a las empresas del país vienen acompañadas de esta tecnología por lo que es necesario conocer los diferentes buses de campo y sus aplicaciones, para así saber seleccionar que protocolo podemos usar para el diseño de una red de comunicación en un proceso industrial.

1.3. Justificación del tema de investigación.

La presente investigación resulta importante porque permite involucrar la carrera profesional en el ámbito industrial por el creciente desarrollo tecnológico en la automatización de procesos, en los que la neumática está presentando grandes avances y es necesario estudiarlos con el fin de tener bien claros los conceptos de esta área para su aplicación en diferentes procesos industriales.

Es relevante el incluir este tipo de automatización debido a sus grandes ventajas en cuanto a eficiencia y eficacia en los controles de los procesos en los que están aplicados, por lo que la industria mejorara su tiempo y calidad de producción. Esta investigación beneficiara principalmente al personal de mantenimiento de las industrias que están implementando este tipo de tecnología, ya que son los encargados de la parte operativa de las máquinas y esto demanda conocimientos básicos en el tema a investigar. Por otra parte, se beneficiarán los dueños e inversionistas de las industrias, porque con la integración de esta tecnología en sus procesos reducirán costos de instalación y mantenimiento.

También será de gran impacto académico para los estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica en control y automatismo a fin de que tengan conocimientos teóricos y aplicativos en casos prácticos de su vida profesional. Se busca dar a conocer al lector toda la información posible sobre este tema de investigación para que tengan herramientas necesarias y puedan seleccionar de acuerdo a sus características el protocolo o bus de campo adecuado para un proceso industrial.

1.4. Definición del Problema.

1.4.1. Situación problemática.

El control de procesos neumáticos industriales supervisados electromecánicamente en la mayoría de las industrias del país actualmente no es el adecuado ya que al operador se le dificulta llevar un control total de lo que pasa en sus procesos, además los responsables de mantenimiento presentan escasos conocimientos sobre el tema para poder brindar una solución práctica en la industria. Por ejemplo, en caso de que una estación de válvulas falle, se deberá parar la

producción para revisar y diagnosticar el problema, con lo que se pierde tiempo y dinero para la industria.

1.4.2. Formulación del problema

Variable dependiente

- Control y supervisión de procesos neumáticos industriales.

Variable independiente

- Integración de protocolos y buses de campo.

¿Cómo contribuye en el control de procesos neumáticos industriales la integración de buses de campo y protocolos de comunicación en la industria Productora Cartonera de la Ciudad de Duran actualmente?

1.5. Objetivos del Tema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Estudiar integralmente los protocolos y buses de campo aplicados a los procesos neumáticos, analizando la línea de producción “corrugadora de cartón” de la industria Productora Cartonera en la ciudad de Duran.

1.5.2. Objetivos Específicos.

1. Revisar Bibliografía de protocolos y buses de campo en procesos neumáticos industriales.
2. Procesar información en sitio, para determinar las ventajas del bus de campo aplicado en procesos neumáticos, tomando como referencia la línea de producción “corrugadora de cartón” de la industria productora cartonera de la ciudad de Duran
3. Realizar una tabla comparativa entre los bloques de válvulas controladas por bus de campo y las estaciones de válvulas controladas electromecánicamente.
4. Elaborar un presupuesto aproximado para una futura instalación de un bloque de válvulas neumáticas controladas por bus de campo.

1.6. Hipótesis.

Si se utilizan protocolos de comunicación y buses de campo entre aparatos de control como un PLC y una electroválvula, además de obtener un mejor tiempo de respuesta, los procesos neumáticos serán controlados y supervisados con precisión.

1.7. Metodología de Investigación.

El presente trabajo de investigación se desarrollará bajo una metodología exploratoria ya que se visitará en sitio la industria a la cual se realizará el estudio para recopilar información de los procesos industriales que se llevan a cabo, teniendo así datos reales para el desarrollo del trabajo.

También va a ser del tipo descriptiva, porque vamos a explicar las características de los procesos neumáticos aplicando buses de campo, así como el control que se está ejecutando en los mismos. La investigación va a tener un enfoque cualitativo ya que se utilizó técnicas de observación y entrevistas abiertas que van a detallar características comparativas de eficiencia y eficacia analizando una determinada línea de producción de la industria Productora Cartonera de la ciudad de Duran.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Introducción

La finalidad de este capítulo es definir conceptos y formulas importantes para el desarrollo de la investigación, que van a estar dentro del tema a tratar, tales como la neumática, las comunicaciones industriales, los autómatas lógicos programables, los buses de campo y su integración en estaciones neumáticas, que presentan variaciones en sus modelos dependiendo del fabricante, en versiones más compactas y con mejoras en sus diseños. Sera de gran aporte para el desarrollo de la presente investigación la revisión de investigaciones de otros autores sobre el tema a tratar.

2.2. Automatización Industrial

La automatización de un proceso industrial consiste en incorporar al mismo, dispositivos tecnológicos que me permitan controlar y supervisar su comportamiento de manera automática y sin la presencia de un operador. (Moreno, 1999).

2.2.1. Niveles de automatización industrial

Los sistemas automáticos se dividen en cuatro secciones, las cuales conformaran la pirámide de automatización. Los cuatro niveles son los siguientes:

- **Nivel de campo:** Es el nivel más bajo en la pirámide de automatización, en el encontraremos todos los dispositivos de campo, o actuadores que van a realizar un trabajo en específico. Pueden ser: sensores, válvulas eléctricas o neumáticas, motores etc.
- **Nivel de control:** Es el penúltimo nivel de la pirámide, en el encontraremos los dispositivos que van a controlar los actuadores finales, como son los PLC, variadores de frecuencia y de velocidad, además de interfaces hombre-máquina.
- **Nivel de supervisión:** En este nivel podemos encontrar los sistemas SCADA, que nos permitirá monitorear el trabajo de los diferentes dispositivos del nivel de control.
- **Nivel de gestión:** Es el nivel más alto en la automatización industrial y nos permitirá ver qué ocurre dentro de toda la planta industrial en tiempo real.



Figura 2.1: Pirámide de automatización

Fuente: (Micro Automacion, 2018)

2.3. Elementos operativos en automatización

En los procesos electromecánicos los dispositivos encargados de realizar el trabajo deseado en una maquina son los transductores y los accionadores finales, ellos se encuentran en el último nivel de la pirámide de automatización.

2.3.1. Transductores

Los transductores realizan el trabajo de captar y transformar una variable de entrada en un tipo de energía diferente a la salida. Al hablar de energía de entrada se refiere a las magnitudes físicas del entorno como puede ser luz, calor, sonido. Por lo tanto, un transductor es un elemento que va a convertir una magnitud física en una variable que el sistema en el que se lo está usando lo pueda interpretar.

Existen varios tipos de transductores en los procesos electromecánicos que se clasifican según la magnitud física que captan, los más utilizados por las industrias son los electromagnéticos, de velocidad, de desplazamiento y de presión.

2.3.2. Accionadores

Este dispositivo de control actúa sobre el actuador final con una señal previa que recibe de los transductores, y se encarga de realizar la acción física del proceso. Un accionador puede clasificarse de acuerdo a la magnitud controlada.

Los accionadores eléctricos como el motor, son los más utilizados en las industrias porque no consumen mucha energía, son de fácil instalación y mantenimiento.



Figura 2.2: Accionadores electromecánicos

Fuente: (Alex, 2015)

2.4. Neumática

2.4.1. Definición

Se puede entender por neumática a una rama de la física que estudia el comportamiento y tratamiento de los gases, consideramos al aire como uno de estos. (EBEL, 2009).

2.4.2. Propiedades del aire comprimido

Una de las principales propiedades del aire es que es compresible, y al comprimirse se transforma en energía que puede ser utilizada para realizar un trabajo. A su vez, el aire comprimido es almacenable lo cual permite utilizarlo cuando el usuario lo disponga y ser transportado en el recipiente almacenado.

2.4.3. Unidades y magnitudes

Dentro de la neumática existen varias unidades en las que podemos medir la presión de aire, estas van a variar dependiendo de los fabricantes.

Tabla 2.1: Unidades de presión

	PSI	Atmosfera	Kg/cm ²	Cm ca	mm hg	Bar
PSI	1	0.0680	0.0703	70.31	51.72	0.0689
Atmosfera	14.7	1	1.033	1033	760	1.0131
Kg/cm ²	14.22	0.9678	1	1000	735.6	0.98
Cm c.a	0.0142	0.00096	0.0010	1	0.7355	0.0009
Mm hg	0.0193	0.0013	0.0013	0.0013	1	0.00133
Bar	14.5	0.987	1.02	1024	750	1

Fuente: (Oficios Tecnicos, 2015)

2.4.4. Presión de aire.

Según (EBEL, 2009) la presión no es otra cosa que una cantidad de aire sometida a una determinada fuerza. Las unidades estandarizadas más usadas por los usuarios para medir presión son las siguientes: PSI, BAR, MPA. Su ecuación característica es la siguiente.

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde F es la fuerza en Newton ejercida en una superficie y A será el área de la misma.

2.4.5. Caudal de aire.

El caudal se refiere a un volumen de aire sobre un tiempo determinado, puede ser medido en segundos minutos u horas. Generalmente se usa la unidad CFM (Cubic feet per minute) para medir el caudal.

2.4.6. Generación de aire comprimido

El aire es un gas que puede ser comprimido si se reduce el volumen donde está almacenado, es de vital importancia para los procesos industriales ya que se utiliza como energía para ejecutar acciones. La máquina encargada de generar aire comprimido se llama compresor, el cual se clasifica según su principio de compresión siendo estos los más utilizados:

➤ Compresor de Pistón

Utilizado por empresas de baja y media categoría ya que es económico y robusto que soporta las exigencias industriales. Su principio de funcionamiento se basa en un pistón central que contiene un embolo, el cual al permitir la entrada de aire por la válvula de admisión el embolo reduce el volumen mediante movimientos lineales repetitivos. Debido a esta acción el aire sale con temperaturas altas y a gran presión, generalmente a 175 Psi.

➤ Compresor de tornillo

Es el más utilizado por las industrias en general, a pesar de ser más costosos que los de pistón son de gran eficacia realizando la compresión. Está conformado por un

motor eléctrico conectado a una unidad compresora que contiene un tornillo sin fin (hembra y macho) el cual en sus lóbulos va a comprimir el aire reduciendo el volumen de los mismos. Es importante recalcar que los tornillos giran en sentido contrario de su eje y nunca se tocan entre sí, esto es gracias a la función del aceite que actúa como sello, además de lubricar.



Figura 2.3: Partes de la unidad compresora de tornillo

Fuente: (Ortega, 2019)

2.4.7. Válvulas Direccionales

Las válvulas direccionales son dispositivos mecánicos que permiten el paso o la oposición del aire hacia algún lugar determinado para realizar un trabajo. (EBEL, 2009). Existen distintos tipos de configuraciones de válvulas debido a su número de vías y posiciones. Para comprender el diagrama de una válvula neumática se debe saber que el número de cuadros serán las posiciones o estados que podrá tener, y el número de flechas será el número de vías o caminos posibles por donde va a fluir el aire.

2.4.7.1. Válvulas de 2/2 vías

Son válvulas que tienen una sola entrada y una sola salida, por lo tanto, el flujo de aire solo se moverá en un sentido. Existen dos tipos Normalmente abierta y Normalmente cerrada, que como su nombre lo indica necesita de una señal previa para su activación. Normalmente soportan hasta presiones de 125 psi, pero también se encuentra en el mercado válvulas de 2 vías para alta presión que soportan presiones de hasta 300-450 psi, las cuales son usadas para las industrias de soplado Pet.

2.4.7.2. Válvulas de 3/2 vías

Son válvulas direccionales que tienen una entrada, una salida y un escape o desfogue correspondiente a su salida. Se las utiliza para accionar cilindros de simple efecto.

2.4.7.3. Válvulas de 5/2 vías

Son válvulas direccionales que presentan una entrada y dos salidas posibles, y tienen un escape correspondiente a cada salida. Se las utiliza para accionar cilindros doble efecto.

Tabla 2.2: Configuraciones de válvulas direccionales

	Válvula 2/2 normalmente cerrada		Válvula 3/3 con posición neutra normalmente cerrada
	Válvula 2/2 normalmente abierta		Válvula 4/3 con posición neutra normalmente cerrada
	Válvula 3/2 normalmente cerrada		Válvula 4/3 con posición neutra a escape
	Válvula 3/2 normalmente abierta		Válvula 5/2
	Válvula 4/2		Válvula 5/3 en posición normalmente cerrada
	Válvula 4/2 normalmente cerrada		Válvula 5/3 en posición normalmente abierta

Fuente: (Juaréz, 2014)

2.4.8. Electroválvulas

Necesitan de una señal eléctrica para su funcionamiento, está compuesta por un pistón móvil en su interior el cual se moverá dejando fluir debido a una acción magnética cuando la bobina de la válvula reciba señal. La tensión de la bobina puede ser en corriente continua 12 o 24 Vdc, o en corriente alterna en 110 o 220 Vac.

