



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON  
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional.  
Guía de circuitos electroneumáticos**

**AUTOR:**

**Obregón Santana, Julio Jefferson**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de  
INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA**

**TUTOR:**

**ING. LUIS ORLANDO, PHILCO ASQUI MGS.**

Guayaquil, Ecuador

18 de septiembre del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON  
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

### CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Obregón Santana, Julio Jefferson**, como requerimiento para la obtención de Título de **Ingeniería en Eléctrico- Mecánica**

TUTOR

---

ING. LUIS ORLANDO, PHILCO ASQUI. MGS

DIRECTOR DE LA CARRERA

---

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, MGS.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON  
MENCIÓN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **OBREGÓN SANTANA, JULIO JEFFERSON**  
DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional. Guía de circuitos electroneumáticos** previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico–Mecánica**, 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. Consecutivamente 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 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

Julio Obregón

**OBREGÓN SANTANA, JULIO JEFFERSON**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON  
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

### AUTORIZACIÓN

Yo, **OBREGÓN SANTANA, JULIO JEFFERSON**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación, **Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional. Guía de circuitos electroneumáticos** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

**EL AUTOR**

Julio Obregón

---

OBREGÓN SANTANA, JULIO JEFFERSON

# REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND web interface. The main content area displays document information: 'Documento: TESIS JULIO OBREGON FINAL.docx (D78521531)', 'Presentado: 2020-09-02 20:04 (-05:00)', 'Presentado por: orlandophilco\_7@hotmail.com', 'Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: TESIS JULIO OBREGON'. A yellow box indicates '3% de estas 35 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.' To the right, a 'Lista de fuentes' table lists several URLs. The browser's address bar shows 'secure.orkund.com/old/view/75195373-791208-764536#q1bKLVayijY007G11VEqzkzPy0zL7E7MS05VsjLQMzAyszQzMTY0NjAzMbcAwloA'.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	<a href="https://repositorio.esoe.edu.ec/bitstream/21000/3564/1/T-ESPPEL-0596.pdf">https://repositorio.esoe.edu.ec/bitstream/21000/3564/1/T-ESPPEL-0596.pdf</a>
	<a href="https://docplayer.es/95422627-Escuela-politecnica-del-ejercito.html">https://docplayer.es/95422627-Escuela-politecnica-del-ejercito.html</a>
	<a href="https://www.mundocomaresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-comoresore-...">https://www.mundocomaresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-comoresore-...</a>
	<a href="https://repositorio.esoe.edu.ec/bitstream/21000/4361/1/II-ESPPEL-0004.pdf">https://repositorio.esoe.edu.ec/bitstream/21000/4361/1/II-ESPPEL-0004.pdf</a>

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TEMA: Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional. Guía de circuitos electroneumáticos

AUTOR: Obregón Santana, Julio Jefferson Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TUTOR: ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI MGS.

Guayaquil, Ecuador

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por, como requerimiento para la obtención de Título de Ingeniería en Eléctrico-Mecánica

TUTOR

\_\_\_\_\_ ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI MGS.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Reporte Urkund del trabajo de titulación en Ingeniería en Eléctrico-Mecánica titulado: **“Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional. Guía de circuitos electroneumáticos”** del estudiante **Obregón Santana, Julio Jefferson** el análisis de coincidencia indica el 3% de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Orlando, Philco A. M.Sc.

Revisor

## **AGRADECIMIENTO**

Cerrando un ciclo de vida agradezco a DIOS todo poderoso que con su infinita bendición me ha permitido llegar hasta este día sin el nada es posible. Ya que ha puesto en mi camino a personas valiosas en el momento exacto.

A la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por brindarme la oportunidad de formar parte de la comunidad estudiantil.

A mi Padre y Madre que con esfuerzo me han dado su apoyo, cariño y ejemplo para superarme, a mi familia que me ha apoyado en este reto el cual lo hemos ganado juntos.

A mi tutor Ing. Orlando, Philco A. que impartió su experiencia y conocimiento para la aportación de este trabajo de titulación.

El Autor

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a DIOS por haberme dado la sabiduría, entendiendo y fuerzas necesarias para llegar hasta alcanzar esta meta trazada desde muchos años atrás y que hoy estoy cumpliendo.

A mis padres que con su ferviente amor han sabido guiarme y darme la oportunidad de cumplir este reto ustedes son los mejores.

El autor



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.   
\_\_\_\_\_

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**  
DECANO

f.   
\_\_\_\_\_

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
COORDINADOR DEL ÁREA

  
\_\_\_\_\_

**M. Sc. BASTIDAS CABRERA, TOMAS GASPAR**  
OPONENTE



## ÍNDICE GENERAL

REPORTE URKUND .....	VIII
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
INDICE DE TABLAS .....	XVI
RESUMEN .....	XVII
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	2
1.1 Introducción .....	2
1.2 Justificación .....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4. Objetivo General .....	3
1.5 Objetivos Específicos .....	3
1.6 Metodología .....	3
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA NEUMÁTICA.....	5
2.1 Componentes básicos del sistema neumático .....	5
2.2 Compresor .....	6
2.3 Válvulas Neumáticas.....	8
2.4 Los actuadores neumáticos .....	9
2.5 Neumática proporcional .....	10
2.5.1 Válvulas proporcionales.....	10
2.5.2 La técnica proporcional.....	11
2.5.2.1 Regulación de caudal.....	12

2.5.2.2 Regulación de presión .....	13
2.5.3 Caso control de caudal .....	16
2.5.3.1 Control de presión con una válvula proporcional de caudal. .....	17
2.5.3.2 Control de posición del émbolo de un cilindro con válvula proporcional de caudal .....	19
2.5.4 Control electrónico de la válvula neumática .....	20
2.5.5 Aplicaciones .....	22
2.5.5.1 Requerimientos de aplicación .....	22
2.5.5.2 Estático vs. Dinámico.....	23
2.6.1 Sistemas inteligentes en neumática .....	24
CAPÍTULO 3: TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA 4.0 .....	30
3.1 Sensórica Avanzada a nivel de fábrica .....	30
3.1.1 Sensorización avanzada.....	32
3.1.1.1 Mantenimiento predictivo .....	32
3.2 Fabricación Multietapa y Flexible .....	32
3.2.1 Fabricación flexible.....	33
3.3 Sistemas Ciberfísicos (CPS)/Smart Manufacturing.....	33
3.3.1 Capacidades del sistema sistema Ciberfísico .....	34
3.4 Robótica avanzada y colaborativa .....	35
3.4.1 Tecnologías para implementar la fábrica avanzada .....	35
3.5 Ventajas de la automatización 4.0.....	37

3.5.1 Ventajas de la robótica avanzada y colaborativa.....	37
3.6 Tendencias.....	38
3.7 Aplicaciones Actuales .....	39
3.8 Digitalización en datos de procesos industriales.....	41
3.8.1. Automatización en la nube .....	41
3.9 Sistema de control con neumática proporcional.....	45
3.9.1 Funciones del Easy Port .....	45
3.9.2 Funciones del Terminal SysLink Digital.....	45
3.9.3 Selección de dispositivos.....	47
3.9.4 Selección de dispositivos adicionales.....	47
3.9.5 Unidad de entrada y salidas eléctricas .....	49
3.9.6 Regulador PID .....	49
3.9.7 Características técnicas suministro eléctrico .....	51
3.9.8 Entradas Diferenciales.....	51
3.9.9 Comparador.....	51
3.9.10 Componentes del regulador .....	51
3.10 Offset de la variable de corrección.....	51
3.10.1 Limitador de la variable de corrección .....	51
3.10.2 Claves de conexiones.....	52
3.10.3 Configurando los coeficientes.....	53
3.10.4 Datos Técnicos .....	53
3.11 Calibración del Easy Port .....	54

3.11.1 Calibración del Terminal Digital SysLink .....	54
3.11.2 Calibración del regulador PID.....	55
3.11.3 Calibración del potenciómetro lineal .....	55
3.12 Introducción al control del sistema mediante Fluid Sim.....	55
3.13 Programación en Fluid Sim .....	56
3.13.1 FluidSIM y OPC Server.....	57
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL ENTORNO 4.0 .....	59
4.1 Escalas para análisis de tecnología 4.0 .....	59
4.1.1 Análisis en base a encuesta del Foro Económico Mundial del 2019.....	60
4.2 Limitaciones y barreras de la automatización 4.0 .....	60
4.3 Limitaciones y barreras de la robótica avanzada y colaborativa ....	61
CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES .....	64
BIBLIOGRAFÍA .....	65
Anexo 1: Caso monitoreo en circuito neumático.....	68
Anexo 2 Guía de prácticas.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2:

Figura 2 1 Esquema de un sistema neumático básico .....	5
Figura 2 2 Clasificación de compresores .....	6
Figura 2 3 Clasificación de las válvulas neumáticas .....	9
Figura 2 4 Tipos de actuadores neumáticos .....	10
Figura 2 5 Válvula proporcional reguladora de caudal .....	11
Figura 2 6 Diagrama tensión-caudal de válvula proporcional MPYE-5-1/8 de FESTO .....	12
Figura 2 7 Válvula regulador de caudal proporcional 5/3 de FESTO .....	13
Figura 2 8 Válvula proporcional reguladora de presión .....	14
Figura 2 9 Diagrama de bloque de control de presión en válvula proporcional .....	15
Figura 2 10 Diagrama tensión- presión .....	15
Figura 2 11 Válvula proporcional de control de presión REGTRONIC ....	16
Figura 2 12 Válvulas de control de presión proporcional .....	16
Figura 2 13 Circuito electroneumático para control de caudal .....	17
Figura 2 14 Diagrama de bloque y conexión neumática con válvula proporcional de caudal .....	18
Figura 2 15 Conexión eléctrica y lazo PID para circuito de control de presión .....	18
Figura 2 16 Diagrama de bloque y circuito neumático .....	19
Figura 2 17 Circuito eléctrico para control de posición del émbolo de un cilindro .....	19

Figura 2 18 Válvulas neumáticas (izquierda) conectadas a “concentradores” de monitoreo neumático (derecha).....	21
Figura 2 19 Representación de pirámide automatización y nivel de campo con grandes volúmenes de datos para su gestión.....	24
Figura 2 20 Bloque FESTO Motion Terminal.....	25
Figura 2 21 Bloque de Válvulas Inteligente EB80. Gestión de actuador (derecha) .....	26
Figura 2 22 Funcionalidades del bloque EB80 .....	27
Figura 2 23 Bloque EB 80 y conexión a nube.....	28

### CAPÍTULO 3:

Figura 3. 1 Tecnologías que permiten implementar industria 4.0 .....	30
Figura 3. 2 Clasificación de los sensores industriales .....	31
Figura 3. 3 Fabricación flexible frente a otras tecnologías actuales .....	33
Figura 3. 4 Habilitadores digitales involucrados en la industria 4.0. ....	36
Figura 3. 5 Brazos manipuladores.....	40
Figura 3. 6 Aplicación de la visión artificial .....	42
Figura 3. 7 Escaneo 3D con tornamesa .....	42
Figura 3. 8 Visión espectral en industria alimentaria .....	43
Figura 3. 9 Aplicaciones de termografía .....	44
Figura 3. 10 Pines de válvula proporcional.....	49
Figura 3. 11 Borneras de entrada y salidas eléctricas.....	49
Figura 3. 12 Regulador PID y símbolo.....	50
Figura 3. 13 Representación en diagrama de circuito .....	50
Figura 3. 14 Asignación de pines del regulador PID.....	52

Figura 3. 15 Configuración de los coeficientes KD, KI, KD.....	53
Figura 3. 16 Posiciones del interruptor del dispositivo PNP .....	55
Figura 3. 17: Pantalla principal de FluidSim con los puertos de entrada y salida.....	56
Figura 3. 18 Pantalla principal FluidSim .....	56
Figura 3. 19 Cuadro de diálogo de Opciones de Conexión OPC/DDE ....	57
Figura 3. 20 Configuración del puerto de entrada Fluid Sim con OPC. ...	58
Figura 3. 21 Configuración del puerto de salida Fluid Sim con OPC.....	58

## INDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 2.

Tabla 2. 1 Tipos de compresores de desplazamiento positivo.....	7
Tabla 2. 2 Clasificación de compresores tipo dinámico .....	8

### CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Parámetros de SysLink.....	45
Tabla 3. 2 Datos técnicos electroválvula proporcional de 5/3 vías. ....	48
Tabla 3. 3 Distribución de pines válvula proporcional.....	48
Tabla 3. 4 Asignación de pines del regulador PID.....	52
Tabla 3. 5 datos técnicos del regulador PID. ....	54



## **RESUMEN**

Se presenta el trabajo de titulación que tiene como objetivo principal estudiar los elementos y plataformas tecnológicas del paradigma de la industria 4.0 y la convergencia de la tecnología de neumática proporcional. El aporte de este trabajo de titulación es identificar la evolución de la neumática convencional, proporcional y digitalizada en procesos automatizados, así también se plantea una guía de circuitos electroneumáticos para ser implementados en el laboratorio de Neumática de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD). La metodología que se va aplicar es descriptiva pues se documentan los elementos principales del entorno de industria 4.0. se emplea el método analítico para analizar datos del desempeño de un sistema de neumática digitalizada. También se empleará el método empírico por la simulación de circuitos electroneumáticos con FluidSim de FESTO, esto es parte de una guía de circuito con neumática proporcional y con control eléctrico.

**PALABRAS CLAVES:** Aire comprimido, Neumática Proporcional,  
Neumática digitalizada, Electroneumática.

## **ABSTRACT**

The degree work is presented, its main objective is to study the elements and technological platforms of the industry 4.0 paradigm and the convergence of proportional pneumatics technology. The contribution of this degree work is to identify the evolution of conventional, proportional and digitized pneumatics in automated processes, as well as a guide for electropneumatic circuits to be implemented in the Pneumatics laboratory of the Faculty of Technical Education for Development (FETD). The methodology to be applied is descriptive since the main elements of the Industry 4.0 environment are documented. The analytical method is used to analyze performance data of a digitized pneumatic system. The empirical method will also be used for the simulation of electropneumatic circuits with FluidSim from FESTO, this is part of a circuit guide with proportional pneumatics and with electrical control.