2.4.9. Cilindros neumáticos

Los cilindros o pistones neumáticos son los actuadores finales en un circuito neumático, en ellos ingresa el aire comprimido en forma de energía para realizar un trabajo. Existen cilindros de simple efecto o de doble efecto.

2.4.9.1. Cilindro simple efecto

Se lo conoce también como cilindro de acción simple porque su elemento móvil (pistón) se mueve en un solo sentido y regresa a su posición original con ayuda de un resorte cuando el aire evacua por su toma posterior. Son generalmente accionados por válvulas de 3/2 vías.

2.4.9.2. Cilindro doble efecto

A diferencia de los de acción simple, este cilindro cuenta con dos entradas de aire para realizar un trabajo en ambos sentidos, una va a ser utilizada para la salida del pistón y la segunda para su retroceso. Las válvulas 5/2 vías son las ideales para operar un cilindro de estas características.

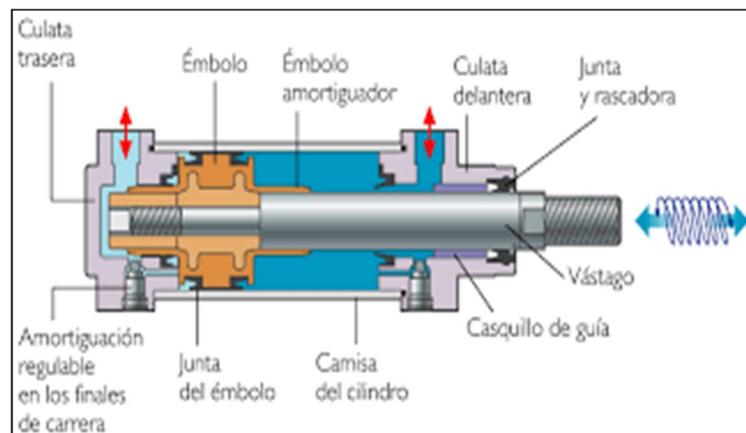


Figura 2.4: Composición de cilindro doble efecto

Fuente: (Landin, 2016)

2.4.10. Calculo de fuerza de un cilindro

La fuerza con la que actúa un cilindro se la puede calcular en base a la presión que se ejerce en el émbolo en un volumen determinado, en este caso el diámetro del cilindro. Además debemos tener en cuenta el roce que va a tener el émbolo. (Creus, 2011). Esta fuerza la podemos obtener de la siguiente ecuación.

$$F = P * aire * Area piston$$

Asumiremos que la fuerza se la medirá en newton, la presión en bar, el diámetro del cilindro en mm y la superficie en mm², por lo que la formula real nos quedaría de la siguiente manera.

$$F = P(\text{bar}) * 100.000 * \frac{\text{Areapiston}(\text{mm}^2)}{1.000.000}$$

$$= \frac{P(\text{bar}) * \text{Areapiston}(\text{mm}^2)}{10}$$

Según (Creus, 2011) para los cilindros de efecto simple se calcula la fuerza en base a la diferencia de entre la fuerza del aire y la del resorte. La fórmula nos quedaría de la siguiente manera.

$$F = P * \frac{\text{Area de piston}}{10} - f_{muelle} = P * \frac{\pi * D^2}{40} - f_{muelle}$$

Donde vemos las variables:

F= Fuerza en newton

P= Presión en bar

D= Diámetro del cilindro en mm

F= Fuerza del resorte.

Para los cilindros doble efecto el cálculo es diferente porque no cuenta con un resorte que permite volver el embolo a su posición inicial. Según (Creus, 2011) “su fuerza no disminuye en la carrera de avance, pero si en su carrera de retroceso”. Las fórmulas para el cálculo de fuerza tanto en avance como en retroceso serían las siguientes.

$$F_{\text{avance}} = P * \frac{\pi * D^2}{40}$$

$$F_{\text{retroceso}} = P * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{40}$$

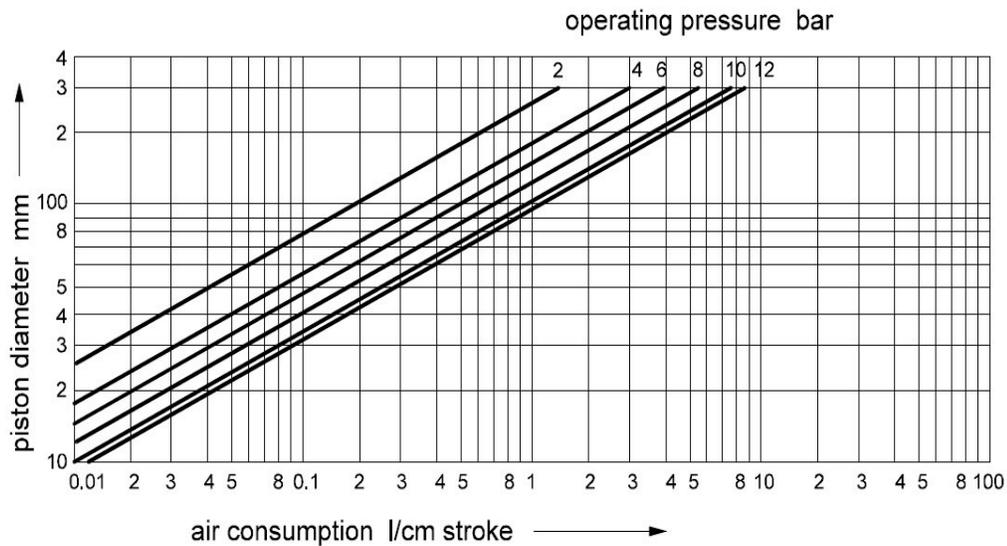


Figura 2.5: Curva de presión vs fuerza en cilindros neumáticos.

Fuente: (Creus, 2011)

2.5. Autómatas programables

2.5.1. Introducción

En las últimas décadas la automatización industrial se ha venido modificando en cuanto al control de sus procesos, el avance en el campo electrónico con los microprocesadores ha reemplazado la tecnología cableada, la cual era más complicada porque se necesitaba un operador presente en el sitio para sus pruebas y funcionamiento, además cualquier cambio en su estructura suponía una reestructuración total de la parte física del sistema, con lo cual se perdía tiempo y dinero. La tecnología programada con los PLC apareció como solución para resolver este problema ya que son capaces de controlar un sistema multifuncional y a su vez permiten modificaciones en su circuito de control, sin necesidad de hacer cambios físicos.

2.5.2. Definición

Se conoce como controlador lógico programable (PLC) a todo dispositivo electrónico cuya memoria almacena instrucciones y secuencias lógicas con el objetivo de controlar procesos multifuncionales.

2.5.3. Funciones básicas de un PLC

Las funciones principales de este dispositivo son:

- Detectar la señal que envían los transductores instalados en la maquina o proceso.
- Controla los parámetros del sistema en tiempo real reaccionando a las variables que supervisa.
- Comunica al operador con la maquina al permitir programar en su circuito de control las acciones que debe realizar.

2.5.4. Clasificación de los PLC

Según las características se pueden clasificar en:

➤ **PLC nano.**



Figura 2.6: *PLC Nano*

Fuente: *(SchneiderElectric, 2016)*

Posee un número reducido de entradas y salidas, pues es un Plc compacto que integra la fuente de alimentación y el CPU en un mismo cuerpo modular. Los módulos especiales de este PLC también son reducidos lo que limita sus aplicaciones.

➤ **PLC Compacto**



Figura 2.7: *PLC compacto*

Fuente: *(Panuncio, 2019)*

Se los utiliza cuando el proceso a controlar no es tan complejo. En su cuerpo se integra la CPU, fuente de alimentación y módulos de entrada y salida. Este tipo de Plc ya cuenta con un módulo de comunicación para buses de campo y permite expansiones en caso de ser necesario.

➤ Plc Modular



Figura 2.8: *PLC modular*

Fuente: (Group P&P, 2018)

Se los conoce con ese nombre porque están formados por un conjunto de bloques que forman el controlador final. La diferencia de este controlador es que los elementos que lo componen (Rack, CPU, fuente de alimentación, módulos de entradas y salida) se encuentran en un bloque independiente. Permite expansión de sus módulos a medida que lo requiera el proceso a controlar.

2.5.5. Estructura externa del PLC

Estos dispositivos están diseñados para trabajar en un entorno industrial y su estructura interna y externa varía de acuerdo a las necesidades que presente el proceso a controlar. Podemos encontrarlos de forma modular o compacta.

Según (Aguilera, 2002) se puede encontrar un autómata programable modular con sus módulos en rieles normalizados, esto ayudara a que la estructura sea más compacta y robusta.

2.5.6. Estructura interna del PLC

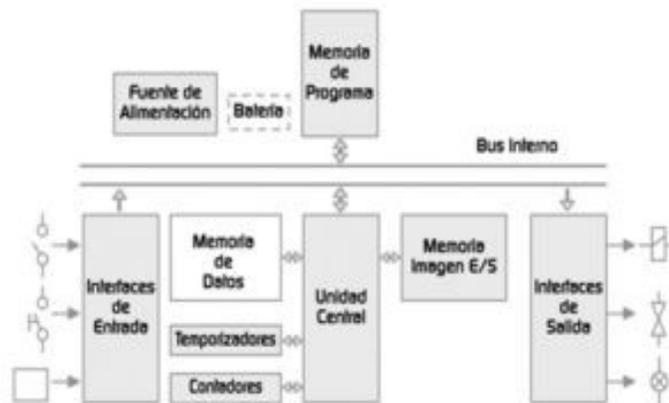


Figura 2.9: *Estructura interna del PLC*

Fuente: (Hernandez, 2018)

2.5.6.1 Módulos de entrada

En esta sección se conectarán los transductores o sensores, podemos encontrar entradas digitales o analógicas y según el fabricante van a varias los rangos de tensión. (Aguilera, 2002).

2.5.6.2 Módulos de salida

Aquí se conectarán los actuadores, es decir los que reciben la señal de ejecución. Pueden ser analógicas o digitales.

2.5.6.3. CPU

También conocido como unidad central de proceso, aquí se introduce el programa que se va a ejecutar para el proceso, este programa se conforma de instrucciones y secuencias lógicas grabadas en una memoria. (Aguilera, 2002).

2.5.7. Memoria del PLC

Tabla 2.3: Tipos de memoria

	RAM	ROM
Es	Es una memoria de lectura y escritura.	Es solo memoria de lectura.
Uso	Se usa para almacenar temporalmente los datos que la CPU debe procesar temporalmente.	Almacena las instrucciones requeridas durante el arranque del ordenador.
Volatilidad	Es una memoria volátil.	Es una memoria no volátil.
Representa	Memoria de acceso aleatorio.	Memoria de sólo lectura.
Modificación	Los datos en RAM se pueden modificar.	Los datos en ROM no se pueden modificar.
Capacidad	Tamaños de memoria RAM de 64 MB a 4 GB o más.	La ROM es comparativamente más pequeña que la RAM.
Costo	La memoria RAM es una memoria más costosa.	ROM es comparativamente más barato que la RAM.
Tipo	Los tipos de RAM son RAM estática y RAM dinámica.	Los tipos de ROM son PROM, EPROM, EEPROM.

Fuente: (Pc-solucion, 2018)

La encargada de almacenar en su interior todas las instrucciones y secuencias lógicas del programa que el CPU va a ejecutar. Cada autómata puede variar su memoria dependiendo del fabricante. Por lo general las memorias pueden ser RAM o ROM.

Según el documento de (Aguilera, 2002) Las funciones principales de la memoria del Plc son las siguientes:

- **Memoria del programa de usuario:** En él se carga las acciones que se van a ejecutar.(Aguilera, 2002)
- **Memoria de datos:** Según el tipo de dato la memoria iniciara una subdivisión para almacenar temporizadores, contadores etc.
- **Memoria de codificación:** El microprocesador integrado en la memoria es el encargado de ejecutar el programa que se encuentra codificado en esta zona.(Aguilera, 2002)

2.5.8. CPU

Es el elemento más importante del autómata programable porque es el encargado de supervisar y comunicar todas las partes que lo conforman. Al igual que los computadores poseen en su interior un microcontrolador que va a ejecutar el programa que previamente se almaceno en su memoria, va a leer e interpretar las secuencias lógicas y las ejecutara.

Según el documento de (Aguilera, 2002, pág. 25) nos dice que el CPU tiene la función especial de vigilar el tiempo de ejecución del programa y que este no debe excederse de un tiempo determinado.

2.6. Interface Hombre-Maquina

Debido a la mejora continua de los procesos industriales en los que aumentan sus variables a controlar, el ser humano se vio en la necesidad de comunicarse de alguna manera con todos los dispositivos que conforman un proceso, ya sea para supervisar su trabajo o para dar órdenes de manera que el sistema interprete el mensaje y actué como lo desee el operador.

Cuando una persona y una computadora se comunican lo hacen a través de un medio llamado interface, este medio será diseñado de acuerdo a las exigencias que el proceso a controlar demande. La interfaz es la encargada de recibir la información que el usuario está ingresando en su sistema, para luego procesarla y transmitirla a los dispositivos finales, de esta manera existe una comunicación más fácil y segura para el usuario.(Velasco, 2007).



Figura 2.10: *Panel Con Interface HMI*

Fuente: *Autor.*

2.6.1. Características de la Interfaz al usuario

Existen al menos tres características básicas que una interfaz debe presentar para que tenga un buen diseño y facilite la interacción al operador.

- **Contenido:** El contenido de la interfaz es todo lo que se va a ver representado en la pantalla, es decir texto, graficas, curvas etc. Las cuales estarán presentadas bajo ciertos formatos.
- **Interacción:** La interacción se refiere a como el operador va a ponerse en contacto con la máquina, de los cuales existe el mecanismo de selección digital a través de una pantalla táctil, o del tipo físico mediante un mouse. (Velasco, 2007)
- **Navegación:** Es la forma en la que el usuario se va a desplazar en el sistema de la interface para controlar los parámetros que la conforman.



Figura 2.11: *Interface con navegación táctil.*

Fuente: *Autor*

2.6.2. Modelos de interfaces de usuario

Existen normas que se deben tomar en cuenta a la hora de desarrollar una interfaz para el usuario, de manera que sea de fácil manipulación.

- **Control al usuario:** La interfaz debe dar total libertad al operador de hacer su trabajo, es decir tiene que ser flexible para que el usuario sienta que tiene el control del sistema. Para esto es necesario que la interfaz permita al usuario una fácil navegación en el programa y dar o deshacer ordenes en el momento que el desee.(Velasco, 2007).
- **Memoria del usuario:** La interfaz debe ayudar al usuario a que no tenga que recordar demasiada información, es decir proveer indicaciones al usuario de cómo manipular al sistema, permitir atajos, tener una visión clara de los objetos, y permitir realizar acciones como deshacer, copiar y pegar información. (Velasco, 2007)
- **Consistencia:** La consistencia va enfocada a los resultados, es decir ante una acción debe existir una misma respuesta para todas las veces que se la aplique.

2.7. Comunicaciones industriales

2.7.1. Introducción

Las comunicaciones industriales nos permiten el flujo de datos entre el nivel de campo y el nivel de control, es decir entre los actuadores y los controladores.(Salazar & Correa, 2011).

En la vida diaria para que exista una comunicación debe haber un emisor y un receptor, los cuales se van a entender a través de un idioma. En las comunicaciones industriales se le llama “protocolo” por medio de un sistema en donde va a fluir dicha información. Uno de los principales protocolos que está revolucionando las comunicaciones en el entorno industrial es Ethernet. “Ha tenido un profundo impacto en la industria debido a la posibilidad de utilizar una sola infraestructura de red para distintas funciones proporcionando la integración completa del sistema productivo”. (Salazar & Correa, 2011, pág. 85).

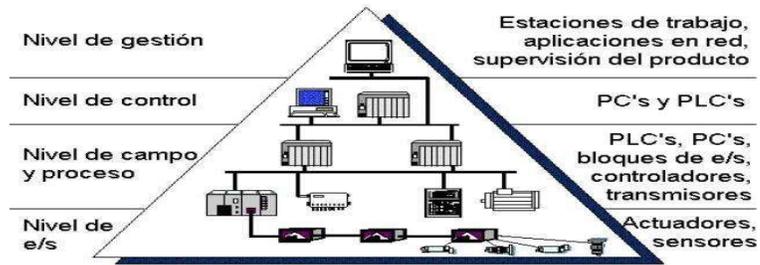


Figura 2.12: Comunicación en pirámide CIM

Fuente: (Marin & Gomez, 2014)

2.7.2. Medios de comunicación

Existen dos tipos de medios para que fluya la información, cableado e inalámbrico como puede ser el wifi o radiofrecuencias. Las características principales de los medios cableados son la velocidad de datos, cobertura y aplicaciones, cabe recalcar que estas características pueden variar según avance la tecnología. Revisaremos los principales medios utilizados por las industrias en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Clasificación de medios cableados e inalámbricos.

	Medio de transmisión	Velocidad de datos	Cobertura	Aplicaciones
Guiado	Fibra Óptica	PON: 155 Mbps a 2.5 Gbps WDM: 40 Gbps SONET/SDH: 10 Gbps	Superior a 60 km Superior a 100 km Superior a 100 km	NAN, WAN
	DSL (del inglés, Digital Subscriber Line)	ADSL: 1 a 8 Mbps HDSL: 2 Mbps VDSL: 15 a 100 Mbps	Superior a 5 km Superior a 3.6 km Superior a 1.5 km	HAN, NAN, WAN AMI
	Cable Coaxial	DOCSIS: 172 Mbps	Superior a 28 km	NAN
	PLC	HomePlug: 14 a 200 Mbps Narrowband: 10 a 500 kbps	Superior a 200 m Superior a 3 km	HAN, NAN AMI
	Ethernet	802.3x: 10 Mbps a 10 Gbps	Superior a 100 m	HAN, NAN
No guiado	Z-Wave	40 kbps	30 m al interior 100 m al aire libre	HAN
	6LoWPAN	40 kbps	Superior a 200 m	HAN
	Bluetooth 802.15.1	Máximo 1 Mbps	10 m usualmente	HAN AMI
	ZigBee Estándar 802.15.4	250 kbps	10 m a 75 m punto a punto	HAN, NAN
	ZigBee Pro	250 kbps	Superior a 1600 m	AMI
	WiFi 802.11x	2 a 600 Mbps	Superior a 250 m	
	WiMAX 802.16	72 Mbps	9 km	NAN, WAN AMI, ADA
	Celular 2G-GSM	14 kbps	10 km	NAN, WAN,
	Celular 2.5G-GPRS	171 kbps	10 km	AMI, EV, ADA
	Celular 3G - UMTS - CDMA2000 -EDGE	Superior a 2 Mbps	Superior a 10 km	
	Celular 3.5G	14 Mbps	Superior a 10 km	NAN, WAN, DER, AMI, EV, ADA
Celular 4G-LTE	300 Mbps y 3.3 Gbps para LTE Avanzado	Superior a 10 km		
Internet Satelital	1 Mbps	100 a 6000 km	WAN	

Fuente: (Giral & Celedon, 2017)

2.7.3. Tipos de comunicación

2.7.3.1. Comunicación en serie

También se lo conoce como buses de comunicación, está conformada por un elemento principal denominado maestro, y elementos secundarios denominados esclavos. El maestro es el único que puede iniciar la comunicación, envía una señal al esclavo el cual debe procesarla y enviar una respuesta de vuelta al maestro, luego de procesar esa respuesta puede volver a enviar otra instrucción.

2.7.3.2. Comunicación en paralelo

También se la conoce como redes de comunicación, a diferencia de la comunicación en serie, vamos a denominar el emisor como cliente y a los receptores como servidores. El cliente puede enviar una o varias peticiones a la vez, ya que los receptores son capaces de recibir múltiples mensajes y gestionar la respuesta simultáneamente.

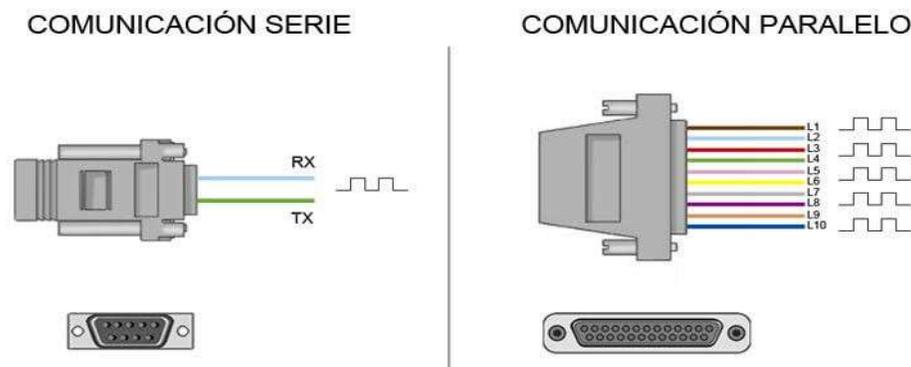


Figura 2.13: Comunicación en serie y paralelo

Fuente: (Llamas, 2014)

2.8. Buses de Campo

2.8.1. Introducción

En la actualidad las industrias buscan mejorar sus procesos obteniendo eficiencia y eficacia en los mismos, para ellos en sus procesos están incorporando dispositivos inteligentes para tener un control o supervisión de manera remota, reduciendo costos de instalación y mantenimiento. Los buses de campo nacen como solución a este problema, ya que reemplaza las conexiones punto a punto de distintos dispositivos de campo con sus controladores y reduce en gran porcentaje el cableado tradicional del circuito.

2.8.2. Definición

Un bus de campo es un entorno de comunicación de datos por medio de un cable que simplifica en gran medida el montaje, conexión y control de una maquina industrial utilizada para un proceso de producción.(Salazar & Correa, 2011)

2.8.3. Ventajas de buses de campo

La ventaja principal de esta tecnología es que representa un gran ahorro para las industrias. Dicho ahorro se deriva de tres fuentes: Costo de instalación, mantenimiento y el ahorro que se obtiene por la mejora del sistema. (Kaschel & Pinto, 2001). En la tabla 2.5 se muestran las ventajas que presentan los buses de campo.

Tabla 2.5: *Ventajas de los buses de campo*

Servicios que debe proporcionar	Ventajas respecto a otros sistemas de comunicación
• Respuesta rápida a mensajes cortos.	• Reducción del cableado.
• Alta fiabilidad del método de señalización y del medio.	• Mayor precisión.
• Una red mantenible y ampliable por el personal de la planta.	• Diagnóstico de los instrumentos de campo.
• Una red que pueda ser conectada al sistema de comunicaciones principal de la empresa.	• Transmisión digital.
• Conectividad a diferentes componentes de distintas marcas.	• Calibración remota.
	• Mecanismos fiables de certificación.
	• Reducción del ciclo de puesta en marcha de un sistema.
	• Operación en tiempo real.

Fuente: (Salazar & Correa, 2011)

2.8.4. Buses de alta y baja funcionalidad

Fueron diseñados para integrar dispositivos del nivel de campo como sensores, actuadores, relés en un mismo bloque de la planta, es decir agrupados en una máquina. El bus CAN, SDS Y ASI pertenecen a este tipo de funcionalidad.(Kaschel & Pinto, 2001)

2.8.5. Buses de altas prestaciones

Fueron diseñados para establecer comunicación en toda la red CIM. Según (Kaschel & Pinto, 2001) nos dicen que algunas veces pueden fallar debido a la carga que se les asigna para alcanzar las características funcionales deseadas, a pesar de ser buses de alta velocidad. Profibus pertenece a este tipo de bus.

2.8.6. Buses estandarizados

2.8.6.1. Interbus.

Basado en un tipo de comunicación en serie (Maestro- esclavo). El maestro bajo una topología anillo actúa como simultáneamente como interfaz con los demás niveles de la pirámide CIM. Las líneas de envío y recepción de datos se encuentran en el mismo cable que une varios dispositivos. Utiliza el estándar RS-485 y puede alcanzar una velocidad de 500 Kbps.(Salazar & Correa, 2011).En la siguiente tabla se detalla características específicas de Interbus.

Tabla2.6: *Generalidades de Interbus*

Denominación	Interbus Fieldbus System
Soporte	Phoenix Contact e Interbus Club.
Cuentas	6.5 millones de nodos.
Topología	Segmentos con ramificaciones, anillo activo.
Medio	Par trenzado de 5 hilos, Fibra óptica.
Elementos	512 y 254 en línea remota (remote bus).4096 E/S como máximo.
Distancia	400 m por segmento, 12.8 km en total (cable) y 80 km (fibra óptica).
Comunicación	Maestro-Escavo con trama única, de carácter determinista (TDMA) .
Velocidad	500 kb/s full duplex, 2 Mb/s.
Datos-paquete	1-64 bytes de datos, 246 bytes de parámetros, 512 bytes HS (telegramas de longitud fija).
Tiempo de ciclo	1.8-7.4 ms.

Fuente: (Reyes, 2015)

2.8.6.2. Canbus

También conocido como Control Área Network, fue diseñado por Bosch para uso en la industria automotriz para reducir la cantidad de hilos conductores. Su velocidad de transmisión va desde los 50 Kbps hasta 1 Mbps dependiendo de la distancia de transmisión. (Salazar & Correa, 2011)

2.8.6.3. Modbus

Fue diseñado en 1979 para establecer comunicación con los PLC Modicon. Se comunica bajo el tipo de comunicación serie por tramas binarias a través de un proceso de interrogación simple. SU velocidad de transmisión es de 38.4 Kbps, 9.6 Kbps y 19.2 Kbps.(Salazar & Correa, 2011)

2.8.6.4. Bus AS-i

Diseñado por Siemens para comunicar actuadores y sensores mediante cualquier topología (serie, estrella o anillo). Según el documento de (Salazar & Correa, 2011) una característica importante es que su diseño no permite errores de polaridad cuando se conectan nuevos dispositivos en la red, además no hay problema si se requiere incorporar un elemento a la red porque no se necesita hacer modificaciones en el cable. Su velocidad de transmisión alcanza los 167 Kbps, y añade dos ciclos adicionales de comunicación con los esclavos para verificación de posibles fallos.(Salazar & Correa, 2011)

2.8.6.5. Hart

Este protocolo de comunicación fue diseñado por la Hart Communication Foundation, trabaja bajo el modo maestro-esclavo para establecer comunicación digital en los sistemas de instrumentación del proceso. Según (Salazar & Correa, 2011, pág. 96), “utiliza el bus analógico estándar 4-20 mA sobre el que transmite una señal digital modulada en frecuencia FSK 1200-2200 HZ. Transmite a 1,2Kbps manteniendo compatibilidad con la aplicación analógica inicial y sobre distancias de hasta 3 km”.