**KEY WORDS:** Compressed Air, Proportional Pneumatics, Digitized Pneumatics, Electropneumatics.

# **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **1.1 Introducción**

El término Industria 4.0 describe la revolución de la industria en todo el mundo. Las grandes empresas, en particular, han aceptado rápidamente los desafíos de la Industria 4.0 y actualmente están desarrollando en la introducción de las tecnologías habilitadoras correspondientes. Las pequeñas y medianas empresas (PYME) se enfrentan al obstáculo de no poseer recursos humanos ni financieros para investigar sistemáticamente el potencial y los riesgos de introducir la Industria 4.0. Sin embargo, en la mayoría de los países, las PYME constituyen la columna vertebral de la economía, representan la mayor parte del producto interno bruto y también son empleadores importantes. En este sentido, los desafíos, las oportunidades y los requisitos de la Industria 4.0 deben examinarse específicamente para las pymes, allanando así el camino para la transformación digital de las pymes tradicionales en fábricas inteligentes.

Bajo este contexto la neumática convencional, se dirige hacia la neumática digitalizada la cual permite que señales de aire comprimido puedan ser convertidos en datos de 0 y 1 con el fin de que controladores industriales y programables puedan conectar sistemas neumáticos con el control y supervisión remota. Un paso intermedio es la neumática proporcional, la cual ha logrado llevar cantidades o valores de presión a señales eléctricas de manera proporcional. Sin embargo, una gran oportunidad para el futuro radica en la transferencia de conocimientos y tecnologías de la Industria 4.0 a las pequeñas y medianas empresas pueden implementar sistemas electroneumáticos con control avanzado, con aquello se logra eficiencia, productividad, ahorro de costos operacionales, financieros y hasta de recurso humano.

## **1.2 Justificación**

La tecnología neumática se está volviendo aún más funcional, con nuevas capacidades de seguimiento y medición que brindan una visión aún mayor del funcionamiento de la máquina y el rendimiento de los componentes y subsistemas. La cuarta revolución industrial implica la introducción de las Tecnología de la información y la comunicación (TIC) modernas en la

producción. Esto conlleva a dar un paso más allá en el que las personas, las máquinas y los productos están directamente conectados entre sí y con su entorno. Por consiguiente, los procesos de neumática convencional y proporcional tienden a integrarse con equipos de control electrónicos con conexión al internet, este aspecto y otros como hardware y software facilitan la neumática digitalizada. Se justifica identificar el entorno industria 4.0, estudiar los sistemas y sus elementos que lo integran.

### **1.3 Planteamiento del problema**

No hay suficientes estudios de los elementos y plataformas tecnológicas del paradigma de la industria 4.0 y la convergencia de la tecnología de neumática proporcional. El desconocimiento de tecnologías de la industria 4.0 tiene estancados los índices de productividad industrial. No existen cifras exactas de cuántas pymes e industrias grandes usan las tecnologías del paradigma 4.0, en el índice de competitividad global, publicado en 2019 por el Foro Económico Mundial, el Ecuador pasó del puesto 102 al 110 en el ámbito de innovación.

### **1.4. Objetivo General**

Estudiar los elementos y plataformas tecnológicas del paradigma de la industria 4.0 y la convergencia de la tecnología de neumática proporcional convencional.

### **1.5 Objetivos Específicos**

- Estudiar los sistemas de neumática proporcional
- Caracterizar el entorno industria 4.0 y sus tecnologías
- Evaluar escenario de Industria 4.0 y limitaciones
- Plantear circuitos electroneumáticos con simulador FESTO.

### **1.6 Metodología**

La metodología a emplearse es de tipo documental por cuanto se revisa la técnica de operación de válvula proporcionales, se aplica el método exploratorio para identificar las tecnologías habilitadoras para industria 4.0. se aplica además el método analítico para evaluar escenario de proyecto de automatización en el país. Finalmente se emplea el método empírico por el manejo de simulación de

circuito electroneumático para propuesta de una guía de aprendizaje de neumática proporcional.

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA NEUMÁTICA

### 2.1 Componentes básicos del sistema neumático

Algunos de los componentes básicos de un sistema neumático se muestran en la figura 2.1.

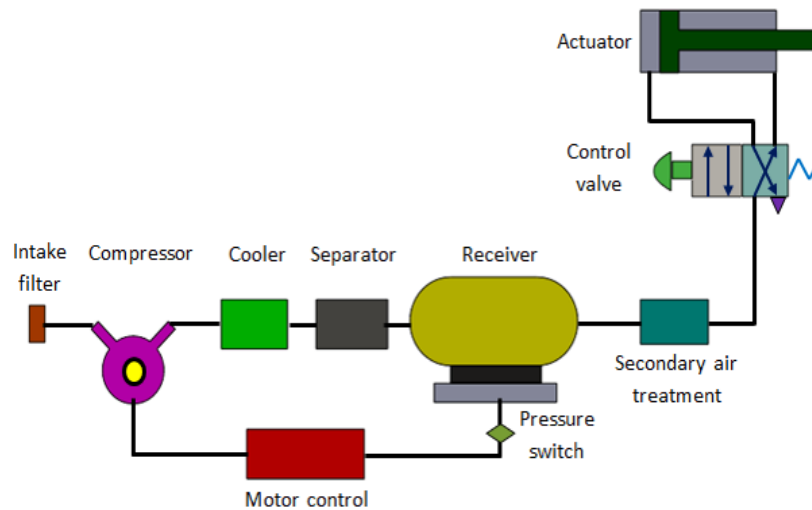


Figura 2. 1 Esquema de un sistema neumático básico

Fuente: (NPTEL, 2013)

Los componentes importantes de un sistema, se detallan a continuación:

- **Filtros de aire:** se usan para filtrar los contaminantes del aire.
- **Compresor:** el aire comprimido se genera mediante el uso de compresores de aire. Estos son máquinas diseñadas para comprimir gases a cualquier presión, por encima de la presión atmosférica. En general, se habla de compresor cuando se trabaja con presiones superiores a los 3 bars. (MundoCompresor, 2016)
- **Enfriador de aire:** durante la operación de compresión, la temperatura del aire aumenta. Por lo tanto, los enfriadores se utilizan para reducir la temperatura del aire comprimido.
- **Secador:** el vapor de agua o la humedad en el aire se separa del aire mediante el uso de un secador.
- **Válvulas de control:** las válvulas de control se utilizan para regular, controlar y monitorear el control del flujo de dirección, presión, etc.
- **Actuador:** los cilindros y motores de aire comprimido se utilizan para

obtener los movimientos requeridos de los elementos mecánicos del sistema neumático (Electro Industria, 2018).

- **Motor eléctrico:** transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Se utiliza para accionar el compresor.
- **Tanque receptor:** el aire comprimido que viene del compresor se almacena en el receptor de aire.

## 2.2 Compresor

Para generar aire comprimido se necesitan máquinas que reduzcan el volumen del gas para incrementar su presión (Según Boyle-Mariotte), este tipo de máquina se conoce como compresor y dentro de las máquinas para fluidos está catalogada como una máquina térmica ya que, al comprimir el gas, varía su densidad, si por ejemplo se impulsara el fluido sin afectar la densidad del mismo (MundoCompresor, 2016).

El compresor aumenta la presión del aire al reducir su volumen, lo que también aumenta la temperatura del aire comprimido. El compresor se selecciona en función de la presión que necesita para operar y el volumen de suministro. (Buenache, 2010). Véase en la figura 2.2



Figura 2. 2 Clasificación de compresores

Fuente: (MundoCompresor, 2016)

En la tabla 2.1 se describen algunos tipos de compresores de desplazamiento positivo.

Tabla 2. 1 Tipos de compresores de desplazamiento positivo

	Descripción del Equipo/Dispositivo	Representación del equipo/dispositivo
Compresores de desplazamiento positivo	<p><b>Compresor de Pistón.</b> Cuenta con un cigüeñal accionado por un motor eléctrico que hace mover al pistón. Produce un pulso de aire por carrera de pistón. A medida que el pistón se mueve hacia abajo durante la carrera de entrada, la válvula de entrada se abre y el aire entra en el cilindro.</p> <p>El compresor de un solo cilindro (1 etapa) proporciona una cantidad significativa de pulsos de presión en el puerto de salida. La presión desarrollada es de unos 3-40 bars. Existen además compresores de pistón dos etapas y multietapas.</p> <p>En los compresores de pistón, el aceite lubricante de las paredes de los pistones puede contaminar el aire comprimido. La contaminación es indeseable en las industrias alimentaria, farmacéutica y química.</p>	
	<p><b>Compresor tipo Paleta.</b> Durante el giro del rotor, las paletas flotantes salen y entran desde su interior, formando unas cámaras entre rotor y carcasa, que se llenan con el aire.</p> <p>Al estar situado el rotor en una posición excéntrica al eje central de la carcasa, las cámaras van creciendo en la zona de aspiración, llegando a producir una depresión que provoca la entrada del aire. Según se desplazan con el giro del rotor, las cámaras se van reduciendo hacia la zona de impulsión, comprimiendo el aire en el interior.</p>	
	<p><b>Compresores de Diafragma.</b> Son compresores de pequeña capacidad.</p> <p>El pistón se corresponde con un cigüeñal motorizado. Cuando el pistón se mueve hacia abajo, jala el fluido hidráulico hacia abajo, lo que hace que el diafragma se mueva y el aire se aspira. Cuando el pistón se mueve hacia arriba, el fluido empuja el diafragma hacia arriba, lo que provoca la expulsión de aire desde el puerto de salida.</p>	
	<p><b>Compresor de tornillo.</b> Se basa en el desplazamiento del aire, a través de las cámaras que se crean con el giro simultáneo y en sentido contrario, de dos tornillos, uno macho y otro hembra.</p> <p>El contacto entre las dos superficies de malla es mínimo, por lo que no se requiere enfriamiento. Estos sistemas están bastante en funcionamiento en comparación con el tipo de pistón. Los tornillos se sincronizan mediante el uso de engranajes de sincronización externos</p>	
	<p><b>Compresor de Lóbulos o Émbolos rotativos.</b> Basado en el giro de dos rotores de lóbulos en el interior de la carcasa. Los rotores giran de forma sincronizada y en sentido contrario, formando entre ellos unas cámaras en las que entra el aire. En este caso, los lóbulos se limitan a desplazar el aire, consiguiendo aumentar la presión en función de la contrapresión con la que se encuentran en la salida del equipo.</p> <p>Esta contrapresión viene dada por las pérdidas por rozamiento y las necesidades de presión del sistema con el que trabaja. Son muy usados como soplantes, es decir, compresores de baja presión.</p>	



En la tabla 2.2 se muestra la clasificación de compresores de desplazamiento dinámico. Los compresores de esta categoría se utilizan para grandes caudales y son de dos tipos diferentes, los compresores centrífugos axiales y los radiales.

Tabla 2. 2 Clasificación de compresores tipo dinámico

	Descripción del Equipo/Dispositivo	Representación del equipo/dispositivo
Compresores Dinámico o Turbocompresores	<p><b>Compresores centrífugos radiales.</b> En estos equipos, el aire entra directamente en la zona central del rotor, guiado por la campana de aspiración. El rotor, girando a gran velocidad, lanza el aire sobre un difusor situado a su espalda y es guiado al cuerpo de impulsión. Se los conoce también como sopladores. Los sopladores pueden proporcionar un gran volumen de aire a baja presión. Los sopladores extraen el aire y el impulsor lo expulsa debido a la fuerza centrífuga.</p> <p>Una variante del compresor tipo radial son los turbocompresores. Un turbocompresor consta de dos o más etapas de compresión. Entre cada etapa, están instalados unos refrigeradores diseñados para reducir la temperatura de compresión antes de que el aire llegue al siguiente rotor. El régimen de giro que alcanza el eje es muy elevado (entre 15.000-100.000 rpm), por lo que los cojinetes empleados serán de altas prestaciones, generalmente cojinetes de fricción lisos y lámina de aceite para lubricación.</p> <p>No obstante, estos compresores trabajan exentos de aceite, dado que la lubricación se limita a los cojinetes que se sitúan en los extremos del eje fuera del contacto con el flujo de aire.</p>	  
	<p><b>Compresor centrífugo axial.</b> Estos equipos son menos comunes en la industria. Se diferencian de los anteriores en que el aire circula en paralelo al eje. Los compresores axiales están formados por varios discos llamados rotores. Entre cada rotor, se instala otro disco denominado estator, donde el aire acelerado por el rotor, incrementa su presión antes de entrar en el disco siguiente. En la aspiración de algunos compresores, se instalan unos álabes guía, que permiten orientar la corriente de aire para que entre con el ángulo adecuado.</p> <p>Su funcionamiento prácticamente se asemeja al de un ventilador, ya que gira una turbina para aspirar aire y generar una mayor presión en su salida. Este flujo se genera en dirección axial o mejor dicho perpendicular al eje de rotación.</p>	 

### 2.3 Válvulas Neumáticas

Las valvulas neumáticas son dispositivos capaces de dirigir y distribuir el aire comprimido en todo el circuito neumático. Tienen una clasificación versátil, veáse la figura 2.3

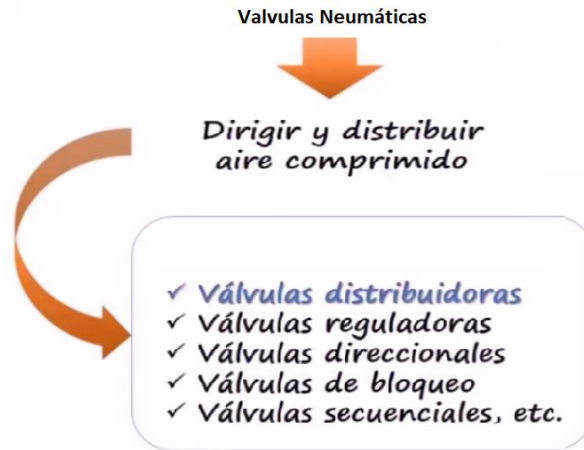


Figura 2. 3 Clasificación de las válvulas neumáticas

Fuente: El autor

En un circuito electroneumático, la válvula es electroneumática. Esta válvula realiza la conversión de energía eléctrica, proveniente de los relevadores a energía neumática, transmitida a los actuadores o a alguna otra válvula neumática. Esencialmente, consisten de una válvula neumática a la cual se le adhiere una bobina sobre la cual se hace pasar una corriente para generar un campo magnético que, finalmente, generará la conmutación en la corredera interna de la válvula, generando así el cambio de estado de trabajo de la misma, modificando las líneas de servicio. (Ingeniería Mecafenix, 2017).

Más adelante se detallan las válvulas neumáticas de tipo proporcional, elemento importante en automatismos.