2.9. Profibus

Process Field Bus fue desarrollado bajo el gobierno alemán en los años 80 con el fin de crear una arquitectura de comunicación abierta. Trabaja bajo las normas DIN E 19245 y EN 50170. (Salazar & Correa, 2011). Profibus es un bus de campo aplicable para todos los procesos industriales en los que se desee comunicar todos los dispositivos de campo como sensores, actuadores, PLC, HMI, y demás controladores. Maneja la comunicación del modo maestro- esclavo en donde el maestro es el que va a controlar el bus, los esclavos solo enviaran respuestas cuando el maestro lo solicite.

2.9.1. Interfaz 485

Para realizar la comunicación profibus emplea la interfaz RS-485, está formado por un cable de par trenzado el cual es resistente a las interferencias electromagnéticas y a diferencia del RS232 tiene mayor velocidad de transmisión.

La comunicación de esta norma es Half dúplex o bidireccional, es decir envía y recibe señales en forma alternada empleando hasta 32 emisores y 32 receptores.(Forero, 2012). El conector más utilizado por esta interfaz es el DB9, en la figura 2.14 se muestra su esquema.

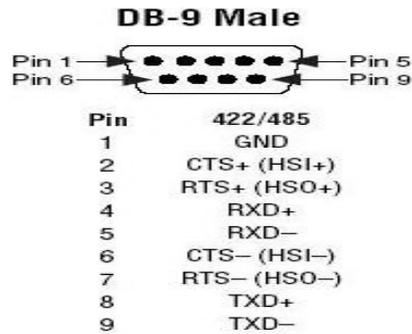


Figura 2.14: Esquema de pines de la interfaz RS485

Fuente: (National Instruments, 2019)

2.9.2. Perfil profibus DP

Es el perfil que vamos a estudiar en esta investigación, por su bajo costo y velocidad de respuesta en transmisión es el más utilizado en el campo. Diseñado especialmente para la comunicación en serie de los controladores con el nivel de campo, una de sus ventajas principales es que permite diagnosticar el estado operativo de los dispositivos y posibles fallos en la comunicación en tiempo real, esto le permitirá al operador evitar ir a sitio para verificar el trabajo, además de que reducirá los mantenimientos de las maquinas al poder detectar los posibles errores con anticipación, convirtiendo un mantenimiento correctivo en uno preventivo.

2.9.3. Perfil profibus PA

Bus de automatización de proceso, está diseñado para el control de instrumentos bajo normas especiales de seguridad para ambientes propensos a explosión como por ejemplo la industria química; se comunica a una velocidad de 31,25 Kbps. (Salazar & Correa, 2011). Este perfil nos permite conectar todo tipo de transmisores y posicionadores por un mismo cable encargado de llevar toda la información al bus. Profibus PA es ideal para soluciones de instrumentos de campo, monitoreo y accionamientos mediante un solo sistema de configuración y diagnóstico.(Gorenberg, 2003).En la tabla 2.7 se mostrara las características

operativas de los tres tipos de perfiles de profibus, siendo el más usado el perfil DP por su capacidad de adaptación a cualquier medio

Tabla 2.7: Cuadro comparativo de los perfiles Profibus

	DP	PA	FMS
Aplicación	Nivel de campo. Comunicación entre Control – E/S Dentro de gabinetes	Nivel de campo. Control de dispositivo externos (fuera de los gabinetes) Dispositivos en áreas de seguridad intrínseca (Ex) petróleo, química	Nivel de célula. Comunicación entre equipos de supervisión y dispositivos a nivel de campos
Velocidad de transmisión	9.6 kbit/s – 12 Mbit/s	31.25 kbit/s	9.6 kbit/s – 12 Mbit/s
Método de transmisión	RS485 Fibra óptica Wireless	RS485 MBP (Manchester Coded Bus Powered)	RS485 Fibra óptica Wireless
Número máximo de nodos	127		
Tamaño de la red	Eléctrica máx. 9.6 km Óptica 150km		
Tamaño del dato de transferencia	0 – 244 bytes		
Tiempo de respuesta	1-5 ms	< 60 ms	< 60 ms

Fuente: (Perez, 2017)

2.9.4. Métodos de acceso a red

Existen dos métodos de acceso a la red por profibus los cuales presentan características que varían según la aplicación del sistema en el que se quiera implementar.

- **Método Token bus:** Este método es aplicable bajo la topología anillo, en el cual se tienen varios maestros o estaciones inteligentes en una misma red conformando un anillo, el esclavo va a rotar de estación en estación siguiendo un orden lógico programado conociendo previamente la identidad de la estación antecesora y sucesora.
- **Método Maestro- esclavo:** Ideal para los procesos en los que un solo maestro va a controlar varios esclavos, se comunica en serie enviando y solicitando información de manera unidireccional.

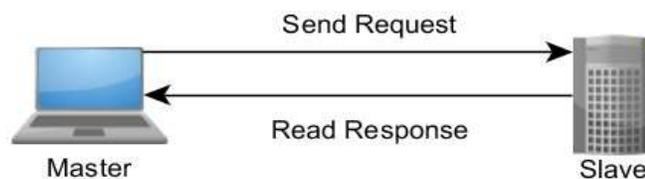


Figura 2.15: Comunicación Maestro- esclavo

Fuente: (National Instruments, 2019)

2.10. Bloque de válvulas con buses de campo

El distribuidor de neumática Micro Automation brinda al mercado varias soluciones de estaciones o bloques de válvulas con comunicación vía bus, esta tecnología supone un gran avance en el control de los procesos neumáticos porque nos va a permitir reducir el costo de montaje o cableado y ayudara al usuario a diagnosticar fallas y sus causas potenciales dentro de la instalación. Las principales estaciones de válvulas que presenta micro automation al mercado son las siguientes:

2.10.1. Bloque de válvulas Multipolo.

Es un bloque de válvulas compacto en el que la conexión eléctrica y neumática se hace de forma interna de la unidad a través de conductores. La estación de válvulas cuenta con un conector normalizado D25 de 25 pines que se va a conectar al PLC mediante un único cable multifilar, lo que va a mejorar su velocidad de instalación y detección de fallas. Las estaciones multipunto permiten solo el montaje de válvulas que soporten 24 Vdc, por lo que en los conectores de las bobinas viene incluido un Led luminoso para detectar su estado operativo; su grado de protección es IP65 y cuenta con un dispositivo electrónico que protege a las bobinas contra picos de tensión.(Micro Automacion, 2018).

2.10.2. Bloque de válvulas con bus de campo AS-i.

Se los caracteriza por tener grandes velocidades de transmisión para comunicar dispositivos electromecánicos como relés, sensores o transductores con la estación de válvulas a través de nodos que los conoceremos como esclavos AS-i, mientras que el PLC tomara el papel de maestro en este tipo de protocolo. La estación de válvulas receptara las señales que envían los sensores por medio de los módulos de entrada que pueden ser hasta tres esclavos As-i a través de conectores M8, y las señales de salida se comunican con las electroválvulas por medio de cableado interno.(Micro Automacion, 2018). El fabricante Micro Automacion presenta dos tipos de conexionado para este tipo de protocolo; Con un solo cable color amarillo el cual en su interior contiene un conductor encargado de la potencia del sistema y otro encargado de conducir las señales. Por otro lado, el modelo de dos cables que trabajaran independientes el de color amarillo encargado de las señales y el de color negro encargado de la potencia de la estación.

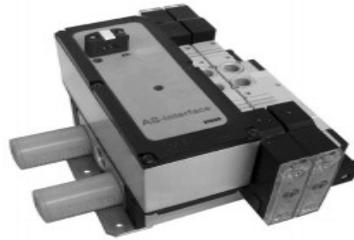


Figura 2.16: *Bloque de válvulas con bus AS-i*

Fuente: *(Micro Automacion, 2018)*

2.10.3. Estación de válvulas con Profibus DP

Profibus DP es muy utilizado en las plantas industriales de manufactura en donde se necesitan altas velocidades que pueden alcanzar hasta los 12 Mbits/s. Según el documento de (Micro Automacion, 2018) este tipo de estación “cuenta en su interior con una placa, a la cual se le asignará una dirección como esclavo en la red, dicha dirección debe ser preseleccionada por medio de dos llaves rotativas que se encuentran en la placa Profibus DP”. Una gran ventaja es que mediante una pantalla HMI o un sistema scada se puede controlar parámetros de las válvulas neumáticas como presión o caudal, además se puede verificar el estado operativo de las mismas, esto es 1 para activa o 0 para inactiva. También se pueden detectar fallas y realizar diagnósticos en tiempo real.



Figura 2.17: *Bloque de válvulas con Profibus*

Fuente: *(Micro Automacion, 2018)*

2.10.4. Tecnología IO-LINK

Es un protocolo punto a punto ideal para gobernar procesos descentralizados en los que además de conectar estaciones Multipolo se puede manejar señales de temperatura o presiones proporcionales. Se pueden conectar varias estaciones de válvulas mediante un solo cable de interfaz de 25 pines. Una gran ventaja es que permite detectar fallas a nivel remoto sin que interrumpa la red principal, por lo que

un operador puede solucionar el error sin necesidad de parar el proceso de producción. (Micro Automacion, 2018).



Figura 2.18: *Bloque de válvulas con bus Io-Link*

Fuente: *(Micro Automacion, 2018)*

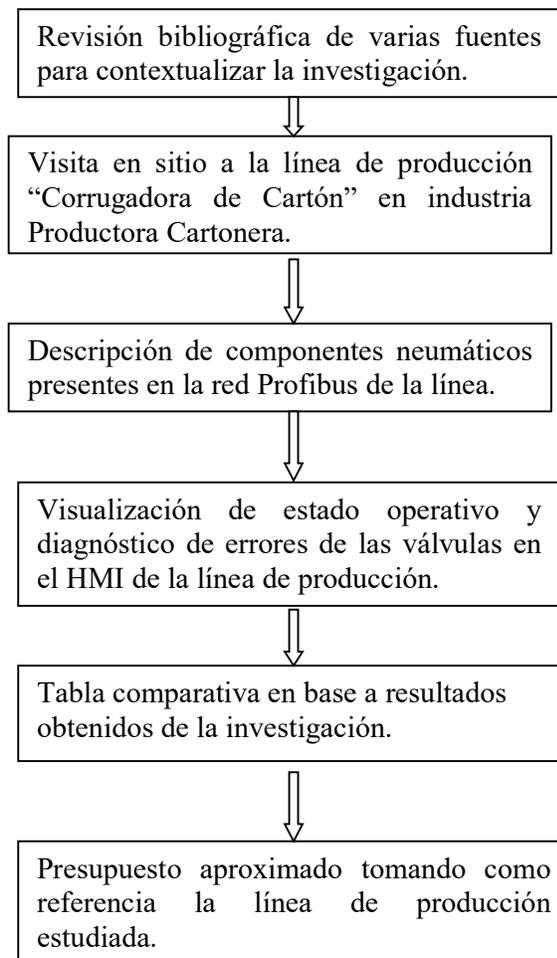
2.11. Tipos de estructura de un bloque de válvulas con bus de campo.

Para cualquier tipo de proceso neumático industrial se necesita un tipo de estructura de bus aplicado al bloque de válvulas. El fabricante Rexroth emplea cuatro tipos de estructuras en sus estaciones neumáticas las cuales son:

- Control directo de bus
- Enlace de diagnostico
- Sistema controlador de válvulas
- Sistema central montado. (Rexroth, 2016)

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

El problema de la investigación nos indica que la mayoría de industrias del país presentan un control electromecánico para los procesos neumáticos, el cual le dificulta a los operadores supervisar la correcta operación de las válvulas y evitar posibles paros de producción, por tal razón se propone estudiar las ventajas que ofrece la aplicación de los buses de campo (Profibus) en la neumática, especialmente en los bloques de válvulas. En el presente capítulo se trabajará en alcanzar los objetivos específicos descritos en el capítulo 1, por lo que el procedimiento a seguir será el siguiente.



3.1. Revisión de bibliografía de buses de campo en procesos neumáticos industriales.

Este primer objetivo específico se lo desarrollo basándose en revistas de varios autores sobre el tema planteado, de lo cual se destaca los bloques de válvulas con bus de campo Profibus Dp y la estructura de enlace que pueden tener en una red para el control del proceso neumático.