## 2.4 Los actuadores neumáticos

Son dispositivos de salida que convierten la energía de aceite hidráulico presurizado o aire comprimido en el tipo de acción o movimiento requerido. En general, los sistemas hidráulicos o neumáticos se utilizan para operaciones de agarre y/o movimiento en la industria. Estas operaciones se realizan mediante el uso de actuadores.

Los actuadores se clasifican en tres tipos, los cuales se describen a continuación. Véase la figura 2.4.

- **Actuadores lineales:** estos dispositivos convierten la energía neumática en movimiento lineal.

- **Actuadores giratorios:** estos dispositivos convierten la energía neumática en un movimiento giratorio.
- **Actuadores para operar válvulas de control de flujo:** se usan para controlar el flujo y la presión de fluidos como gases, vapor o líquidos.



Figura 2. 4 Tipos de actuadores neumáticos

Fuente: el autor

## 2.5 Neumática proporcional

Uno de los objetivos clave de la transformación digital en la fabricación es recopilar información procesable que permita un control más sofisticado y optimizado de cada paso en un proceso de producción. Las empresas que fabrican componentes para automóviles, por ejemplo, quieren saber exactamente la fuerza, la presión y la posición de un cilindro que impulsa un actuador que coloca un cojinete en un dispositivo. Aplicaciones de producción grande necesitaría que se evidencie esa secuencia para que, 50.000 piezas después, sepan que se fabricó exactamente con la misma precisión que la primera pieza.

### 2.5.1 Válvulas proporcionales

Las válvulas proporcionales pueden clasificarse en:

- Válvulas de caudal
- Válvulas de presión

Las válvulas de caudal regulan de manera continua entre un valor nulo y uno máximo. Dicho de otra forma, son válvulas distribuidoras con corredera,

teniendo un número de vías y de posiciones variable. Las válvulas de presión regulan este parámetro en su salida, igualmente de manera continua, entre un valor mínimo y un valor máximo, equivalente a la presión de entrada. En la figura 2.5 se muestra el corte seccional de una válvula proporcional.

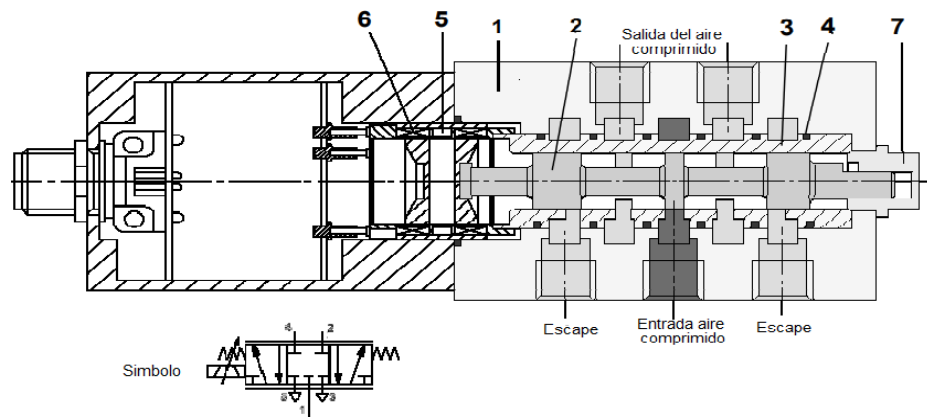


Figura 2. 5 Válvula proporcional reguladora de caudal

Fuente: (Philco, 2019)

La válvula proporcional dispone de un cuerpo (1) en el que se aloja la corredera/carrete (2), ésta se desliza dentro de una arandela/anillo fijo (3) alojado en el interior del cuerpo. Entre la arandela y el cuerpo se disponen unas juntas (4) para mejorar la estanqueidad (evita fugas). La corredera se desliza directamente gracias a un solenoide proporcional (5). Por tanto, puede posicionarse de manera variable y continua en función de la tensión de alimentación. De la misma forma, tiene un sensor de posición (6) que controla la posición de la corredera y permite su realimentación, es decir, modifica su posición si no se ha alcanzado la que debiera tener. El tapón (7) sirve para el mantenimiento, pudiendo extraer la corredera para su limpieza y puesta a punto.

### 2.5.2 La técnica proporcional

La técnica proporcional está basada en el uso de válvulas proporcionales, bien sean éstas de caudal o de presión. Permiten que una magnitud física del fluido (caudal o presión) a la salida de la válvula es proporcional a una señal eléctrica analógica de entrada  $X= K \cdot V$ .

Donde X es presión o caudal; K una constante de proporcionalidad y V es la señal analógica de tensión continua que se introduce en la válvula. No se alimentan las válvulas con 0 V ó 24 V, como en las válvulas convencionales,

sino que se hace con una señal que puede variar en un rango determinado (ej. 0 a 10 V). Así se obtienen valores intermedios de presión o caudal, a diferencia de las válvulas convencionales. (Philco, 2019).

### 2.5.2.1 Regulación de caudal

La válvula proporcional de la figura 2.5 convierte una señal eléctrica analógica de entrada en una determinada posición de la corredera y, por ende, una concreta apertura de la sección transversal del paso de aire a través de la corredera. Para 5V la válvula se coloca en la posición intermedia con centros cerrados. No hay paso de aire más que la mínima fuga natural hacia escape, debida a la forma constructiva de la válvula. A 10V y a 0V la corredera de la válvula se coloca en sus posiciones finales, bien hacia un extremo, dejando pasar el máximo caudal desde la vía 1 a la 2, bien en el otro, dejando pasar el máximo caudal de 1 a 4, y un caudal nulo en los dos casos en las otras vías de trabajo, 4 a 5 y 2 a 3 respectivamente. (Philco, 2019).

En posiciones intermedias circula un caudal menor, de 1 a 2 ó 4, y un caudal nulo hacia la otra vía (4 ó 2). Existen pequeñas fugas de 1 a 3 y de 1 a 5 en todo caso. Un solenoide actúa directamente sobre la corredera de la válvula como un transductor electromecánico de posición. Un control electrónico de la posición de la corredera (realimentación del control de posición) permite óptimas respuestas estáticas y dinámicas, esto es; baja histéresis (por debajo del 0,3%), bajo tiempo de respuesta (5 ms) y alta frecuencia máxima (100 Hz).

En la figura 2.6 se muestra el diagrama tensión-caudal de una válvula proporcional, donde se precisa el caudal que llega al actuador.

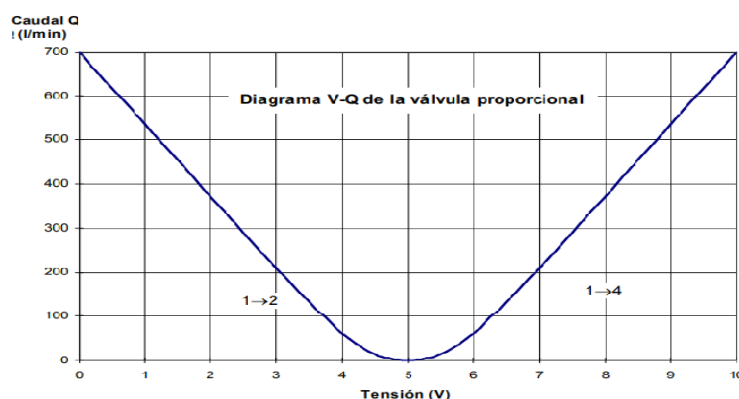


Figura 2. 6 Diagrama tensión-caudal de válvula proporcional MPYE-5-1/8 de FESTO

Fuente: (FESTO, 2020)

Las válvulas proporcionales, que cambian las salidas en proporción a su valor de entrada, brindan soluciones confiables y compactas para una respuesta rápida y un control constante a tasas de flujo relativamente bajas. La tecnología de control proporcional es ideal cuando se requiere un rendimiento preciso en aplicaciones de flujo y presión variable. No todas las válvulas proporcionales son iguales. Cuando los fabricantes de equipos, los integradores y los usuarios finales seleccionan válvulas proporcionales, deben considerar algunas preguntas clave lo antes posible en el proceso de desarrollo de la aplicación:

- ¿La aplicación requiere un modelo pilotado por aire o de acción directa?
- ¿Sería útil una válvula proporcional con capacidades especiales, como el ajuste basado en software?

Véase la figura 2.7 un ejemplo de una válvula proporcional.

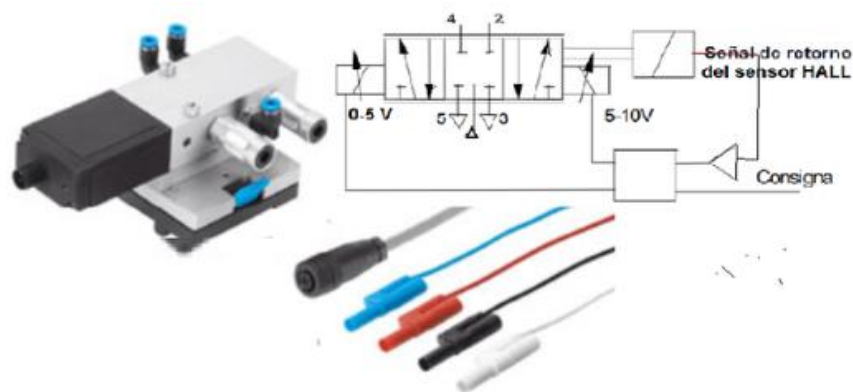


Figura 2. 7 Válvula regulador de caudal proporcional 5/3 de FESTO

Fuente: (Philco, 2019)

### 2.5.2.2 Regulación de presión

Este tipo de válvula proporcional mantiene constante la presión de salida, independientemente de la magnitud de la presión a su entrada, con la condición de que aquella siempre sea menor que ésta. Por otra parte la presión constante de salida puede variarse, igual que en aquella. La válvula proporcional de presión tiene una parte neumática análoga a la convencional, pero además posee determinados elementos electrónicos que la distinguen de aquella, y que la hace más exacta. En la figura 2.8 se muestra el corte secciona de una válvula proporcional de control de presión.

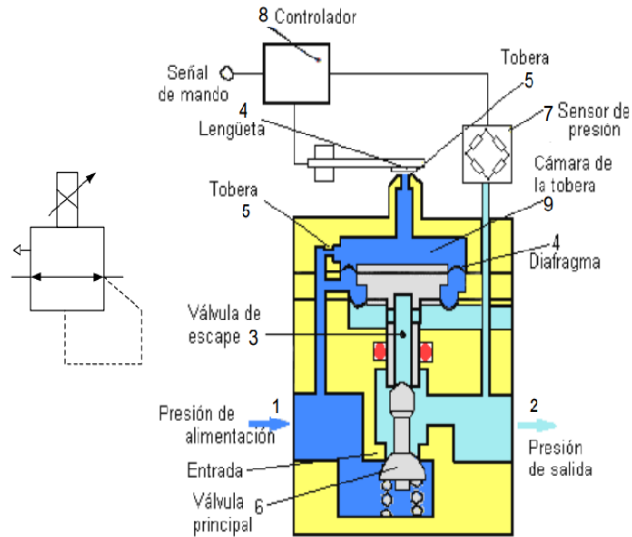


Figura 2. 8 Válvula proporcional reguladora de presión

Fuente: (Philco, 2019)

Una tensión de alimentación de consigna hace que una lengüeta (4) ocupe una determinada posición ante una tobera (5), de tal manera que salga a escape un cierto caudal de aire, y se obtenga un determinado equilibrio, en el que la válvula principal (6) adquiera una determinada posición. En esta posición, esta válvula principal produce una pérdida de carga el punto de alimentación a la entrada de la válvula proporcional (1) y la de su salida (2), consiguiendo así que la presión de salida sea la de consigna. Si la presión obtenida en (2) fuese superior a la deseada, habría que aumentar la pérdida de carga, para ello el sensor de presión (7) se lo comunicaría al controlador (8), que haría que la lengüeta (4) abriese el paso hacia escape, disminuiría la presión en la cámara de la tobera (9) y la válvula principal (6) se cerraría, produciendo mayor pérdida de carga, hasta alcanzar un nuevo equilibrio en el que la presión de salida fuese la deseada.

Si la presión obtenida fuese inferior a la requerida las cosas sucederían a la inversa. La presión de salida de consigna puede variarse modificando la tensión de alimentación del controlador.

La figura 2.9 representa el proceso mediante un diagrama de bloques del proceso de control de la presión del aire comprimido en una válvula proporcional de control de presión.

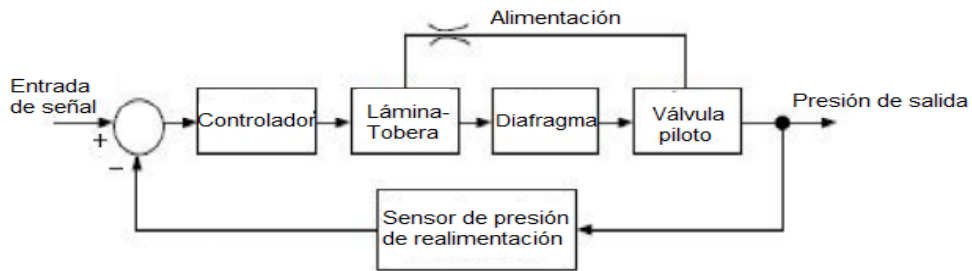


Figura 2. 9 Diagrama de bloque de control de presión en válvula proporcional  
Fuente: (Philco, 2019)

En la figura 2.10 representa la relación entre la tensión de entrada y la presión de consigna de salida en la válvula EIT2040 del fabricante SMC.

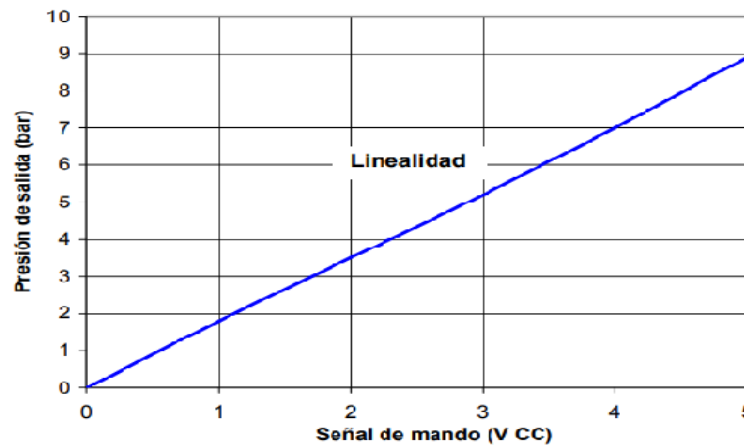


Figura 2. 10 Diagrama tensión- presión  
Fuente: (Philco, 2019)

Las válvulas reguladoras de presión electroneumáticas, también llamadas transductores o convertidores E/P (también existen I/P), no proporcionan simplemente control direccional; también pueden proporcionar un rango de presiones proporcionales al voltaje analógico o la corriente de las señales que el dispositivo recibe de la tarjeta de salida analógica del controlador lógico programable (PLC). La presión se ajusta en un entorno de circuito cerrado con un sensor de presión que medirá la presión 'aguas abajo' electrónicamente, y puede comparar las necesidades de presión que tiene con la presión requerida. Además, tiene dos pequeñas válvulas solenoides que son capaces de ajustar la presión al valor objetivo.

En la figura 2.11 se muestra una válvula proporcional de control de presión del fabricante REGTRONIC.



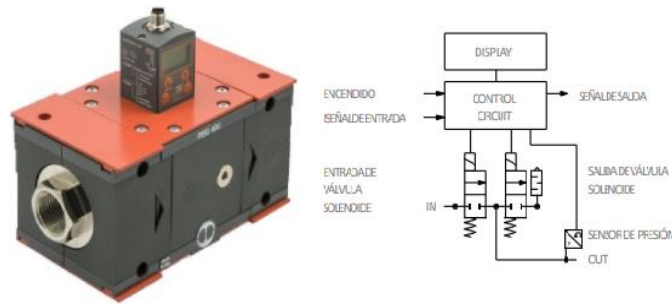


Figura 2. 11 Válvula proporcional de control de presión REGTRONIC  
Fuente: (Ecuatoriana Industrial, 2020)

Son reguladores de presión electrónicos, compactos, que convierten una señal eléctrica (corriente o voltaje) en una salida neumática proporcional. En la figura 2.12 se muestran dos tipos de válvulas de control de presión proporcional ASCO Numatics.



Figura 2. 12 Válvulas de control de presión proporcional  
Fuente: (Emerson , 2020)

Ambos son controladores de flujo volumétrico que ajustan el flujo de manera rápida y precisa en relación con una señal de control eléctrica. Diseñado para aplicaciones con demandas de flujo que cambian rápidamente. Aunque la válvula 2.12 (b) es un controlador PID que controla la corriente a una bobina de solenoide, lo que hace que cualquier válvula de solenoide responda proporcionalmente a una señal de control eléctrico. La tecnología de control proporcional es ideal cuando se requiere un rendimiento preciso en aplicaciones de presión o flujo variable.

### 2.5.3 Caso control de caudal

Es necesario tener presente que de 0 a 5 V el sentido del caudal de aire será hacia una de las entradas del cilindro y por lo tanto su émbolo se moverá en un

sentido determinado mientras que de 5 a 10 V el émbolo del cilindro se moverá en sentido inverso. La entrada en voltios (consigna) hacia la válvula se hará desde un PC por medio de salida de un convertidor A/D. Para los no iniciados en este tema conviene que traten esto como si el ordenador funcionara como un potenciómetro que da una salida de corriente continua entre 0 y 10V. En la figura 2.13 se representan los esquemas neumático y eléctrico

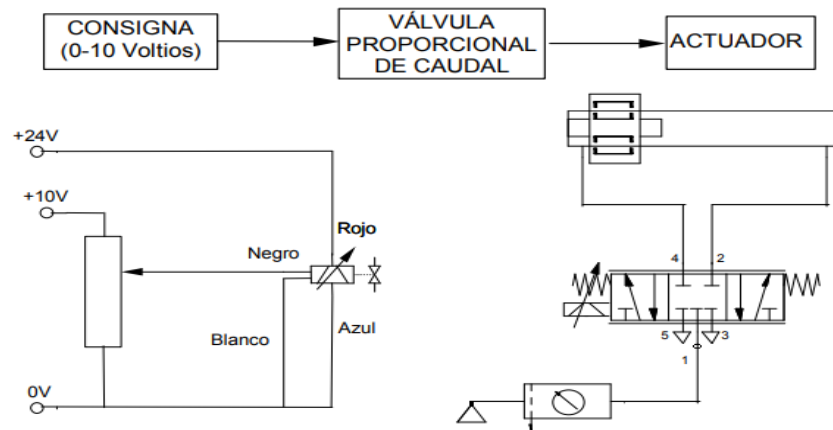


Figura 2. 13 Circuito electroneumático para control de caudal

Fuente: (Philco, 2019)

Como actuador se usará un cilindro sin vástago que tiene la ventaja de poseer la misma sección efectiva en un sentido y en otro.

### 2.5.3.1 Control de presión con una válvula proporcional de caudal.

Se desea de controlar la fuerza producida por el vástago de un cilindro, mediante la regulación de la presión de trabajo de un cilindro de simple efecto. Se deben conectar todos los elementos tal como se indica en los esquemas de las figuras 2.14 y 8-9. Como consigna, igual que en el caso anterior se utilizará una salida del convertidor A/D del PC. Como control se emplea un PID (control Proporcional, Integral, Derivativo). Así modificando los valores de las constantes  $K_p$ ,  $K_I$  y  $K_d$ . Como elemento final de control se usa la válvula proporcional distribuidora y como actuador un cilindro de simple efecto. Para realimentar el bucle de control se dispone de un sensor de presión externo que traduce la presión en bar a una señal eléctrica analógica de corriente continua de entre 0 y 10 V que se corresponde con una presión de entre 0 y 10 bar (Philco, 2019).

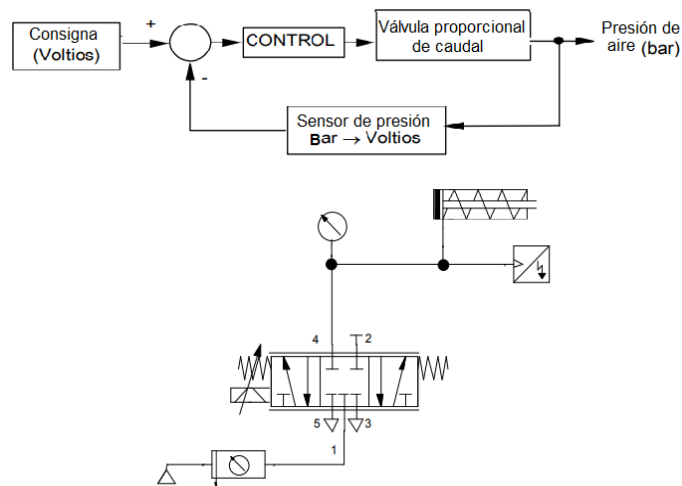


Figura 2. 14 Diagrama de bloque y conexión neumática con válvula proporcional de caudal  
Fuente: (Philco, 2019)

Las conexiones neumáticas son como se muestra en la figura 2.14. Se ha de taponar una de las vías de la válvula proporcional ya que se emplea un cilindro de simple efecto. Se recomienda la inclusión de un manómetro. La figura 2.15 representa las conexiones con la caja PID. No es muy importante entender los símbolos que hay dentro de ella. Pero lo que se quiere destacar es la conexión del sensor de presión situado a la izquierda del esquema, así como la de la válvula proporcional dispuesta a la derecha del mismo.

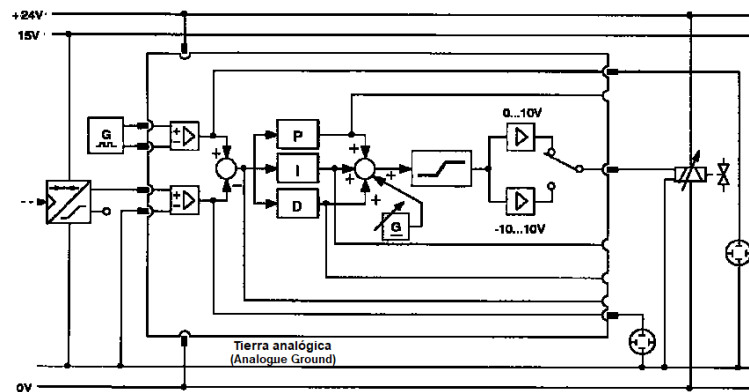


Figura 2. 15 Conexión eléctrica y lazo PID para circuito de control de presión  
Fuente: (Philco, 2019)

El sensor de presión debe llevar el cable rojo a +15 V, el azul a la tierra analógica (analog ground), el negro hacia la conexión de realimentación del PID. Es necesario conectar la otra borna de dicha conexión hacia la tierra analógica mediante un cable. El cable blanco del sensor no se utiliza por lo que conviene colocarlo donde no moleste. La electroválvula lleva conectado el cable

rojo hacia +24V, el azul a - 0V, el cable negro hacia la salida de la caja PID y el blanco hacia la tierra analógica.

### 2.5.3.2 Control de posición del émbolo de un cilindro con válvula proporcional de caudal

Se desea controlar la posición del émbolo de un actuador neumático. Para ello se deben seguir las conexiones que se indican en los esquemas de las figuras 2.16 y 2.17.

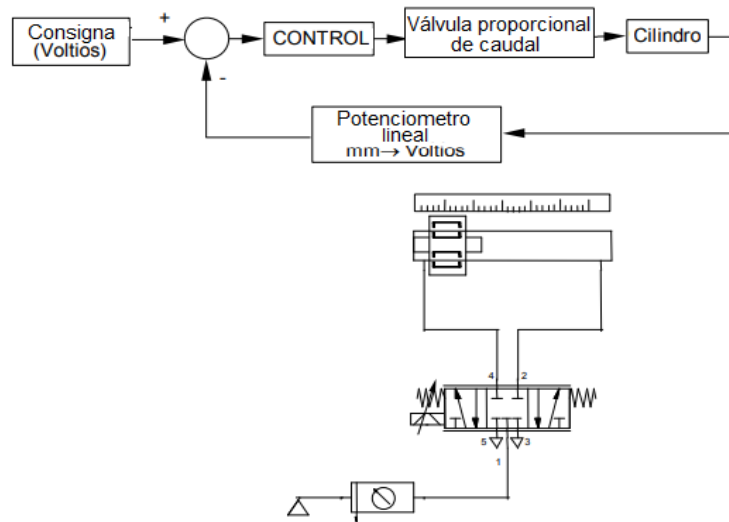


Figura 2. 16 Diagrama de bloque y circuito neumático

Fuente: (Philco, 2019)

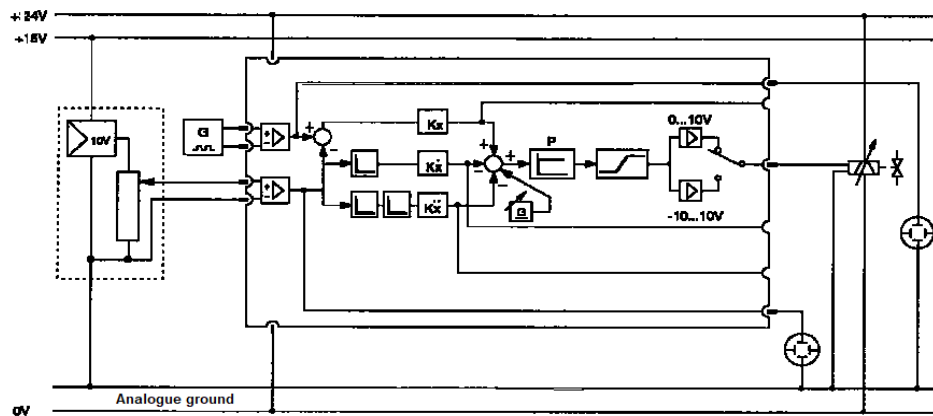


Figura 2. 17 Circuito eléctrico para control de posición del émbolo de un cilindro

Fuente: (Philco, 2019)

Como consigna, igual que en el caso anterior se usará una salida del convertidor A/D del PC que corresponda a una posición en milímetros de la carrera del cilindro. Como control se emplea el modo proporcional en el que se puede introducir constantes proporcionales a la posición velocidad y

aceleración del actuador. Como elemento final de control se usa la válvula proporcional y como actuador un cilindro lineal sin vástago. Para realimentar el bucle de control se dispone de un potenciómetro lineal que actúa como sensor de posición externo.

Las conexiones neumáticas son como se indican en la correspondiente figura 2.16 de la página anterior. El potenciómetro se debe conectar de la siguiente manera: el cable rojo a +15 V, el azul a la tierra analógica (analog ground), el negro y el blanco hacia la conexión de realimentación del control. Como su longitud efectiva son 225 mm y su tensión de salida va de 0 a 10 V. La constante de proporcionalidad para pasar los voltios a mm será de 22,5. De esta forma si el potenciómetro nos da una señal de 1 V quiere decir que el cilindro está en la posición 22,5 mm. La electroválvula lleva conectado el cable rojo hacia +24V el azul a - 0V, el cable negro hacia la salida de la caja del control y el blanco hacia la tierra analógica.

#### **2.5.4 Control electrónico de la válvula neumática**

El control de las válvulas neumáticas y la supervisión de los sensores de posición de los cilindros se lograba originalmente mediante cableado discreto: cada salida del PLC se cableaba individualmente a una bobina de válvula solenoide y se activaba por separado. Los sensores de posición de los cilindros se conectaron de nuevo a la tarjeta de entrada del PLC. Estos sistemas eran costosos y su instalación requería mucho tiempo.

Con la creación colectores enchufables de válvulas, estos sistemas evolucionaron hacia una solución más práctica en la que todas las conexiones de la válvula solenoide a las tarjetas de entrada/salida (E/S) del PLC se podían lograr con un solo cable y terminadas con un cable múltiple (conector de clavijas). Esto significó que, con un tramo de cable, decenas de cables individuales podrían reemplazarse fácilmente, lo que redujo significativamente los costos de cableado para el control de válvulas neumáticas.

Aunque estas válvulas enchufables redujeron los costos de piezas y mano de obra para el cableado individual de cada bobina de solenoide, no incorporaron retroalimentación de diagnóstico ni otra información operativa que pueda ser útil.



Figura 2. 18 Válvulas neumáticas (izquierda) conectadas a “concentradores” de monitoreo neumático (derecha).

Fuente: (Forish, 2020)

La captura de esa información adicional requeriría sensores separados conectados a las tarjetas de E/S del PLC para medir y verificar la funcionalidad correcta. Estos datos de funcionalidad pueden incluir la posición del cilindro, la posición del carrete (parte interna que permite o bloquea el flujo), la presión, y otra información útil. De esta forma agregan y organizan los datos de desempeño neumático y los entregan a través de rutas paralelas separadas a los sistemas de administración de la planta.