3.1.1. Topología de red Profibus para comunicación Maestro-Eslavo.

Según el documento de los ingenieros Pedro Troya y Ángel Poaquiza, en el que se implementó un módulo de adquisición de datos empleando una red Profibus, indican que la topología maestro-esclavo es la ideal para tener un bloque de comunicación estructurado optimizando el consumo de memoria y respuesta del PLC. En la figura 3.1 se mostrara la red típica de una comunicación Profibus del tipo maestro esclavo (Micro Automacion, 2018).



Figura 3.1: “Topología maestro-esclavo de una red Profibus”

Fuente: (Suarez, 2016)

3.1.2. Soluciones de comunicación con bus de campo para plantas de manufactura según Micro Automacion.

Según el documento de Micro Automacion “estaciones de valvulas”, nos dice que Profibus Dp es un protocolo de comunicación ideal para las industrias de manufactura como la cartonera, en donde se necesitan altas velocidades que pueden variar entre los 9.6 kbits/s y 12 Mbits/s con un alcance de hasta 1.200 m.

Un bloque de válvulas con protocolo Profibus cuenta en su interior con una placa, la cual tendrá una dirección como esclavo en la red, la cual se preselecciona por medio de dos llaves dentro de la placa Profibus DP. Los archivos GSD presentes en estas placas le permiten al programador una integración rápida de un bloque de válvula a cualquier red Profibus, evitando una compleja programación. (Micro Automacion, 2018).

3.1.3. Ahorro de cableado eléctrico en las estaciones neumáticas con bus de campo según SMC.

Según el documento de SMC Automacion, nos dice que un bloque de válvulas es una estación modular en donde se agrupan varias válvulas con el fin de ahorrar espacio en la instalación, por lo que va a tener una entrada de aire común y salidas laterales independientes por cada válvula presente en el bloque. La integración de la electrónica, es decir señales digitales para activación y desactivación de las bobinas de las válvulas, es lo que la diferencia de un bloque de válvulas neumáticas de control electromecánico en el que la conexión eléctrica se hace de manera independiente por cada bobina. Si se tiene un control por bus de campo se hace una conexión directa con un solo cable de comunicación. Los sensores o actuadores como finales de carrera son los encargados de emitir señales a través del bus que se comunicara con los solenoides que operan las válvulas, y que por ultimo estas controlaran a los cilindros neumáticos. (SMC, 2019)

3.1.4. Comunicación de bus con estructura o control directo según Rexroth.

En el documento de Rexroth “sistemas integrados de bus de campo” nos dice que para cada aplicación de un proceso de producción se necesita una estructura de enlace específica. Este tipo de control permite la conexión directa entre el bloque de válvulas neumáticas y el bus de campo del tipo maestro-esclavo sin necesidad de un módulo o un cableado adicional. Ideal para un solo tipo de aplicación sin funciones extras por lo que va a reducir en gran cantidad el costo de instalación. En cuanto a la conexión del bus se lo hará directamente en el bloque de válvulas el cual va a trabajar como esclavo de la red, tal como lo muestra la figura 3.2. (Rexroth, 2016).

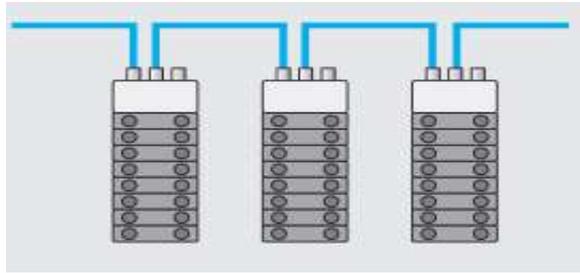


Figura 3.2: Estructura de control directo de bus

Fuente: (Rexroth, 2016)

3.1.5. Diferentes buses de campo en estaciones de válvulas neumáticas.

Así como se revisó en el capítulo 2 en el enunciado 2.10 existen diferentes protocolos de comunicación aplicados en bloque de válvulas neumáticas para su control, mediante la tabla 3.1 describiremos sus características más importantes.

Tabla 3.1: Buses de campo en estaciones de válvulas.

Aspecto	Profibus	Devicenet	As-i	Modbus
Topología	Estrella, árbol, anillo.	Lineal.	Estrella, árbol, anillo.	Lineal.
Velocidad de transmisión	12 mbit/s	500 kb/s	167 kbit/s	192 kb/s
Acceso a la red.	Maestro-esclavo.	Paso de testigo.	Maestro-esclavo	Maestro-esclavo.
Tipo de conexión	Cable par trenzado	Par trenzado.	Cable de dos hilos.	Par trenzado.
Longitud de red	80 km.	500 m.	200 m.	1 km.

Fuente: Autor

3.1.6. Contextualización con la investigación.

De acuerdo a los documentos revisados de otros autores para el desarrollo de este capítulo, pudimos notar que los buses de campo son de gran utilidad dentro de las comunicaciones industriales ya que aseguran grandes velocidades de transmisión y reducen la posibilidad de fallos. Existen varios buses de campo de los cuales se destaca Profibus, siendo el más utilizado a nivel mundial por su facilidad de programación al emplear la topología maestro-esclavo y por su alcance, lo que le permite al operador una mejor supervisión de sus dispositivos de campo. En nuestra

investigación la línea de producción que se estudiara presenta la estructura de control directo de bus, por lo que va a reducir en gran cantidad el costo de instalación, y su conexión se la hará directamente en el bloque de válvulas el cual va a trabajar como esclavo de la red profibus recibiendo señales de activación por parte del PLC.

3.2. Procesamiento de información en sitio, tomando como referencia la línea de producción “corrugadora de cartón” de la industria productora cartonera de la ciudad de Duran.

Para alcanzar el objetivo específico número dos, primero se hará una breve descripción de la industria productora cartonera, así como su ubicación geográfica. Luego se describirá la línea de producción corrugadora de cartón y la red profibus que muestra los elementos que la componen, los cuales analizaremos con detalle para conocer las ventajas de la comunicación mediante bus de campo aplicado a los bloques de válvulas neumáticas.

3.2.1. Descripción de la Industria Productora Cartonera.

También conocida como PROCARSA se fundó en el año 1965 bajo la razón social de Productora cartonera s.a. Es una empresa líder en la industria cartonera que aporta soluciones integrales dirigidas principalmente al mercado ecuatoriano. Dentro de los productos que ofrece al mercado se encuentran los empaques de cartón corrugado en los que se encuentra el corrugado medio, Kraftliner y kraftliner blanco el cual tiene propiedades de alta resistencia.



Figura 3.3: *Productora cartonera S.A*

Fuente: *Autor.*

3.2.1.1. Ubicación geográfica

Se encuentra ubicada en el parque industrial de la ciudad de Duran en el Km 6.5 vía Duran –Tambo. Como se puede observar en la figura 3.6 se observa que esta junto a la industria Surpapel del mismo grupo cartonero, y debido a su ubicación en el centro del parque industrial Duran está rodeada de varias industrias.



Figura 3.4: Ubicación de la industria Procarsa

Fuente: (Goggle Earth, 2019)

La industria Procarsa cuenta con su propia subestación eléctrica y alimenta la planta con voltajes de 208V y 400V para las diferentes líneas de producción para la elaboración de su producto final, de las que podemos destacar la línea de corrugadora de cartón a la cual haremos el estudio ya que cuenta con la tecnología de buses de campo aplicados a la neumática industrial. La supervisión de esta línea está bajo el mando de un supervisor técnico y 6 operadores.

3.2.2. Línea de producción corrugadora de cartón.

Actualmente es una de las más importantes líneas de producción que tiene la industria Procarsa y se divide en dos etapas: La empalmadora de bobinas de cartón y la cortadora longitudinal. Toda la línea está alimentada por una tensión de 400 Vac, pero la parte de circuitería digital se utiliza 24Vdc por ejemplo para los PLC. Es importante recalcar que trabaja las 24 horas del día los 7 días de la semana, teniendo paros de mantenimientos programados los domingos. La supervisión de esta línea está bajo el mando de un supervisor técnico y 6 operadores.

3.2.2.1. Estudio del bus de campo profibus Dp para el control de procesos neumaticos de la línea de producción corrugadora de carton.

La línea de producción corrugadora de carton se divide en dos máquinas que son: la empalmadora de bobinas y la cortadora longitudinal las cuales se complementan entre sí para obtener laminas de carton a la medida solicitada por el cliente.

En ambas máquinas de la corrugadora de carton se emplea el protocolo Profibus para la comunicación entre el PLC y el bloque de válvulas neumáticas mediante el HMI. Utiliza el perfil DP, ya que como se menciona en el capítulo 2 página 49 este perfil es el más utilizado en el campo debido a su costo y su posibilidad de diagnóstico de errores y supervisión de estado operativo de los dispositivos controlados.

En esta línea Profibus DP emplea una comunicación del tipo maestro-esclavo, en la que el maestro será el PLC y el esclavo será el bloque de válvulas, y por medio del HMI el operador podrá tener un control de los parámetros del bloque, como por ejemplo su estado operativo. La corrugadora cuenta con una estructura de tipo control directo de bus, es decir el PLC controlará directamente el bloque de válvulas enviando señales digitales para su activación o desactivación según se requiera.

Como se mencionó en el enunciado previo el estudio de esta línea de producción se debe hacer por etapas para conocer los dispositivos que la componen y su funcionamiento, las cuales se detallarán a continuación.

3.2.3. Empalmadora de bobina

La empalmadora de bobinas es una máquina de última tecnología que puede ser operada manual o automáticamente, esta última para tener una carga de bobina sencilla y sin fallos, además para evitar que se pueda dañar el rollo de papel al montarlo en la bobina.

Cuenta con dos portabobinas en donde se ingresan rollos de papel corrugado, los cuales van a desenvolverse para pasar a la máquina cortadora longitudinal. Los portabobinas trabajan alternadamente, es decir cuando un rollo de papel corrugado termina de desenvolverse el otro automáticamente cumplirá el mismo proceso. El empalmador será el encargado de unir los extremos del rollo por acabarse y el que iniciará el proceso, permitiendo que el flujo del papel sea continuo. En la figura 3.5 podemos ver la máquina empalmadora de bobina.



Figura 3.5: *Maquina empalmadora de bobinas de cartón.*

Fuente: *Autor*

3.2.4. Red Profibus de la empalmadora de bobinas.

La empalmadora de bobinas cuenta con una red Profibus de tipo maestro esclavo, en donde el Maestro sera un PLC ET200S y el esclavo sera un bloque de valvulas marca Rexroth de 5 vias dos posiciones que controloran los cilindros neumaticos del proceso. Adicional al Plc estaran conectados otros dispositivos de campo como motores y sensores los cuales no constan dentro de la comunicación Profibus, tal como lo muestra la figura 3.6. Cada componente de la red se detallara en los siguientes enunciados.

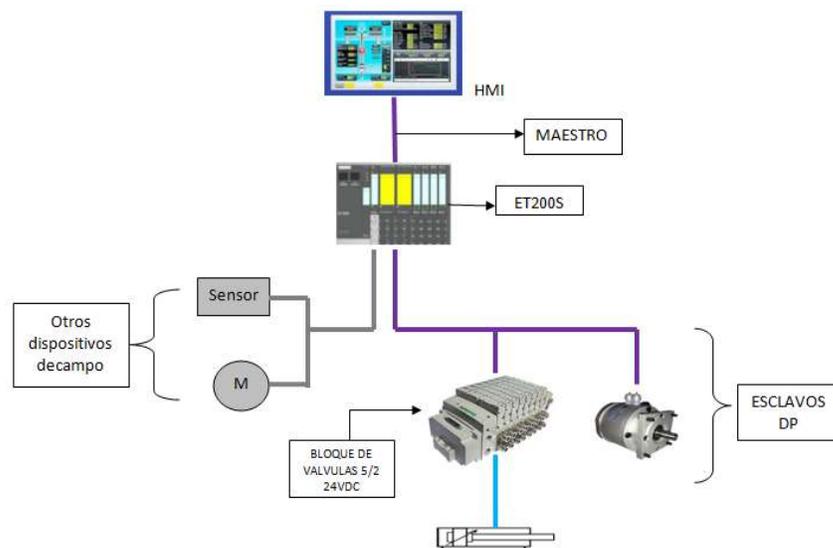


Figura 3.6: *Red profibus Dp de la maquina empalmadora de bobinas*

Fuente: *Autor*

3.2.4.1. Bloque de valvulas neumaticas

La maquina empalmadora cuenta con un bloque de 9 valvulas de 5 vias y dos posiciones que comandaran los cilindros neumaticos de doble efecto que estan distribuidos en la maquina para diversas funciones, de los cuales se destacan los dos mas importantes que son: para la cuchilla la cual corta el papel cuando acabe el rollo, y el freno del portabobina que detiene el giro de este para dar paso al siguiente. En la figura 3.7 se muestra el bloque de valvulas marca Rexroth 5/2 posiciones.