Esta conectividad se implementó utilizando una variedad de protocolos de redes industriales como Profibus, Sercos y tecnologías de bus de campo basadas en Ethernet. La solución ofrecía ahorros de costos adicionales y la oportunidad para el PLC de controlar válvulas y monitorear sensores y dispositivos que intercambian datos de E/S a través de un cable de comunicación de bajo costo (sin necesidad de tarjetas de E/S locales).

Los fabricantes de válvulas neumáticas comenzaron a incorporar interfaces de bus de campo y capacidad de E/S para proporcionar la integración con plataformas de automatización más inteligentes y sofisticadas. La integración de estos componentes de comunicaciones en los colectores de válvulas, junto con materiales poliméricos más nuevos y ligeros para la construcción y la protección contra el ingreso de agua y polvo, también hizo posible ubicar el colector de válvulas más cerca del sistema o de los actuadores.

Esta configuración tiene varias ventajas: además de reducir la cantidad de tubería necesaria para conectar las válvulas y los cilindros que impulsan el equipo, el sistema neumático se puede optimizar, lo que lleva a tiempos de

respuesta más rápidos y un mayor rendimiento para las secuencias de movimiento.

Una válvula neumática convencional es una válvula de control direccional simple: se envía una señal eléctrica para cambiar el carrete de la válvula y el aire se dirige hacia afuera de un puerto u otro. Las nuevas tecnologías permitieron que estos dispositivos se controlaran con mayor precisión mediante señales digitales y permitieron la integración de la conectividad de bus de campo. Esto significaba que el PLC de la máquina podía enviar parámetros de forma fácil y precisa para controlar las presiones de válvulas y cilindros de forma dinámica, optimizando los requisitos de fuerza y presión para el sistema de producción.

### **2.5.5 Aplicaciones**

Algunas aplicaciones típicas de válvulas proporcionales incluyen:

- Tensado de bobina/rollo (conversión, textiles, papel)
- Corte por láser
- Prueba de fugas
- Pulverización o recubrimiento de fluidos (pintura, pegamento, otros)
- Soldadura de punto
- Soplado PET
- Calibración y tensado de neumáticos
- Instrumentación analítica

#### **2.5.5.1 Requerimientos de aplicación**

Al seleccionar una válvula proporcional, se debe considerar qué variable debe controlarse. Una válvula neumática de control de presión proporcional no solo puede controlar la presión, sino que también puede controlar otras variables del proceso, como flujo, fuerza, velocidad de rotación, posición, temperatura o nivel.

Existen otros criterios de aplicación para las válvulas proporcional, como conocer si la aplicación es estática o dinámica.

### **2.5.5.2 Estático vs. Dinámico**

Las aplicaciones estáticas a menudo requieren que el punto de ajuste de la presión deseada, controlado mediante la apertura y el cierre de la válvula, permanezca fijo durante la mayor parte del tiempo. Este es el caso de los sistemas de prueba de fugas donde la válvula aplica una presión fija a un componente para probar su solidez. Esta presión de punto de ajuste solo cambia cuando se va a probar un componente diferente.

Las aplicaciones dinámicas requieren que el punto de ajuste cambie con frecuencia, lo que hace que la válvula se abra y se cierre continuamente. Un ejemplo de esta situación es la prueba de materiales, donde la salida de presión de la válvula aumenta constantemente hasta que falla el material probado. Otras características pueden ser cambios de presión comandados con frecuencia con ciclos de trabajo pesado o cargas cambiantes con contrapresión que necesita un disparo/ajuste continuo. Las aplicaciones dinámicas suelen exigir un tipo de válvula proporcional más robusta.

## **2.6. Neumática digitalizada**

Con la incorporación de sensores, procesamiento (análisis de datos obtenidos) y opciones de conectividad anticipadas en las aplicaciones IIoT, la tecnología neumática se convierte en neumática digitalizada, y este concepto agrega aún más mejoras de seguridad que protegen a las personas y las máquinas de daños.

Los procedimientos de gestión de datos de la Industria 4.0 a menudo se asocian con la pirámide de automatización, con ERP en la parte superior, que conduce progresivamente a la gestión de la maquinaria de procesamiento, implementada con protocolos como el interfaz de software OPC Foundation's Unified Architecture (OPC-UA). El hecho es que cada máquina de procesamiento tiene cientos de componentes que deben administrarse: actuadores, cilindros neumáticos, motores eléctricos, interruptores de límite, reguladores de presión o termómetros. Por lo tanto, los datos administrados en el nivel superior son en realidad solo la punta del iceberg, en comparación con los datos que se deben administrar en el nivel más bajo, es decir, dentro de la máquina. Este es el nivel donde opera la neumática. Vease la figura 2.19.



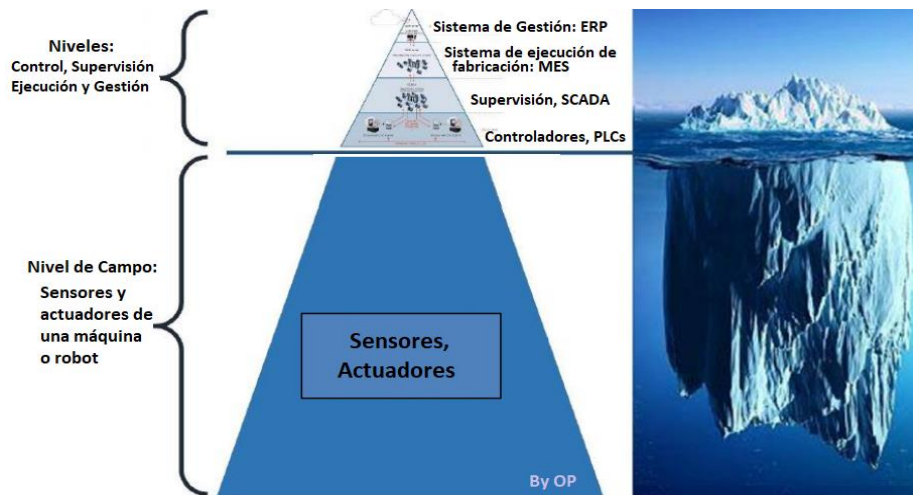


Figura 2. 19 Representación de pirámide automatización y nivel de campo con grandes volúmenes de datos para su gestión

Fuente: (Philco, 2019)

El enfoque más común, pero menos eficiente, es confiar esto al PLC de la máquina. Sin embargo, el PLC, y en particular la persona que lo programa, ya tiene muchas cosas que considerar, sin tener que centrarse en la gestión inteligente de datos estadísticos, de diagnóstico y de mantenimiento preventivo para actuadores o sensores individuales. El resultado es que esta información, que es esencial para el funcionamiento satisfactorio de todo el sistema, se ignora y no se gestiona (Philco, 2019),

Con demasiada frecuencia, cualquiera que se ocupe de este tema subestima, o incluso olvida, la importancia cuantitativa y cualitativa de los datos gestionados a nivel de máquina, que en realidad es más extenso y requiere un procesamiento especial.

### 2.6.1 Sistemas inteligentes en neumática

La tecnología de la neumática digitalizada une los beneficios de la neumática tradicional con los del movimiento controlado a través de control electrónico avanzado. La tendencia en la automatización hacia sistemas en red, descentralizados e inteligentes con una integración de diversos sensores, mayor inteligencia de software y comunicación con dispositivos de red industrial, incluida la capacidad de que los componentes se comuniquen entre sí, (Philco, 2019). Esto se conoce como sistemas ciberfísicos porque integran capacidades de computación, almacenamiento y comunicación con el fin de controlar e interactuar con un proceso físico, Por consiguiente, se utilizará datos

registrados internamente sin la necesidad de sensores adicionales, y luego compartir esta información interna y externamente con otros sistemas a través de interfaces de comunicación adecuadas.

Dichos sistemas se pueden adaptar sin la necesidad de hardware nuevo o adicional porque las adaptaciones funcionales se ejecutan mediante software y aplicaciones, o el sistema se autoajusta por sí mismo o mediante instrucciones del sistema de control (Philco, 2019).

ALgunos fabricantes emplean la tecnología inteligente de terminales de válvulas para realizar una amplia gama de tareas de movimiento neumático con un solo bloque o terminal (sistema ciberfísico) que tiene; conectividad Ethernet industrial, un controlador para función flexible a través de la aplicación, válvulas con sensores integrados para control de circuito cerrado, entradas analógicas y digitales para un control rápido de aplicaciones específicas y suministro integrado de presión y sensores de temperatura para análisis de datos. Vease en la figura 2.20 el bloque FESTO motion terminal.

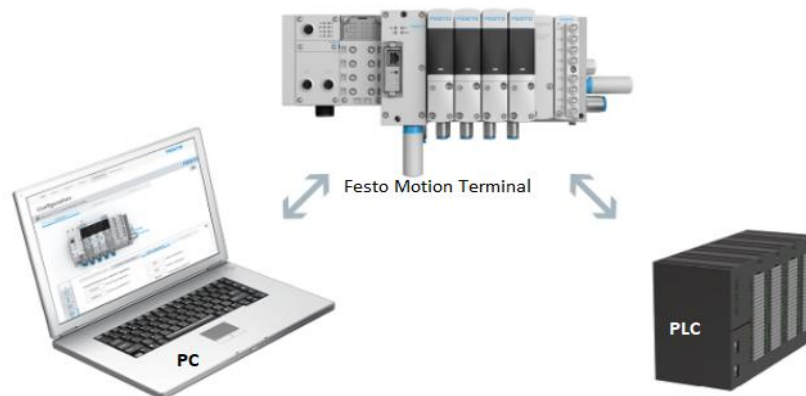


Figura 2. 20 Bloque FESTO Motion Terminal

Fuente: (FESTO, 2020)

El Festo Motion Terminal También integra interfaces hombre-máquina que permiten supervisar y controlar movimientos complejos como un retroceso suave a la posición final, así como varios perfiles de velocidad o tareas de posicionamiento que solo eran posibles con servo-neumática o automatización eléctrica.

El fabricante Metal Work diseñó un bloque terminal denominado EB80 que puede manejar no solo electroválvulas, sino también cilindros, sensores, transductores, motores eléctricos y el satisfactorio funcionamiento de todo el

sistema. Permite almacenar datos estadísticos dentro de un bloque de válvulas solenoides inteligentes. El resultado de haber descentralizado los datos significa que no se perderán, incluso a largo plazo, ni siquiera si se modifica o desmonta el bloque de electroválvulas. Vease la figura 2.21.

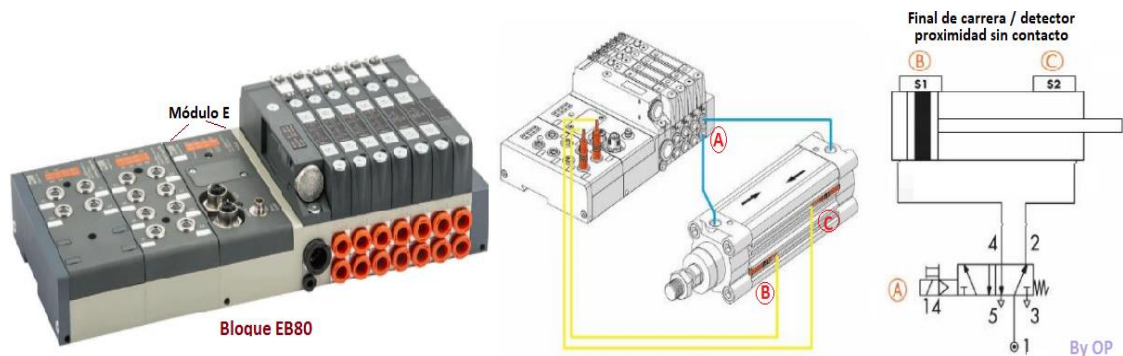


Figura 2. 21 Bloque de Válvulas Inteligente EB80. Gestión de actuador (derecha)

Fuente: (Metal Work Pneumatic, 2020)

El EB80 es un bloque de válvulas de control direccional, el sistema gestiona actuadores conectados, número de ciclos, velocidad, retrasos y fallas. Cada válvula solenoide del bloque EB80 tiene 'inteligencia' autónoma. Considérese algunos ejemplos; un cliente devuelve una base de válvula completa para su reparación, diciendo que a veces no funciona. La lectura de los datos históricos puede revelar que el voltaje de suministro cayó por debajo del umbral 30 veces, por lo que el problema se debe a la baja calidad del suministro de electricidad del cliente. O se reporta que una de las válvulas ya ha completado 230 millones de ciclos y, por lo tanto, excedió su vida útil esperada y debe reemplazarse. Este escenario descrito es el primer nivel de diagnóstico del bloque de válvulas inteligentes EB80

Un segundo nivel de diagnóstico incluye un conjunto de algoritmos que permiten al sistema verificar el funcionamiento de los actuadores controlados por las válvulas solenoides. Así cuando las válvulas operan en el control de cilindros neumáticos, normalmente con sensores de final de carrera o detectores de proximidad sin contacto instalados que detectan la posición del pistón. Las señales digitales enviadas desde los sensores van a módulos de entrada del procesador del EB80, cerrando un bucle de control del cilindro, así se controla el movimiento del cilindro y se visualiza la señal vinculada al movimiento.

Todo esto se implementa localmente, sin involucrar al PLC. Como resultado, el bloque de válvulas solenoides puede evaluar posibles retrasos en la operación del cilindro que podrían deberse, por ejemplo, a fallas, interrupciones de la tubería, componentes agarrotados o cualquier otro problema. Se puede establecer el tiempo de operación de referencia y el umbral de aceptación correspondiente, y se genera un mensaje de error en caso de variaciones.

Se puede implementar el control de velocidad del cilindro. De manera similar a lo anterior, el EB80 obviamente puede controlar el movimiento del cilindro en ambas direcciones y leer las señales generadas por los dos finales de carrera (interruptores de límite). Como resultado, puede medir y monitorear la velocidad promedio del cilindro y el número de carreras completadas.

Por lo tanto, el bloque de electroválvulas puede almacenar la distancia recorrida y controlar los cambios de velocidad que podrían deberse, por ejemplo, a modificaciones de ajuste, mayor fricción o cambios en las cargas aplicadas. Una caída inesperada de la velocidad puede provocar una caída de la productividad, mientras que un aumento brusco puede provocar la rotura de actuadores o piezas mecánicas de la máquina. Vease la figura 2.22.