Figura 3.7: Bloque de valvulas 5/2 Rexroth.

Fuente: Autor

3.2.4.2. PLC Siemens ET200S

El PLC que controla esta etapa es el ET200S marca siemens del tipo modular que tiene una interfaz RS485 para puerto profibus, encargado de enviar las señales digitales a las solenoides de las válvulas para activarlas y cambiar su estado o posición. En la figura 3.8 se muestra el Plc en mencion con el conector Profibus.



Figura 3.8: Plc Siemens ET200S

Fuente: Autor

3.2.4.3. Supervision de estado operativo de las valvulas

Gracias a la aplicación de este tipo de automatización se puede supervisar o controlar el estado operativo de las válvulas, esto se refiere a conocer si la solenoide de una válvula está operando en ese momento. Esto se lo realiza por medio de la

comunicación profibus que existe entre el PLC y el HMI en la cual por medio de un panel táctil alfanumérico ingresamos a su interface y se puede seleccionar el tipo de variable que queremos supervisar, en este caso si se quiere ver si una válvula de bloque está operativa se debe ingresar la clase de variable que sería tipo booleana para leer su estado en 0 o 1, o lo que sería lo mismo activada o desactivada. En la figura 3.9 se puede observar el panel que nos muestra el valor de estado de una válvula.

Conexión	Tipo	No. DB	Offset	Bit	Tipo d...	Form...	Valor de estado
BLC	1		22	1	BOOL	DEC	1

Figura 3.9: Supervisión de esta operativo de una válvula

Fuente: Autor.

3.2.5. Cortadora longitudinal

En esta etapa de la línea corrugadora llegan láminas de papel que fueron procesadas previamente en la empalmadora de bobinas. Esta máquina se encarga de hacer un corte transversal a las láminas en la medida que lo requiera el cliente que puede ser máximo hasta 2.800 mm y dependiendo de la longitud del corte una base sostenida por cilindros neumáticos se eleva para direccionar la lámina hacia las cuchillas. La máquina es alimentada por 400V para los circuitos de potencia, pero para la circuitería digital emplea 24 Vdc.

3.2.6. Red Profibus de la cortadora longitudinal

La máquina cortadora longitudinal cuenta con una red Profibus de tipo maestro esclavo, en donde el Maestro será un PLC ET200M y los esclavos serán dos bloques de 14 válvulas cada uno, marca Aventics de 5 vías dos posiciones a 24Vdc que controlan los cilindros neumáticos del proceso, tal como lo muestra la figura 3.10. Cada componente de la red se detallará en los siguientes enunciados.

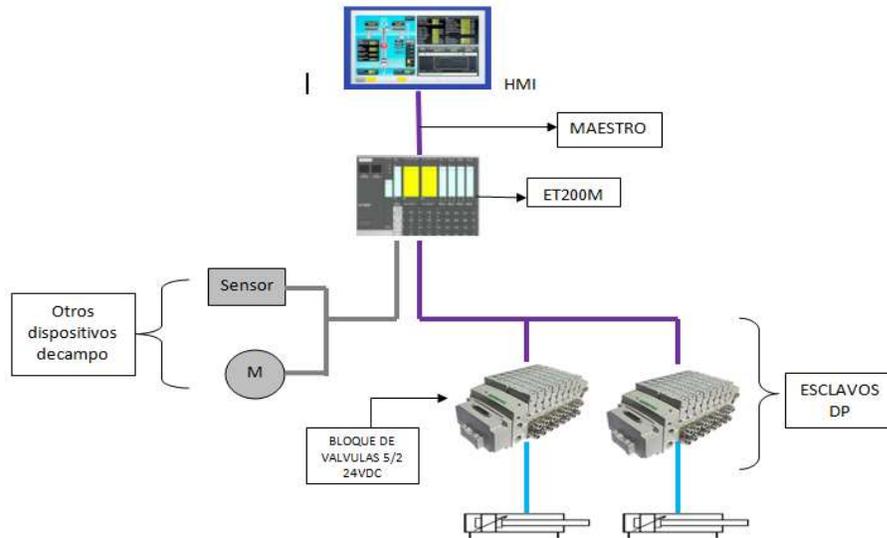


Figura 3.10: Red profibus Dp de la maquina cortadora longitudinal.

Fuente: Autor

3.2.6.1. Bloque de válvulas neumáticas

En esta máquina se utilizan dos bloques de 14 válvulas 5 vías dos posiciones marca Aventics las cuales van a comandar el accionamiento de los cilindros neumáticos doble efecto que están adaptados en serie a la base que elevara la lámina para su corte. Cabe mencionar que los cilindros de esta máquina se conocen como tambores porta cuchillas y se activaran en base a la longitud de corte que se vaya a realizar. En la figura 3.11 se puede observar el bloque de válvulas mencionado, que se encuentra debajo de la máquina.



Figura 3.11: Bloque de válvulas 5/2 marca Aventics

Fuente: Autor

3.2.6.2. Plc Simatic ET 200M

El plc que se utiliza en la cortadora longitudinal es el Simatic ET200M marca siemens el cual cuenta con módulo de interfaz de comunicación Profibus. Es un Plc

tipo modular que permite ampliaciones de sus módulos y es muy eficaz a la hora de diagnosticar errores en la comunicación. En la figura 3.12 se muestra el Plc en mención.

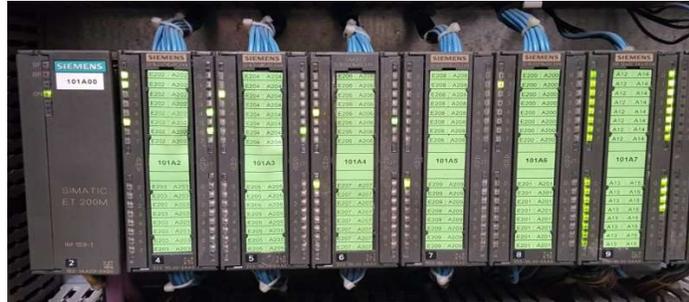


Figura 3.12: *Plc Simatic ET200M*

Fuente: *Autor*

3.2.6.3. Supervisión de estado operativo

La diferencia de esta máquina contra la empalmadora de bobinas es que aquí se podrá revisar el estado operativo de las válvulas mediante una interfaz HMI gráfica, en la que se puede ver que válvulas han recibido la señal del Plc para su activación. Cabe mencionar que la activación del número de válvulas que se quieran activar van de la mano con el pedido que el operador solicito, es decir la longitud de papel que se requiera cortar. En la figura 3.13 se muestra de forma gráfica el estado de cada una de las válvulas que han recibido señal, en este caso el pedido del operador es una longitud de 2.800 mm de papel y por esa razón se puede apreciar que todas las válvulas están activadas, por ende, todos los cilindros porta cuchillas deberán desplazar su vástago para hacer el corte. (Ver anexoA.1.4).

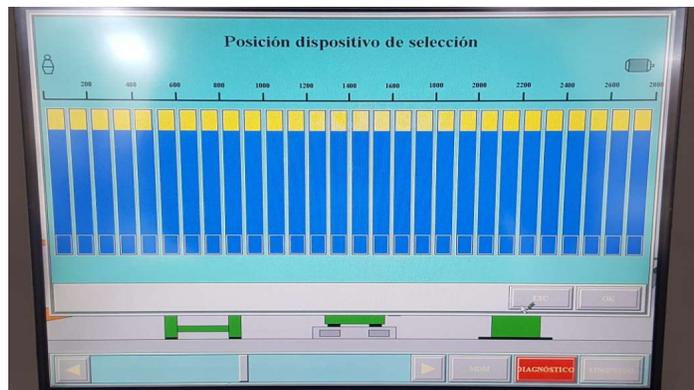


Figura 3.13: *Estado operativo de válvulas mediante HMI grafico*

Fuente: *Autor*

3.2.6.4. Diagnóstico de errores

Es posible que un cilindro neumático no funcione como debería a pesar de que el Plc envíe señal a la solenoide de la válvula para su activación, esto pasa generalmente cuando el cilindro tiene una contrapresión en su interior y no permite su correcto funcionamiento, o también puede ser que un exceso de presión cause la rotura del sello y permita fuga de aire. El operador de esta máquina es capaz de detectar mediante por medio del HMI en qué lugar de la maquina se encuentra el error y su posible causa. En la figura 3.14 se muestra un tipo de error en los porta cuchillas o cilindros neumáticos que se genera por un exceso de presión.

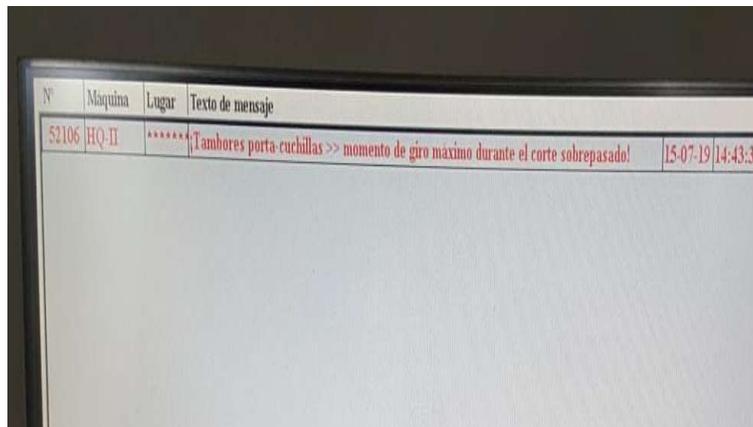


Figura 3.14: Diagnostico de error mediante panel HMI.

Fuente: Autor

3.3. Tabla comparativa entre los bloques de válvulas controladas por bus de campo y las estaciones de válvulas controladas electromecánicamente para actuar en la línea de producción corrugadora de cartón.

Para obtener el objetivo específico número tres diseñamos una tabla comparativa entre el control de un bloque de válvulas comunicadas por bus y el control de un bloque de válvulas operadas electromecánicamente para la línea de producción corrugadora de cartón de la industria productora cartonera de la ciudad de Duran y hacemos una descripción de cada característica para justificar las ventajas del control por bus de campo.

En la primera columna encontraremos las características comparativas, en la segunda y tercera columna se expondrán las cualidades de cada tipo de control respectivamente.

Tabla 3.2: Comparación de un control electromecánico y un control por bus de campo de un bloque de válvulas para la línea de producción corrugadora de cartón.

Características	Bloque de válvulas 5/2 marca Aventics modelo 411A de control electromecánico.	Bloque de válvulas 5/2 marca Aventics modelo A501A de control por bus de campo.
Tipo de señal de control.	Eléctrica	Digital
Tipo de conexión de señal.	Cableado independiente para las 28 bobinas divididas en dos bloques de 14 válvulas numatics.	Un solo cable multipar conectado al PLC por interfaz RS485 para conectar cada bloque de 14valvulasnumatics.
Activación de la bobina.	Desde la fuente de alimentación se hace una conexión directa e independiente por cada una de las 28 bobinas.	El PLC Simatic es el encargado de la activación de las 28 bobinas enviando señales digitales.
Voltaje de alimentación.	220 Vac para alimentar cada bloque de 14 válvulas.	24 Vdc utiliza cada Bloque de válvulas que recibe las señales del PLC Simatic.
Velocidad de respuesta.	Puede variar entre 7.3-9ms para energizar cada bobina de cada válvula de manera independiente.	12 Mbits/s es el flujo de datos que será igual en ambos bloques de 14 válvulas en esta línea de producción
Protección de la bobina.	Ambos bloques de válvulas presentan Protección IP25.	Ambos bloques de válvulas cuentan con Protección IP65.
Diagnóstico de errores.	El operador de la corrugadora de cartón deberá hacer un diagnóstico manual en sitio.	El diagnostico se lo puede hacer de manera Remota mediante un HMI gráfico y alfanumérico.
Supervisión de estado operativo.	Los bloques de válvulas de la corrugadora solo cuentan con Indicadores LED luminosos.	El operador podrá supervisar de manera remota mediante un HMI el estado operativo de cualquiera de las 28 válvulas, además de que cada una cuenta con un LED luminoso.

Fuente: Autor

3.3.1. Análisis de la tabla comparativa

En esta parte de la investigación y habiendo analizado la tabla 3.2, las ventajas que tiene un bloque de válvulas controlado por bus frente a uno controlado electromecánicamente las vemos a continuación.

a) Tipo de señal de control.

El tipo de señal que se emplea en un bloque de válvulas con control por bus es digital es decir señales de 0-1 para activar y desactivar las bobinas de las válvulas lo que nos permite un mejor control de estas al realizarlo desde el PLC Simatic, diferente a un control electromecánico en el que se emplea señal eléctrica y la activación de las bobinas suelen fallar por una mala conexión de los cables.

b) Tipo de conexión de señal

En la corrugadora de cartón el tipo de conexión de señal del bloque de válvulas controladas por bus se basa en un solo cable multipar con interfaz RS485 que envía señal a las 28 solenoides divididas en dos grupos de 14 válvulas marca Aventics, con esto se ahorra el cableado eléctrico que se hace normalmente para cada bobina independiente en un bloque de válvulas de control electromecánico, ahorrando también tiempo de instalación de los bloques de válvulas. Además, muchas veces la identificación de un conductor puede ser dificultosa debido a la cantidad de cables que se cruzan entre sí, como lo muestra la figura 3.12.

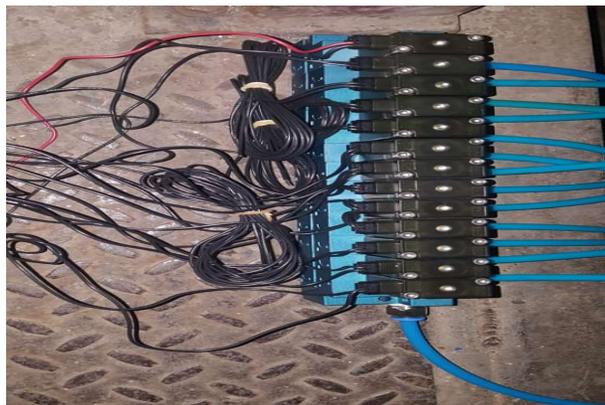


Figura 3.15: Cableado de conexión de bobinas en control electromecánico

Fuente: Autor

c) Activación de la bobina

Para poder activar la bobina de las 28 válvulas divididas en dos bloques en el control electromecánico se debe necesariamente hacer una conexión directa e independiente de cada una de ellas hasta la fuente de poder, lo que implica más gastos de instalación y un posible fallo de cualquiera de ellas, diferente del bloque de válvulas controladas por bus en las que el PLC Simatic es el encargado de enviar los pulsos de 0 o 1 para su activación o desactivación respectivamente lo cual es importante porque mediante el PLC se puede tener un mejor control de las bobinas de las 28 válvulas al estar conectadas a un solo cable. En la figura 3.13 se muestra la conexión del bloque de válvulas numatics para la activación de su bobina.

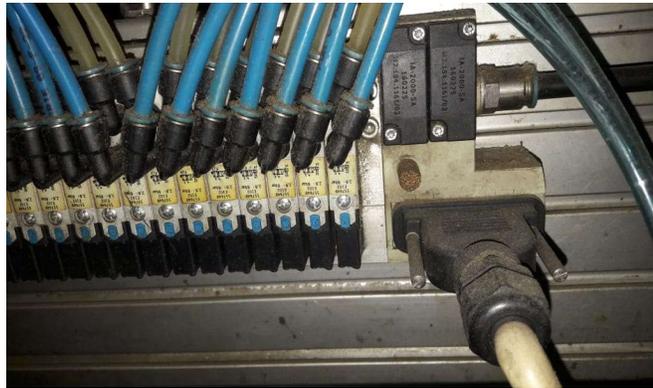


Figura 3.16: *Activación de bobinas de bloque de válvulas numatics*

Fuente: *Autor*

d) Voltaje de alimentación

En la corrugadora de cartón se utiliza 24 Vdc para enviar señales digitales desde el PLC Simatic al bloque de válvulas numatics ,por lo que es poco probable que las bobinas de las válvulas se quemen por picos de tensión, diferente del control electromecánico que utilizan 220vac en el que el problema que siempre se ha presentado en esta línea de producción es que las bobinas se queman cuando la maquina enciende y envía señal a las válvulas, con esto se debe parar la producción hasta conseguir reemplazar la bobina dañada lo que genera retrasos en la entrega de pedidos de esta línea.

e) Velocidad de respuesta

La velocidad de respuesta en la cortadora longitudinal resulta importante porque al hacer cortes en las láminas se lo debe hacer de manera rápida, precisa y homogénea. El bloque de válvulas de esta línea es controlado por el bus de campo Profibus que tiene una velocidad de transmisión de datos de 12Mbit/s, este flujo de datos es igual para las 28 bobinas de los bloques de válvulas numatics, lo que es importante para que la activación de las válvulas, y por consiguiente la acción de los cilindros se den al mismo tiempo con el fin de realizar un corte limpio y homogéneo. Diferente ocurre con un control electromecánico en el que la velocidad de respuesta puede variar para la activación de válvulas entre 7.3ms a 9 ms y al ser una conexión independiente por cada bobina una puede tardar en energizarse más lento que otra y puede afectar el corte de la lámina de cartón en su homogeneidad y precisión.

f) Protección de la bobina

En la cortadora longitudinal al momento de cortar las láminas de cartón se desprende polvillo derivado de este producto lo que crea un ambiente contaminado con partículas sólidas. Por lo que resulta de gran importancia una buena protección de las válvulas para su buen desempeño ya que si por algún motivo la bobina se encuentra con partículas en su interior es posible que no haga el cambio de posición y el cilindro neumático no funcionaría correctamente. Los bloques de válvulas controladas por bus cuentan con protección IP65 la cual nos dice que tiene alta resistencia contra partículas sólidas como polvo y es resistente a la humedad para cuando se necesite hacer una limpieza de la máquina. Diferente del control electromecánico en el que las bobinas cuentan con una protección IP25 lo que nos dice que tiene poca tolerancia contra las partículas sólidas lo que disminuye su vida útil y en algunas ocasiones detener la producción.

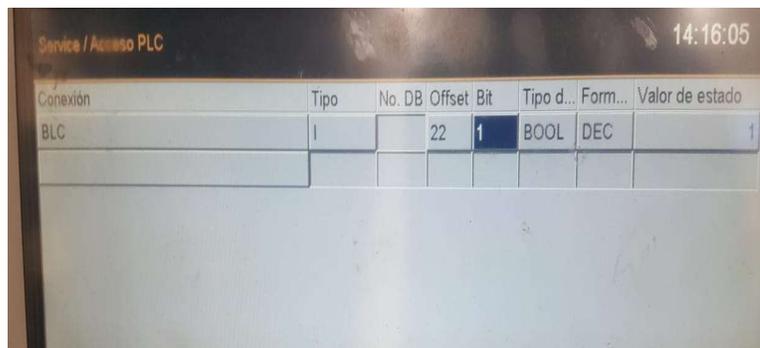
g) Diagnóstico de errores

Los bloques de válvulas de control electromecánico, en las máquinas de la corrugadora de cartón se encuentran debajo de estas con un difícil acceso para su revisión, por lo cual, cuando se ha detectado errores se ha parado producción para revisar en sitio cual es la causa y dar solución al problema, lo que ha dado lugar a altos costos por mantenimiento correctivo en esta línea de producción para la Industria Cartonera. En un bloque de válvulas de control por bus de campo el operador tendrá la facilidad de diagnosticar un error de manera remota mediante el

HMI gráfico de la máquina y tratar de evitarlo, con esto se reduce en gran medida el paro de la producción.

h) Supervisión de estado operativo de válvulas

Uno de los problemas en la corrugadora de cartón en las válvulas de control electromecánico es que la única manera de que el operador conozca cuando una válvula está operando normalmente al haber recibido señal para su activación es verificando si el indicador LED luminoso esta encendido, lo que resulta un problema cuando por alguna razón este indicador se quemó o deje de funcionar, lo que llevaría al operador a revisarlo físicamente en sitio. En un bloque de válvulas controladas por bus de campo por bus el control de operación de las válvulas se lo realiza de una manera más sencilla. Esto se hace ingresando a la red del PLC mediante el HMI seleccionando la válvula que se desea supervisar y verificar su estado operativo el cual es 0 para desactivado y 1 para activado como se muestra en la figura 3.14. Esta es una de las grandes ventajas que presenta este tipo de control ya que el operador no solo dependerá de un indicador luminoso, sino que podrá supervisar todas las 28 válvulas de la cortadora longitudinal de manera remota.



Conexión	Tipo	No. DB	Offset	Bit	Tipo d...	Form...	Valor de estado
BLC	I		22	1	BOOL	DEC	1

Figura 3.17: Supervisión de estado operativo de una válvula neumática

Fuente: Autor.

3.4. Elaboración de un presupuesto aproximado para una futura instalación de un bloque de válvulas neumáticas controladas por bus de campo.

De acuerdo con el cuarto objetivo específico, se elabora un presupuesto aproximado para una futura instalación de un bloque de 28 válvulas neumáticas controladas por el bus de campo Profibus con el perfil DP tomando como ejemplo la línea de producción corrugadora de cartón de la industria Productora Cartonera.

Tabla 3.3: Presupuesto para la instalación del sistema

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	V/UNIT.	V/TOTAL
A501A	Bloque de 28 válvulas marca Aventics Modelo A501A con interfaz profibus DP	1	\$ 9413.25	\$9.413,25
ET200S	Plc Simatic con interfaz Profibus Dp	1	\$655.00	\$655,00
DP30P	Cable apantallado Profibus 30 metros	1	\$34,64	\$34,64
JPC10-03	Conector recto 10 x 3/8" NPT marca CONEK	1	\$1,98	\$1,98
JPC8-02	Conectores rectos 8 x 1/4" NPT marca CONEK	56	\$1,55	\$86,80
TB02	Tapones de bronce de 1/4" NPT marca EMC	3	\$1,18	\$3,54
BS-02	Filtros silenciadores de 1/8" NPT marcas EMC	3	\$2,05	\$6,15
M-065	Mano de obra incluye: Montaje, programación y pruebas.	1	\$360.00	\$360.00
			TOTAL	\$10,561.36

Fuente: Autor

En la tabla 3.3 se puede visualizar el presupuesto de \$10,201.36 dólares americanos por parte de la empresa Ainsa s.a proveedora de materiales neumáticos localizada en la Av. Juan Tanca Marengo, para una futura instalación de un bloque de 28 válvulas neumáticas con puerto profibus Dp y sus accesorios.

Cada ítem contemplado en este presupuesto es de gran importancia para el buen desempeño del bloque de válvulas y deben ser correctamente dimensionados, las características que nos brinda el proveedor son las siguientes:

- Bloque de 28 válvulas marca Numatics procedencia Americana de 5 vías dos posiciones, alimentación de 24 Vdc, presión máxima de operación 200 psi con interfaz de conexión Profibus DP.
- PLC Marca Siemens procedencia alemana modelo ET200S con interfaz de conexión Profibus Dp, soporte hasta 63 módulos electrónicos I/O.
- Conector marca Conek procedencia Koreana, Rosca ¼" Npt con entrada de 8mm de manguera aire, presión máxima de operación 175 Psi.
- Conector marca Conek Procedencia Koreana, Rosca 3/8 Npt con entrada de 10mm de manguera de aire, presión máxima de operación 175 Psi. Este conector será la entrada de presión hacia el bloque de valvulas.

- Tapón de bronce marca Emc procedencia coreana, rosca de 3/8" Npt
Máxima presión de operación 175 Psi. Este material servirá para taponar los puertos abiertos presentes en el bloque de válvulas.
- Filtros silenciadores de bronce marca Emc procedencia coreana, rosca de 3/8" Npt, máxima presión de operación 175 Psi. Este material se lo coloca en los puertos abiertos del bloque de válvulas en caso de no hacer uso de los tapones, y permitirá minimizar el ruido proveniente del aire a presión que emite el bloque de válvulas.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

1. De acuerdo a la bibliografía revisada del control por bus de campo de los procesos neumáticos, el más utilizado y eficaz para la industria de manufactura es Profibus Dp al tener altas velocidades de respuesta y un mejor control del PLC sobre las válvulas al emplear una comunicación maestro-esclavo.
2. Con la aplicación del bus de campo Profibus Dp en la línea de producción corrugadora de cartón, se facilitó el control de los procesos neumáticos para los operadores de la máquina, lo que generó un mejor producto final para el cliente y una reducción de los mantenimientos correctivos en los dispositivos de esta línea.
3. Los Bloques de válvulas neumáticas controladas por Profibus DP en la línea corrugadora de Cartón son más eficientes, ya que tienen alta velocidad de respuesta y es igual para todo el bloque, lo que permite un corte limpio y homogéneo del cartón.
4. El presupuesto elaborado para una futura instalación de un bloque de válvulas controladas por bus de campo se verá reflejada como una inversión en el tiempo, debido a su posibilidad de diagnosticar errores de manera remota lo que reducirá gastos por mantenimientos correctivos y paros de producción.

4.2. Recomendaciones.

De acuerdo a lo observado durante el desarrollo de la investigación se detallarán puntos importantes a tener en cuenta para una futura implementación de esta tecnología en un proceso neumático industrial.