Figura 2. 22 Funcionalidades del bloque EB80

Fuente: (Controllo e Misura, 2020) editado por By OP

También en este caso, se puede insertar un valor de referencia para la velocidad y un umbral de aceptación. En caso de cambios inesperados se genera un mensaje de error, que puede ser gestionado por el usuario. Cabe reiterar que la verificación local está involucrada, en tiempo real y directamente en campo, sin tener que desarrollar aplicaciones adicionales del sistema de control. Esto convierte al EB80 en un componente inteligente potente y flexible, sin la necesidad de otros módulos además de la versión estándar.

El tercer nivel de diagnóstico es la transmisión de datos de diagnóstico directamente desde el módulo E al PLC, utilizando el cable de bus de campo. Una vez que se han analizado los datos obtenidos, el computador encargado del funcionamiento de las líneas de producción toma la decisión más adecuada acorde a la información de la que dispone, lo que constituye la respuesta de la computadora.

El cuarto nivel de diagnóstico es la opción de enviar datos de forma remota a un sistema de gestión centralizado, o vía la nube por medio de una puerta de enlace, a los operadores que pueden ver lo que está sucediendo en cualquier momento y proporcionar soporte remoto (Philco, 2019).

En la figura 2,23 la representación de envío de datos históricos, estadísticos y de diagnóstico a través de la nube. Se puede supervisar y comprobar los datos de cada válvula y cilindro de forma remota.

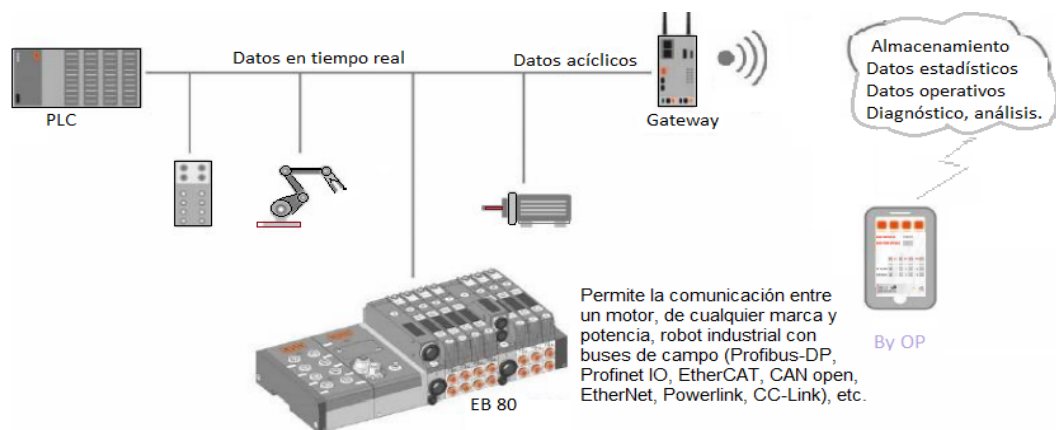


Figura 2. 23 Bloque EB 80 y conexión a nube

Fuente: (Metal Work Pneumatic, 2020) Editado por By OP

Cabe señalar que esta información es necesaria no solo en caso de avería, sino también para saber si la máquina está en funcionamiento, qué válvulas se activan en un momento determinado y cuántos ciclos han completado. Por ejemplo, podría ser útil saber que una determinada válvula ya ha completado el 60% de los ciclos esperados en su vida, para poder reemplazarla como precaución en la primera oportunidad. Esta información puede ser leída por cualquier dispositivo remoto, como un teléfono inteligente, simplemente leyendo el código QR del sistema en cuestión. A través del EB80 permite la comunicación entre cualquier marca de motor, de cualquier potencia, con todos los buses de campo. Cualquiera que desee gestionar motores paso a paso o

sin escobillas con un bus de campo específico (Profibus-DP, Profinet IO, EtherCAT, EtherNet, CANopen, Powerlink, CC-Link), no tiene que encontrar el convertidor con la interfaz para ello (Philco, 2019).

Las funciones de diagnóstico, combinadas con la capacidad de almacenar grandes cantidades de datos y la posibilidad de interactuar con varios buses de campo, hacen del EB 80 un componente óptimo para su uso en escenarios de Industria 4.0.

### CAPÍTULO 3: TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA 4.0

Dentro de la automatización se integran una multitud de tecnologías consideradas habilitadoras 4.0, por lo que para poder delimitar y organizar la información, en relación a la Industria 4.0, la Automatización avanzada se entenderá como:

- Sensorización avanzada a nivel de fábrica.
- Fabricación multietapa y flexible.
- Smart Manufacturing (sistemas ciberfísicos (CPS)).

Por otro lado, se tiene la robótica avanzada y colaborativa, que podría definirse como un caso particular de automatización. En este caso se trata de robots dotados de elementos de sensorización que pueden ser integrados en entornos de fabricación ágil, trabajando mano a mano con operarios, donde la seguridad del trabajador es un aspecto central a tener en cuenta.



Figura 3. 1 Tecnologías que permiten implementar industria 4.0

Fuente: (Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia, 2017)

A continuación, se introducirá cada uno de los conceptos por separado.

#### 3.1 Sensórica Avanzada a nivel de fábrica

El concepto de sensorización avanzada hace referencia a las tecnologías que, mediante la utilización de diferentes sensores, permiten analizar y obtener datos de diferentes máquinas, operarios u objetos, de forma no invasiva. Es una tecnología que colabora activamente y de forma transversal como parte del resto de las tecnologías habilitadoras 4.0, ya que es la fuente de datos que,

mediante un procesado analítico, permite dotar de la característica de “inteligente” al proceso o producto.

De forma general, la clasificación de los sensores podría establecerse de la siguiente forma:

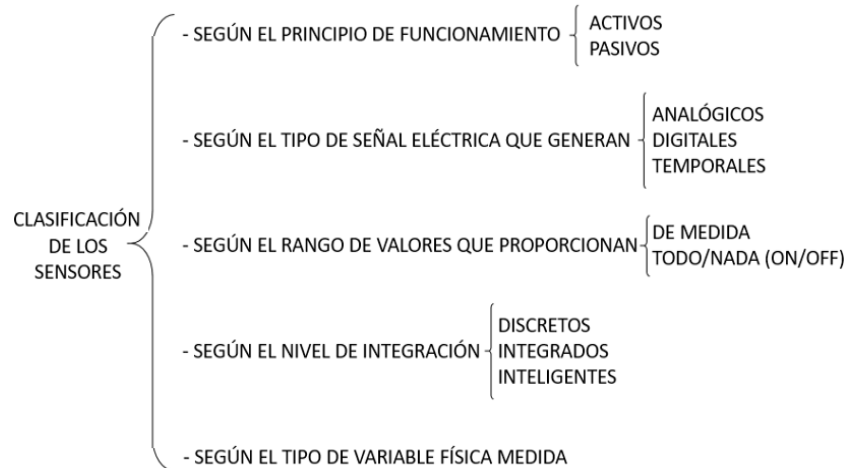


Figura 3. 2 Clasificación de los sensores industriales

Fuente: (Philco, 2019)

Para conseguir un salto de calidad en las líneas propuestas por la Industria 4.0, la sensorización avanzada a nivel de planta de producción debe dar soporte a la consecución de los siguientes objetivos:

- Cero defectos. La automatización de la planta basada en sensorización avanzada, debe ir en la línea de conseguir este objetivo.
- Toma de decisiones a nivel producción en tiempo real.
- Trazabilidad en toda la cadena de valor, se busca tener la historia individual de cada unidad producida.
- Fiabilidad en las máquinas, se busca mediante por un lado la recolección, almacenaje y procesado en tiempo real de los datos recogidos, y por otro el auto diagnóstico y sistemas de alarma basados en algoritmos predictivos, conseguir una fiabilidad total durante la vida útil de la máquina.
- Fábrica medioambientalmente sostenible, tanto a nivel de gestión y reutilización de los residuos como de recuperación de energía.



### **3.1.1 Sensorización avanzada**

Para poder tener información en tiempo real hay que medir, y la sensórica es una de las principales tecnologías de captura de datos, tanto para gestión de la producción y de la calidad, como soporte al mantenimiento de las máquinas, una línea de trabajo que está iniciando su camino, con resultados muy interesantes sería el Mantenimiento Predictivo.

#### **3.1.1.1 Mantenimiento predictivo**

Uno de los mayores desafíos para los usuarios finales es el tiempo de inactividad no programado. El mantenimiento predictivo es un concepto muy ligado a la sensorización avanzada. Las soluciones habilitadas para el IIoT (Industrial Internet of Things, Internet de las Cosas Industrial), la monitorización remota y el mantenimiento predictivo, pueden ayudar a minimizar, si no eliminar totalmente, estos tiempos de inactividad no programada, lo que proporcionaría un retorno de la inversión muy atractivo.

Se pueden considerar como tecnologías de sensorización avanzada a nivel de fábrica, en el dominio de la industria 4.0:

- Visión, donde se englobaría:
  - Visión artificial
  - Escaneado 3D
  - Espectrometría
  - Termografía
- Ultrasonidos
- Acústica
- Fotónica

### **3.2 Fabricación Multietapa y Flexible**

La competitividad de las empresas depende en gran medida de poder adaptarse rápidamente a la demanda del mercado, cada vez más individualizada, ofreciendo productos innovadores de alta calidad a costes contenidos. La Fabricación Multietapa y Flexible es un concepto que permite acercar ambos extremos (alta calidad y bajo coste), conceptos antagónicos

hasta el momento desde el punto de vista industrial. Esta nueva forma de fabricar necesita un cambio de filosofía de producción, donde se busca fabricar de forma automatizada series más cortas pertenecientes normalmente a una misma familia de productos. Con instalaciones tradicionales sería muy costoso y lento. Ver figura 3.3



Figura 3. 3 Fabricación flexible frente a otras tecnologías actuales

Fuente: (Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia, 2017)

La fabricación multietapa y flexible, involucra a otras actividades realizadas en la industria como la de compras, almacenaje, el transporte de materiales, verificación de calidad, trazabilidad, embalado, etc.

### 3.2.1 Fabricación flexible

La personalización del producto es una demanda creciente de los clientes. Cubrir estas nuevas necesidades sería inviable desde un punto de vista económico si no se flexibilizan las plantas de producción.

La fabricación flexible no es una tecnología de fabricación propiamente dicha, sino que sería una forma inteligente de trabajar, de forma modular, que permita rápidos cambios en las líneas de producción que impliquen cambios de las características finales del producto.

Una fabricación flexible permite combinar ágilmente diferentes módulos de producción para crear productos personalizados en una sola instalación. Esta nueva forma de fabricar requiere tanto interconexión digital entre los equipos, como sistemas de gestión automatizados.

### 3.3 Sistemas Ciberfísicos (CPS)/Smart Manufacturing

El empleo de sistemas ciberfísicos (CPS por sus siglas en inglés) es uno de los elementos que posibilitan un cambio de paradigma en la industria 4.0. Un sistema ciberfísico es todo aquel equipo que integra capacidad de computación,

almacenamiento y comunicación para controlar e interactuar con otros equipos o procesos en el mundo físico. Estos sistemas están normalmente conectados entre sí y a su vez conectados con redes globales.

Las principales características de los sistemas CPS son por un lado que pueden utilizar la información proveniente del mundo virtual, de forma que puede tener la capacidad de aprender y evolucionar mediante técnicas de inteligencia artificial, y por otro lado que tiene la capacidad de interactuar con objetos físicos.

Los sistemas CPS son de aplicación en múltiples sectores como fabricación, energía, transporte, smart cities, salud, etc. Algunos ejemplos de nuevas soluciones aplicadas de CPS, relacionadas con industria 4.0, podrían ser:

- Control de maquinaria en plantas de producción.
- Monitorización de máquinas de cara a la optimización de su estrategia de operación y mantenimiento
- Robots colaborativos, los cuales tienen en cuenta su entorno y aprenden unos de otros.
- Vehículos autónomos de transporte de piezas que se comunican con otros y con los sistemas de gestión de la fábrica para determinar rutas o velocidades óptimas.

Dada su complejidad y extensión, esta tecnología se tratará de forma independiente, con un desarrollo propio en este documento.

### **3.3.1 Capacidades del sistema sistema Ciberfísico**

En los procesos de fabricación tradicional las máquinas operan aisladas entre sí. Generaban datos e información, pero no existía una interacción entre máquinas o procesos. También existían sistemas embebidos tradicionales. Un sistema embebido es un software de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas. Su software está aislado y no se podrá modificarlo para que ejecute otro tipo de programas que no sean los que están embebidos (Industria 4.0, 2020).

Las claves del auge de los sistemas ciberfísicos en la Industria 4.0 se centran en el incremento de la capacidad de procesamiento de los dispositivos, su reducción de tamaño, la mejora de la conectividad, la interoperatividad entre diferentes sistemas operativos, el cada vez mayor uso de sistemas de

almacenamiento de información y la aplicación de sistemas de inteligencia artificial.

Un sistema ciberfísico integra capacidades de computación, almacenamiento y comunicación junto con capacidades de seguimiento y/o control de objetos en el mundo físico. Los sistemas ciber-físicos están, normalmente, conectados entre sí y a su vez conectados con el mundo virtual de las redes digitales globales. (Tekniker, 2019)

Las características esenciales de los sistemas ciberfísicos son:

- La capacidad de relacionarse con los objetos físicos para monitorizar y/o controlar, y la utilización de la información disponible en el mundo virtual, pudiendo tener en algunos casos capacidad de aprender y evolucionar.
- Se pueden aplicar en múltiples sectores como los de la fabricación, energía, salud, transporte, ciudades inteligentes, etc. Permite por ejemplo, el desarrollo de una nueva generación de soluciones de:
  - Control de una máquina herramienta o un aerogenerador para optimizar su rendimiento.
  - Monitorizado del estado de la máquina o, en general, de un sistema y la optimización de su estrategia de operación y mantenimiento
  - Robots que colaboran, tienen en cuenta información del contexto y aprenden unos de otros
  - Vehículos que se comunican con otros y con la infraestructura viaria para determinar la velocidad o la ruta adecuadas

### **3.4 Robótica avanzada y colaborativa**

La robótica avanzada y colaborativa es una rama dentro de la automatización industrial avanzada. Se trata de robots dotados de elementos de sensorización que pueden ser integrados en entornos de fabricación ágil, trabajando mano a mano con operarios, donde la seguridad del trabajador es un aspecto central a tener en cuenta.