- Tener claro cuál es la distancia que se requiere para una comunicación entre un Plc y un bloque de válvulas con el fin de seleccionar el bus de campo adecuado para evitar errores en la comunicación por distancia.
- Revisar periódicamente las conexiones del cable de comunicación entre el Plc y el bloque de válvulas, ya que una de las principales causas del fallo de comunicación es el deterioro del cable.
- Realizar periódicamente una limpieza de la zona donde estará ubicado el bloque de válvulas de control por bus de campo para alargar su vida útil.
- Colocar un regulador de presión a la entrada de un bloque de válvulas para evitar que ingrese un exceso de presión que pueda dañar los mecanismos de la misma.
- Dimensionar y seleccionar de manera adecuada la capacidad de los dispositivos neumáticos que se utilizaran en una instalación con el fin de tener un ahorro económico y energético.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, P. (2002). *Programacion de PLC*. Nuevo Leon.
- Alex. (24 de Septiembre de 2015). *Tecnologias*. Recuperado el 25 de Julio de 2019, de <http://actuadoresuni2.blogspot.com/2015/09/unidad-2-actuadores.html>
- Creus, A. (2011). *Neumatica e Hidraulica*. Barcelona: Marcombo.
- EBEL, F. (2009). *Neumatica, electroneumatica fundamentos*. DENKENDORF: Festo didactic.
- Forero, N. (2012). Normas de comunicacion en serie RS-232,RS-422 y RS-485. *Ingenio libre* , 91.
- Giral, W., & Celedon, H. (septiembre de 2017). *Tecnura*. Recuperado el 30 de junio de 2019, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2017000300119
- Goggle Earth, G. (2019). Recuperado el 17 de julio de 2019, de <https://earth.google.com/web/@-2.20481163,-79.81434727,12.11799837a,665.94624799d,35y,211.96562444h,0t,0r/data=C hcaFQoNL2cvMTFiN2MwMHo3eRgBIAEoAg>
- Gorenberg, A. (2003). Redes industriales Profibus. *Electro industria* .
- Group P&P. (2018). *2018*. Recuperado el 30 de julio de 2019, de Variadores y controles: <http://variadoresycontroles.com/producto/delta-plc-2/>
- Hernandez, E. (6 de enero de 2018). *Autracen*. Recuperado el 4 de agosto de 2019, de <http://www.autracen.com/descubre-la-estructura-interna-plc/>

- Juarez, M. (3 de septiembre de 2014). *Valvulas neumaticas*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de <http://infmk2013amarcosjuarezcontreras133.blogspot.com/2014/09/>
- Kaschel, H., & Pinto, E. (2001). *Analisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales*. Santiago: Ciencia Abierta.
- Landin, P. (2016). *Nuematica e Hidraulica*. Recuperado el 25 de Julio de 2019, de http://www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/system/files/Tema_Neum%C3%A1tica.pdf
- Llamas, L. (16 de abril de 2014). *Ingenieria, informatica y diseño*. Recuperado el 30 de junio de 2019, de Comunicacion de arduino con puerto serie: <https://www.luisllamas.es/arduino-puerto-serie/>
- Marin, C., & Gomez, A. (29 de octubre de 2014). *Redes industriales*. Recuperado el 30 de junio de 2019, de <http://redesindustriales.over-blog.com/2014/10/redes-industriales-0.html>
- Micro Automacion, M. (2018). *Micro Automacion*. Recuperado el 7 de julio de 2019, de <https://microautomacion.com/wp-content/uploads/2019/04/201819CatlogoMasterMICROautomacin.pdf>
- Moreno, E. G. (1999). *Automatizacion de procesos industriales*. Valencia: universidad politecnica de valencia.
- National Instruments. (27 de junio de 2019). Recuperado el 5 de agosto de 2019, de <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019M21SAE&l=es-EC>
- National Instruments. (Marzo de 2019). *National Instruments*. Recuperado el 2 de Agosto de 2019, de <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>

- Oficios Tecnicos.* (2015). Recuperado el 25 de Julio de 2019, de <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs1/d7.php>
- Ortega, A. (27 de febrero de 2019). *Ingenieria con ciencia.* Recuperado el 10 de junio de 2019, de <http://ingenieriapotencial.blogspot.com/2019/02/compresores-de-tornillo-2-rotos.html>
- Panuncio, M. (2019). *TEC.* Recuperado el 30 de julio de 2019, de <https://www.tecsc.com.ar/insumos/plc/compacto/>
- Pc-solucion.* (24 de 04 de 2018). Recuperado el 15 de 06 de 2019, de <https://pc-solucion.es/2018/04/24/diferencias-entre-memorias-ram-y-rom/>
- Perez, F. (30 de octubre de 2017). *Autracen.* Recuperado el 3 de agosto de 2019, de <http://www.autracen.com/profibus-vs-profinet-vs-profisafe/>
- Rexroth, D. a. (2016). *Rexroth Bosch Group, Dbr Automation.* Recuperado el 16 de julio de 2019, de https://www.dbrautomation.com/doc/pdf/Neumatica/Buses_campo.pdf
- Reyes, M. (30 de agosto de 2015). Recuperado el 5 de agosto de 2019, de <http://migueangelreyes.blogspot.com/2015/08/informe-de-interbus.html>
- Salazar, C., & Correa, L. (2011). *Buses de campo y protocolos en redes industriales.* Manizales: Universidad de Manizales.
- SchneiderElectric. (2016). *Life is on.* Recuperado el 30 de julio de 2019, de <https://www.schneider-electric.us/en/product-range/62128-modicon-m221-nano-plc/>
- SMC, A. (2019). *Sistema de buses de campo.* Recuperado el 28 de agosto de 2019, de https://content2.smcetech.com/pdf/EX500-A_ES.pdf

Suarez, D. (17 de Marzo de 2016). *Ningenia*. Recuperado el 26 de agosto de 2019, de <http://www.ningenia.com/2016/03/17/profibus/>

Velasco, E. (2007). Innovacion en el aprendizaje de las ciencias y tecnologia. En E. Velasco, *Educatronica* (pág. 28). Mexico: Diaz de santos.

Glosario de Términos

PSI: Unidad de presión. (Pounds per square inch) Libra por pulgada cuadrada por sus siglas en ingles.

CFM: Unidad de medida de flujo de aire comprimido. (Cubic Feet minute) Pie cubico por minuto por sus siglas en ingles.

Mm-hg: Presión manométrica medida en milímetros de mercurio.

Bar: Unidad de presión que equivale a 15 Psi.

Mbits/s: Megabit por segundo.

Vac: Voltaje de corriente alterna.

Vdc: Voltaje de corriente continua.

Ma: Miliamperios.

PLC: Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable)

HMI: Human Machine Interface (Interface hombre maquina)

CIM: Computer Integrated Manufacturing (manufactura integrada por computadora)

Fieldbus: Bus de campo

Canbus: Control área network Bus.

Modbus: Modicon bus

Profibus: Procces Field Bus

Kraftliner: Papel fabricado con fibra química sin procesar (virgen)

NPT: National pipe Thread. Es una medida de rosca estandarizada para tubería.

ANEXOS

Anexo 1. Imágenes de la línea de producción “corrugadora de cartón”



Figura A.1.1: *Maquina empalmadora de bobinas de cartón.*

Fuente: *Autor*

En la figura A.1.1 se puede observar la maquina empalmadora de bobinas de cartón, la cual consta de dos portabobinas que trabajan alternadamente desenvolviendo las láminas de cartón que pasan posteriormente a la cortadora longitudinal.



Figura A.1.2: *Bloque de válvulas Rexroth de la maquina empalmadora de bobinas*

Fuente: *Autor*

En la Figura A.1.2 se puede observar el circuito neumático de la maquina empalmadora de bobinas donde se muestra el bloque de válvulas neumáticas marca Rexroth que controlan cilindros que realizan funciones de corte y freno de los portabobinas.



Figura A.1.3: *Maquina cortadora longitudinal*

Fuente: *Autor*

En la figura A.1.3 se puede observar las láminas de cartón que provienen de la empalmadora de bobinas para ser cortadas según la medida solicitada por el cliente. El corte lo realiza una cuchilla adaptada a una base en la parte inferior de la máquina, la cual es controlada por varios cilindros neumáticos.



Figura A.1.4: *Cilindros neumáticos marca Festo de la cortadora longitudinal.*

Fuente: *Autor*

En la figura A.1.4 se puede observar los cilindros neumáticos marca Festo controlados por el bloque de 28 válvulas, los cuales están adaptados a la cuchilla que realizara el corte de las láminas de cartón al desplazar su vástago en la cortadora longitudinal.



Figura A.1.5: HMI de la maquina cortadora longitudinal.

Fuente: Autor

En la figura A.1.5 se observa el HMI de la cortadora longitudinal en donde el operador podrá supervisar el estado operativo de cada una de las 28 válvulas marca Aventics que componen el bloque, además se puede diagnosticar errores de comunicación entre el PLC y el bloque de válvulas.

Anexo 2. Cotización de la empresa Ainsa s.a. para una futura instalación.



Especialistas en Aire Comprimido

Matriz: Guayaquil Av. Juan Tanco Marengo Km 2.5 y Agustín Freire, Telf.: (04) 2-238808- 2-230754 Fax Ext: 103

Quito: Av. Galo Plaza Lasso N84-110 y José de Amésaba (Av. 10 de Agosto) Telf.: (02) 6014607

Manta: Av. 4 de Noviembre diagonal al C.C. Paseo Shopping Telf.: (05) 8052002

e-mail: info@ainsa.com.ec

Guayaquil, 13 de agosto 2019

PROFORMA N°. 2504-2019-AA

SEÑORES : JOSUE GUILLEN		EQUIPO:	
RUC: 020665643		SERIE:	
DIRECCIÓN: ALBORADA 1ERA ETAPA MZ N VILLA 7		HORAS 0	
CIUDAD : GUAYAQUIL		MARCA:	

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	VIUNIT.	VITOTAL
1	A501A	Bloque de 28 valvulas marca Emerson-Numatics Modelo AS01A,89631 24 Vdc 5 vías dos posiciones con puerto de comunicación PROFIBUS DP	1	\$ 9413,25	\$9.413,25
2	ET2008	Plc Simatic ET20MM con interfaz PROFIBUS.	1	\$655	\$655,00
3	A501A	Cable apantallado Profibus 30 metros	1	\$34,64	\$34,64
4	JPC10-03	Conector recto 10 x 3/8" Npt marca CONEK	1	\$1,98	\$1,98
5	JPC8-02	Conectores rectos 8 x 1/4" NPT marca CONEK	56	\$1,55	\$86,80
6	TB02	Tapones de bronce de 1/4" Npt marca EMC	3	\$1,18	\$3,54
7	BS-02	Filtros silenciadores de 1/8" NPT marcas EMC	3	\$2,05	\$6,15
8	M-065	Mano de obra incluye: Montaje, programación y pruebas de 24 horas	1	\$500,00	\$500,00
				SUBTOTAL	US\$ 10.701,36
				IVA 12%	US\$ 1.284,16
				TOTAL	US\$ 11.985,52

CONDICIONES DE PAGO: INMEDIATO

VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 DIAS

LUGAR DE ENTREGA : VUESTRA PLANTA INDUSTRIAL

GARANTÍA : 12 MESES

TIEMPO DE ENTREGA : 4 SEMANAS

OBSERVACIONES :

Sin otro particular, quedamos a vuestras órdenes y los saludamos atentamente.

 ANDREA ALVAREZ
 AINSA S.A.
 (04)2-3712670 EXT 112

Figura A.2.1: Cotización de la implementación del sistema.

Fuente: Ainsa s.a.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Guillén Vélez, Josué Andrés** con C.C: # 0920665643 autor del Trabajo de Titulación: “Estudio de los protocolos y buses de campo para el control de procesos neumáticos en la industria productora cartonera de la ciudad de Duran”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en control y automatismo** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 11 de septiembre del 2019

f. _____

Nombre: Guillén Vélez, Josué Andrés

C.C: 0920665643



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio de los protocolos y buses de campo para el control de procesos neumáticos en la industria productora cartonera de la ciudad de Duran.		
AUTOR(ES)	GUILLÉN VELEZ, JOSUÉ ANDRES		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ingeniero Carlos Romero Rosero		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería electrónica en control y automatismo.		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero electrónico en control y automatismo.		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	11 de septiembre del 2019	No. DE PÁGINAS:	80
ÁREAS TEMÁTICAS:	Neumática, Comunicaciones industriales.		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	BUS DE CAMPO, VALVULAS, NEUMATICA, PLC, PROFIBUS DP, COMUNICACIÓN, HMI.		
<p>RESUMEN/ABSTRACT: La presente investigación propone un estudio integral de las ventajas que brinda el bus de campo Profibus DP para el control de los procesos neumáticos en la línea de producción “corrugadora de Cartón” de la Industria Productora Cartonera de la ciudad de Duran. La investigación se enfocará en el control de los bloques de válvulas neumáticas, por medio de un PLC que estará comunicado mediante Profibus Dp el cual es considerado el bus de mayor impacto en la industria de manufactura al contar con altas velocidades de respuesta y un control efectivo de los dispositivos de campo. Se realizará una investigación en sitio analizando la línea de producción antes mencionada, para hacer una tabla comparativa entre un bloque de válvulas neumáticas de control electromecánico con otro de control por bus de campo, con el fin de demostrar las ventajas de esta tecnología que le facilitará al operador la verificación del estado operativo de los dispositivos neumáticos, así como el diagnóstico de errores mediante un HMI. Esto le permitirá a la industria reducir tiempo y dinero en mantenimientos correctivos y paros de producción inesperados.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-983820562	E-mail: josueandresg@outlook.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
	Teléfono: +593-9-85086815		
	E-mail: eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			