#### **3.4.1 Tecnologías para implementar la fábrica avanzada**

La robótica avanzada y colaborativa vinculada al sector industrial, es un importante habilitador digital (tecnología que hace posible la transformación digital). En la industria actual, la robótica procesa o transporta materias

primas o materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales. Los robots pueden realizar un amplio catálogo de actividades, a mayores, tienen capacidad de percibir lo que ocurre a su alrededor mediante sensores, moverse en su entorno y comunicarse con otras máquinas y/o personas, todo esto unido al procesado de toda esta información en tiempo real mediante tecnologías de la información, hacen que la versatilidad de este tipo de equipos permita su aplicación a un amplio abanico de sectores industriales.

En el informe Industria Conectada 4.0 (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad Española), concuerda que, la robótica avanzada y colaborativa da un paso más a estas definiciones y se enmarca dentro de los habilitadores digitales que permiten la hibridación del mundo físico y digital, es decir, vincular el mundo físico al virtual para evolucionar a una industria inteligente. Véase la figura 3.4.



Figura 3. 4 Habilitadores digitales involucrados en la industria 4.0.

Fuente: (Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia, 2017)

Esta versatilidad permite a la robótica avanzada y colaborativa servir a múltiples sectores de cara a conseguir los objetivos ligados a la industria 4.0:

- Desarrollo tecnológico y dinamización de la economía.
- Flexibilidad en la producción: cambios en la configuración que no afecten al tiempo de producción.
- Personalización: satisfacer peticiones del cliente incluso con bajos volúmenes de producción.
- Optimización de la toma de decisiones: información en tiempo real.

- Aumento de productividad y eficiencia en los recursos: seguimiento exhaustivo a lo largo de todo el proceso productivo.
- Cero defectos.
- Nuevas oportunidades de negocio: especialmente en servicios derivados o de apoyo.

### **3.5 Ventajas de la automatización 4.0**

- Optimizan la fabricación por lotes.
- Se optimiza el empleo de sistemas de transporte de piezas, herramientas, tiempos de puesta a punto...
- Se reduce el material en curso, sólo se fabrica lo necesario. Es decir fabricar solo lo estrictamente necesario, cuando es necesario y solamente en las cantidades imprescindibles. El objetivo es reducir stocks al mínimo necesario.
- Aumenta la capacidad de reconfiguración de máquinas y plantas de producción.
- Permite la integración de procesos y sistemas.
- Mejora la gestión de la producción.

#### **3.5.1 Ventajas de la robótica avanzada y colaborativa**

Las principales ventajas de la robótica avanzada y colaborativa:

- Permite la estrecha colaboración en condiciones de seguridad hombre-máquina, de forma que los trabajos realizados sean más fáciles y rápidos.
- Gran flexibilidad al poder realizar tareas de muy distintos tipos (pick & place, montaje, empaquetado, soldadura, atornillado, etc.), facilitando la automatización a pequeñas y medianas empresas.
- Alta productividad, un solo robot puede realizar 3 turnos (24h/día).
- La utilización de robots colaborativos garantiza el aseguramiento de la calidad de los bienes producidos, al estar monitorizando los parámetros de calidad en tiempo real.
- Otro de los principales puntos fuertes de estos nuevos robots colaborativos es la facilidad de programación, ya que un operario puede “enseñar” al autómatas no mediante programación clásica, sino guiando al robot a través de los movimientos de la tarea a realizar, pulsando un botón para identificar

cada waypoint. Una vez que se ha “enseñado” al robot, la tarea se almacena en memoria y se ejecuta cuando sea necesaria.

- Aumento de velocidad en procesos repetitivos.
- Posibilidad de fabricación de lotes más pequeños.
- Alta fiabilidad.
- Aumenta la capacidad de reconfiguración de máquinas y plantas de producción.
- Permite la integración de procesos y sistemas.
- En definitiva, mayor productividad y eficiencia.

### **3.6 Tendencias**

Las tendencias en automatización van encaminadas a crear una fábrica conectada inteligente, flexible, sostenible y conectada con el cliente final. El aumento de soluciones tecnológicas de tecnología de sensorización, unido al internet de las cosas y a la inteligencia artificial, proporcionarán a las líneas automatizadas tradicionales una serie de posibilidades 4.0 de cara a utilizar esta información recopilada a pie de línea a un nivel superior, al nivel de la toma de decisiones empresariales a través de sistemas de gestión integrales.

Los sistemas ciberfísicos y los nuevos sistemas de interacción hombre máquina, dotarán a las líneas de producción un grado de digitalización que impulsará la productividad de las empresas de cara a ser más competitivas manteniendo los estándares de calidad exigidos. Muchos de los procesos de control se realizan ya de forma automatizada, pero el uso de tecnologías 4.0 en este ámbito ayudará a la optimización de los procesos en tiempo real mediante técnicas de Big Data e Inteligencia Artificial.

En cuanto a la robótica flexible, va un paso más allá:

- Su base es la robótica industrial tradicional de forma más extendida.
- Disponen de cierto grado de sensorización. Trabajan en zonas cerradas o valladas, pero su posicionamiento es en función de la información recogida por sus sensores.
- Se necesita un técnico especialista para programarlo
- Se puede utilizar tanto en producción intensiva como en lotes cortos fuera de línea.

La robótica colaborativa sería el último paso de esta cadena, donde todavía se está investigando y desarrollando aplicaciones colaborativas. Sus características principales serían las siguientes:

- Los robots comparten el espacio de trabajo con las personas.
- Los robots colaborativos disponen de un sistema sensorial que les permite conocer el entorno de trabajo, incluso a las personas.
- Su programación es sencilla mediante nuevas técnicas, por lo que no es necesario un especialista.
- Al no necesitar un vallado, se abre un gran campo de nuevas aplicaciones.

La tendencia en robótica colaborativa va encaminada a disponer de equipos con una mayor capacidad de carga y un mayor alcance, aunque el uso de una mayor potencia limita la velocidad para operar de forma segura. Una mayor velocidad implica que disminuye la capacidad de reacción cuando los sensores detectan una posibilidad de colisión, por lo que están desarrollando nuevos medios de sensorización en esta línea.

### **3.7 Aplicaciones Actuales**

Las aplicaciones actuales de la automatización avanzada van enfocadas a la fabricación flexible, a la utilización de sistemas ciberfísicos y a la sensorización avanzada.

La automatización avanzada se encamina a dar una mayor flexibilidad a las plantas de producción, disminuyendo el tamaño de los lotes de fabricación para adaptarse a las necesidades personalizadas de los clientes, pero al mismo tiempo, disminuyendo los costes de producción de forma que la fábrica sea más eficiente, y todo esto sin disminuir, e incluso aumentando, la calidad y trazabilidad de los productos.

Las aplicaciones son múltiples, y cada día irán apareciendo nuevas conforme avance la tecnología, tal y como se expondrá posteriormente en las aplicaciones en los sectores industriales con ejemplos de aplicación.

En cuanto a la robótica avanzada y colaborativa, a día de hoy, su principal aplicación es en la ayuda al operario en el ensamblaje de piezas, siendo todavía una tecnología que no tiene una gran cadencia ni posibilidades de desplazar un peso elevado.

Los principales parámetros que caracterizan a los robots industriales son:



- Número de grados de libertad: Es el número total de grados de libertad de un robot, dado por la suma de g.d.l. de las articulaciones que lo componen. Aunque la mayoría de las aplicaciones industriales requieren 6 g.d.l., como las de soldadura, mecanizado y almacenamiento, otras más complejas requieren un número mayor, tal es el caso de las labores de montaje.
- Espacio de accesibilidad o espacio (volumen) de trabajo: Es el conjunto de puntos del espacio accesibles al punto terminal, que depende de la configuración geométrica del manipulador.



Figura 3. 5 Brazos manipuladores

Festo: (Tekniker, 2019)

La capacidad de posicionamiento del punto terminal: Se concreta en tres magnitudes fundamentales: resolución espacial, precisión y repetibilidad, que miden el grado de exactitud en la realización de los movimientos de un manipulador al realizar una tarea programada.

- Capacidad de carga: Es el peso que puede transportar el elemento terminal del manipulador. Es una de las características que más se tienen en cuenta en la selección de un robot dependiendo de la tarea a la que se destine.
- Velocidad: Es la máxima velocidad que alcanzan el punto terminal y las articulaciones. La velocidad está limitada tanto por la carga como por la trayectoria y el número de giros.
- Programabilidad: Este concepto se refiere a la flexibilidad en cuanto a lenguajes de programación del robot. Es importante que los nuevos equipos se puedan comunicar de forma sencilla y sean compatibles con los lenguajes de programación utilizados en la empresa.

En resumen, el entorno 4.0 para la Industria 4.0 consta de una serie de tecnologías nuevas e innovadoras:

Tecnología de la información y la comunicación (TIC) para digitalizar la información e integrar sistemas en todas las etapas de la creación y el uso del producto (incluida la logística y el suministro), tanto dentro de las empresas como fuera de las fronteras de la empresa

- Sistemas ciberfísicos pueden involucrar sensores integrados, robots inteligentes que pueden configurarse para adaptarse al producto inmediato a crear, o dispositivos de fabricación aditiva (impresión 3D).
- Comunicaciones de red que incluyen tecnologías inalámbricas y de Internet que sirven para vincular máquinas, productos de trabajo, sistemas y personas, tanto dentro de la planta de fabricación como con proveedores y distribuidores.
- Simulación, modelado y virtualización en el diseño de productos y el establecimiento de procesos de fabricación.
- Análisis y explotación de big data, ya sea inmediatamente en la fábrica o mediante de la computación en nube.
- Sistemas de asistencia digital para trabajadores humanos, incluidos robots, realidad aumentada y sistemas de ayuda inteligentes.

### **3.8 Digitalización en datos de procesos industriales**

La irrupción de la digitalización en la industria está cambiando los procesos productivos y por tanto las máquinas y sus sistemas de automatización. Se tratará la automatización avanzada como una suma de fabricación flexible, sensorización avanzada, y dispositivos ciberfísicos, la robótica colaborativa.

#### **3.8.1. Automatización en la nube**

La automatización se digitaliza y se conecta, cada vez habrá mayor conexión de máquinas y procesos a soluciones Cloud que permitan el análisis de todos los datos permitiendo una industria cada vez más flexible, inteligente y eficiente.

Los desarrolladores de automatización colaboran con empresas que están poco relacionadas con la automatización industrial hasta el momento como Google o Microsoft para implementar soluciones Cloud.

La Nube permite reducciones significativas en la infraestructura de TI y los costes de soporte, pero también aumenta el riesgo percibido de seguridad de los datos, que debe ser examinado detenidamente, más aún dado el gran volumen de datos que alimenta soluciones de Big data (Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia, 2017).

## Tecnologías de sensorización avanzada

- La visión artificial permite la caracterización automática en 2 o 3 dimensiones a partir de una o varias imágenes bidimensionales. Las imágenes pueden ser monocromáticas o a color; pueden ser capturadas por una o varias cámaras, y cada cámara puede ser estacionaria o móvil. Es aplicable para hacer controles dimensionales 2D, análisis de color, reconocimiento de patrones, etc. (Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia, 2017).

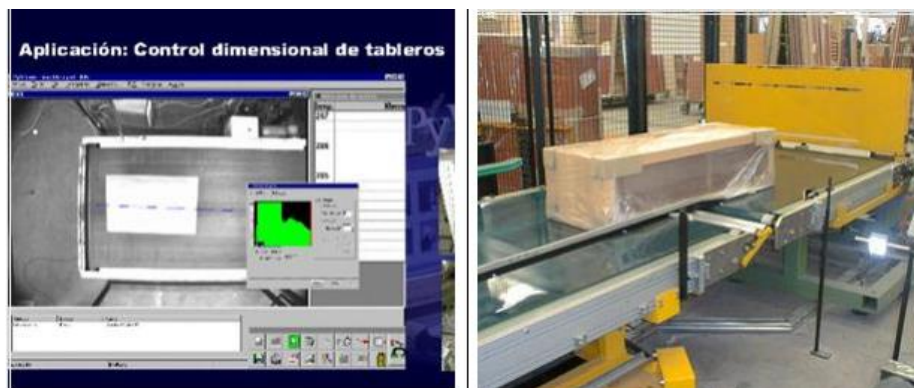


Figura 3. 6 Aplicación de la visión artificial

Fuente: (Omron, 2017)

- Los escaneos 3D, bien de luz estructurada o laser lineal, nos permiten analizar un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su color. La información obtenida se puede emplear para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones.



Figura 3. 7 Escaneo 3D con tornamesa

Fuente: (Tresde, 2020)

- Las tecnologías de visión espectral combinan las ventajas de la visión artificial (obtención de imágenes mediante máquinas) con la potencia de la espectroscopia del infrarrojo. Obtienen la huella espectral de la materia

de todos los puntos de una muestra. Para ello se ilumina el producto con luz infrarroja, que es absorbida de diferente modo según la estructura molecular de cada punto (Tekniker, 2019). Analizando la respuesta espectral es posible medir la cantidad de un determinado compuesto o identificar de qué materia se trata.



Figura 3. 8 Visión espectral en industria alimentaria

Fuente: (INFAIMON, 2019)

La presencia de cuerpos extraños en los alimentos puede entrañar un riesgo de seguridad alimentaria para el consumidor y también una pérdida económica y de prestigio para el productor. Para minimizar el riesgo de que los alimentos abandonen la planta de producción con restos de plásticos, huesos, insectos u otras partículas ajenas al producto, es posible utilizar tecnologías de visión espectral para detectarlos a tiempo (Emerson , 2020).

- La termografía es una técnica que permite calcular y determinar temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. La termografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión (Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia, 2017). Aplicando esta tecnología, se puede hacer el control, mantenimiento de los fluidos en conductos, búsqueda de gases, mantenimiento preventivo en cuadros eléctricos, mantenimiento de líneas eléctricas, etc. (Ingeniería Mecafenix, 2017).

Véase en la figura 3.9 aplicaciones de la termografía

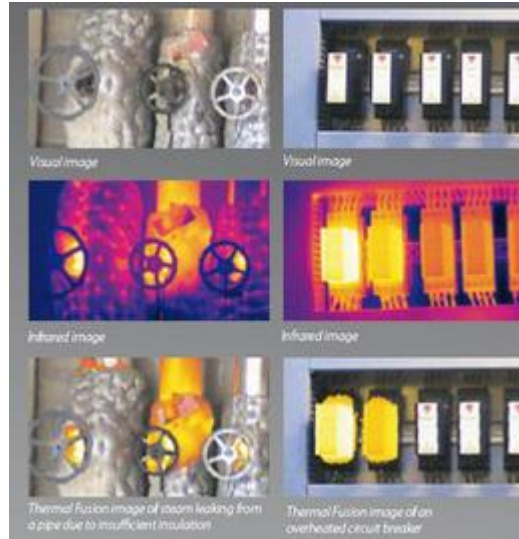


Figura 3. 9 Aplicaciones de termografía

Fuente: (Preditec, 2016)

Dentro de la Sensórica Avanzada, también se destacan los ultrasonidos: las ondas mecánicas, no ionizantes, cuya frecuencia está por encima del umbral de audición del oído humano y la acústica; que estudia la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido.

- Los sensores avanzados acústicos se utilizan para monitorizar el flujo de material. El sensor captura las ondas acústicas de alta frecuencia que generan las mismas instalaciones y el material en movimiento. Reacciona de inmediato a los cambios que experimenta el flujo del material y con ello avisa de costosas obstrucciones, la ausencia de material o un fallo en la instalación. Con aquello se puede tomar las medidas de prevención pertinentes y evitar daños mayores. Un ejemplo de sensores acústicos sería los utilizados para la vigilancia de bombeo, con el que es posible detectar fugas en las válvulas de alimentación de bombas de desplazamiento positivo (por ejemplo, bombas de pistón) mediante la medición del ruido estructural.
- Por último, la fotónica, ciencia de la generación, control y detección de fotones, en particular en el espectro visible e infrarrojo cercano, pero que también se extiende a otras porciones del espectro que incluyen al ultravioleta, infrarrojo de onda larga, e infrarrojo lejano. Por ejemplo, mediante la fotónica, se pueden detectar los microporos en envases opacos.

### 3.9 Sistema de control con neumática proporcional

#### 3.9.1 Funciones del Easy Port

El Easy Port D8A tiene 8 entradas digitales y 4 entradas analógicas, así como 8 salidas digitales y 2 salidas analógicas. Encendiendo en modo de prueba, el módulo está listo para su funcionamiento y esperando para la instalación en el PC.

La dirección se asigna automáticamente de acuerdo con la situación del módulo en el anillo de conexión. La falla del módulo es detectada por medio de un estado de corto regular y puede ser manejado por el programa con tal de que la transmisión no se interrumpa. La Transferencia de datos hasta y desde un módulo de Easy Port es por medio de comandos direccionados (Metal Work Pneumatic, 2020).

#### 3.9.2 Funciones del Terminal SysLink Digital

El terminal de I/O proporciona 8 entradas y 8 salidas en los terminales de tornillo. 24 LEDs están disponibles para el despliegue de estado para indicar el estado de las I/O.

La tabla 3.1 muestra las funciones del terminal digital SysLink

Tabla 3. 1 Parámetros de SysLink

PARÁMETRO	VALOR
Número de entradas con Led	8
Número de salidas con Led	8
Número de terminales 0 VDC	22
Número de terminales 24 VDC	12
Conector	24 pines, GE series

- Funciones del cable I/O digital con conector SysLink

El cable de I/O conecta un terminal de I/O a un gabinete de mando. Pueden transmitirse 16 señales de I/O. Además, el cable puede llevar la alimentación para sensores y actuadores.

- Funciones del cable I/O digital con conector SysLink y terminales abiertos

El cable de I/O proporciona una conexión universal entre el módulo Easy Port y un PLC o el hardware de cualquier sensor o actuador. Puede transmitir hasta 16 señales de I/O. Además, el cable puede llevar alimentación para sensores y actuadores (no sobrepasar la carga máxima permisible) (Ecuatoriana Industrial, 2020).

- Funciones del cable I/O digital cruzado con conector SysLink

La función de este dispositivo consiste en proporcionar una conexión rápida entre el puerto 1 terminal digital del Easy Port y el terminal digital en el cual se puede conectar cualquier elemento sensor o actuador que maneje una señal de 24 VDC.

- Funciones del cable I/O análogo con conector D-Submin

Proporciona una rápida conexión entre el puerto 2 terminal análogo del Easy Port y el terminal análogo en el cual se puede conectar cualquier elemento actuador o sensor que se dirige al proceso que maneje una señal de 0 a 10 VDC.

- Funciones del cable I/O análogo cruzado con conector D-Submin

De igual manera que el cable I/O análogo paralelo éste cable proporciona una conexión rápida entre el terminal análogo del proceso y el puerto 2 del Easy Port, las señales de este cable se reciben en forma cruzada.

- Funciones del cable hilo de conexión

Proporciona la alimentación de 24 VDC para el Easy Port para una conexión segura.

- Funciones del Terminal Análogo.

La función de este terminal consiste en proporcionar una conexión rápida entre el puerto 2 del Easy Port y los cables I/O analógicos. Posee 15 terminales en donde se puede conectar cualquier elemento sensor o actuador que maneje señales de 0 a 10 VDC.

### **3.9.3 Selección de dispositivos**

Para la implementación de la interfaz de comunicación entre PC- Módulos electroneumáticos.

- Easy port
- D8A Terminal
- SysLink Digital
- Terminal D-Submin Análogo
- Cable I/O digital
- Cable I/O digital cruzado
- Cable I/O digital con terminales abiertos
- Cable I/O análogo
- Cable I/O análogo cruzado
- Cable hilo de conexión

### **3.9.4 Selección de dispositivos adicionales.**

Para el desarrollo de aplicaciones como: electroneumática, regulación en bucle cerrado, regulación en bucle abierto, control PID se ha seleccionado elementos adicionales que se acogen a las características técnicas de la interfaz y demás componentes neumáticos, eléctricos y electroneumáticos indispensables en el desarrollo de las mismas. A continuación, se describe la electroválvula que se emplean en neumática proporcional

Dispositivo cuya principal característica es la regulación electrónica integrada del recorrido de la corredera que permite excelentes características estáticas y dinámicas, como refleja su baja histéresis, corto tiempo de conmutación y elevada frecuencia crítica.

La válvula proporcional de 5/3 vías es particularmente adecuada para regular la posición de un cilindro neumático, en caso particular con un regulador de posición nivel superior.

La tabla 3.2 muestra los datos técnicos de la electroválvula proporcional de 5/3 vías.



Tabla 3. 2 Datos técnicos electroválvula proporcional de 5/3 vías.

PARAMETRO	VALOR
Medio	Aire comprimido filtrado, (con o sin lubricación)
Rango de temperatura del medio	+ 5 a 40º C
Conexiones neumáticas	G 1/8
Conexiones eléctricas	Zócalo
Presión de funcionamiento, valor nominal	6 bar
Caudal a la presión nominal, máximo	10 bar
Consumo, corredera en posición media	24 VDC
Consumo, valor máximo	2 W
Valor nominal en posición media neumática	5 VDC
Resistencia de entrada	70 kOhms
Tiempo de accionamiento	5 ms
Histéresis	0.3 %
Linealidad	1.0 %
Frecuencia limite	100 Hz
Tiempo de accionamiento	5 ms
Grado de protección	IP 65
Cable	Cable de 4 hilos, 2 m

La tabla 3.3 y figura 3.10 se muestra la distribución de pines de la válvula proporcional.

Tabla 3. 3 Distribución de pines válvula proporcional

DISTRIBUCIÓN DE PINES		
Pin	Conexiones	Clavija
1	Alimentación + 24 V	Rojo
2	Alimentación 0 V	Azul
3	Señal de tensión	Negro
4	Tierra de señal	Blanco

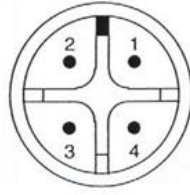


Figura 3. 10 Pines de válvula proporcional

Fuente: (FESTO, 2020)

### 3.9.5 Unidad de entrada y salidas eléctricas

La unidad tiene un botón luminoso (pulsador) de contacto con retención del estado de conmutación y dos botones luminosos de contactos sin retención del estado de conmutación y dos barras colectoras para alimentación de tensión. Todos los conectores son de seguridad, de 4 mm. (FESTO, 2020).

La unidad se monta sobre un bastidor o en el panel de prácticas perfilado mediante cuatro adaptadores enchufables.

La figura 3.11 muestra la unidad de entrada y salidas eléctricas.



Figura 3. 11 Borneras de entrada y salidas eléctricas

Fuente: (FESTO, 2020)

### 3.9.6 Regulador PID

El regulador PID puede usarse, entre otras cosas, como controlador en bucle cerrado de circuitos de mando neumáticos e hidráulicos (Controllo e Misura, 2020).

La figura 3.12 muestra el regulador PID y su símbolo.



Figura 3. 12 Regulador PID y símbolo

Fuente: (FESTO, 2020)

El regulador PID tiene las siguientes funciones, los cuales se detallan a continuación:

- Suministro de poder
- Entradas diferenciales
- Comparador

La figura 3.13 muestra la representación en diagrama de circuito de las entradas y salidas del regulador PID.

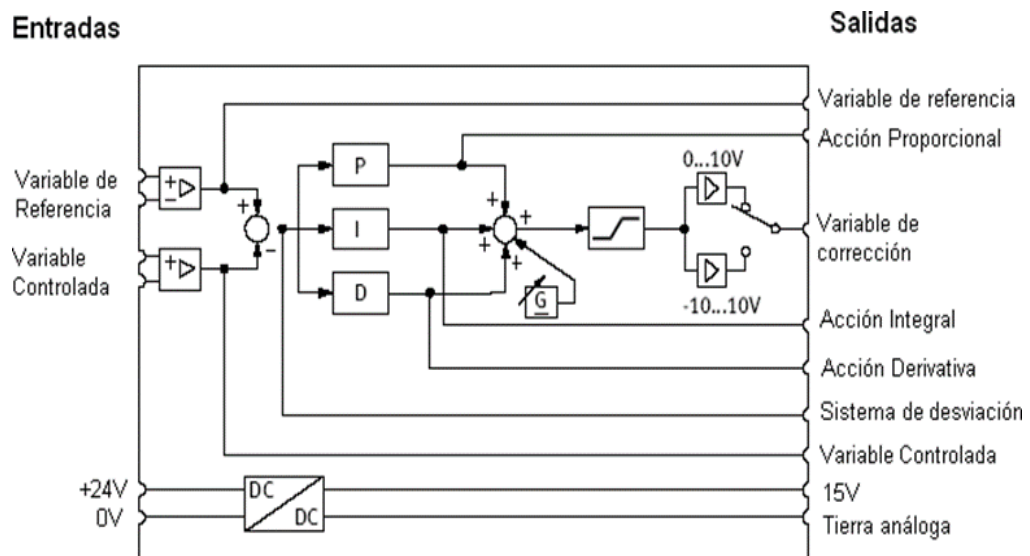


Figura 3. 13 Representación en diagrama de circuito

Fuente. (FESTO, 2020)

**Nota:** La tierra análoga y la tierra de la alimentación nunca deben unirse, esto produce interferencias en las señales. Los 15 VDC deben utilizarse junto con la tierra análoga como alimentación de los sensores para asegurar que las señales de ruido se mantengan a valores mínimos.

### **3.9.7 Características técnicas suministro eléctrico**

El controlador PID requiere una alimentación de 24 VDC. Dicho voltaje es convertido internamente a +/- 15 VDC y alimentado a un controlador electrónico. Los voltajes son eléctricamente aislados con respecto a otros, la tarjeta del controlador tiene dos referencias a cero, (tierra análoga y la tierra de alimentación).

### **3.9.8 Entradas Diferenciales**

En cada caso, el regulador PID está provisto de una entrada diferencial para las señales del punto de consigna y del valor real. La señal diferencial puede medirse con referencia a la tierra analógica. Las entradas diferenciales están montadas con filtros pasa-bajos para referencias. La sobremodulación por debajo de -10 VDC y/o por encima de + 10 VDC se indica por LEDs.

### **3.9.9 Comparador**

El comparador se conecta en serie con las señales de entrada y calcula la desviación del sistema entre el punto de consigna y el valor real.

### **3.9.10 Componentes del regulador**

Los tres componentes del regulador (P, I y D) pueden conectarse y desconectarse separadamente, permitiendo así utilizar diferentes combinaciones. Los parámetros individuales del regulador se ajustan con la ayuda de potenciómetros.

## **3.10 Offset de la variable de corrección**

El offset de la variable de corrección puede utilizarse para sobreponer tensiones constantes en la señal de salida, por ejemplo, para compensar el desplazamiento del punto cero de los actuadores.

### **3.10.1 Limitador de la variable de corrección**

El limitador de la variable de corrección convierte las señales del regulador al rango de trabajo requerido por los actuadores. Cualquier sobremodulación de la señal de salida se indica por un LED.

### **Salida y terminal de prueba**

La variable de corrección puede evaluarse con referencia a la tierra analógica

de la salida.

Varios terminales de prueba permiten medir los voltajes señalados con la tierra análoga.

### 3.10.2 Claves de conexiones

La figura 3.14 muestra las claves de conexiones.

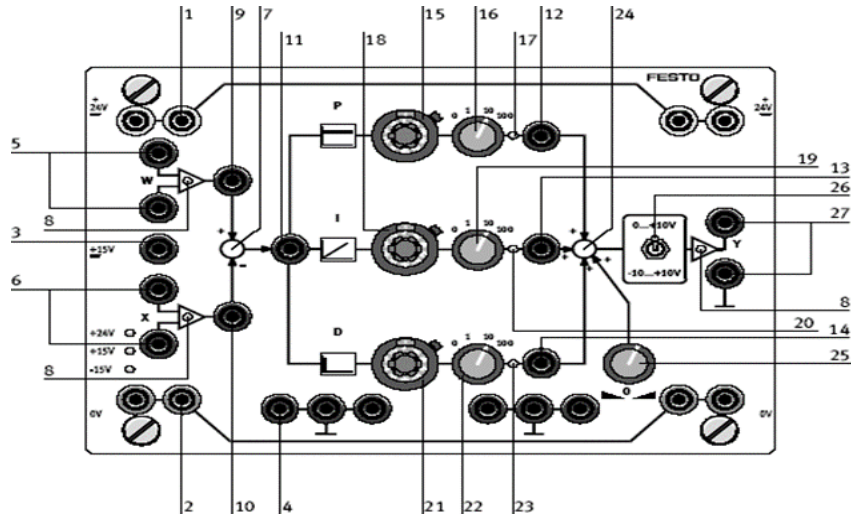


Figura 3. 14 Asignación de pines del regulador PID.

Fuente. (FESTO, 2020)

Luego, la tabla 3.4 muestra la asignación de pines del regulador PID.

Tabla 3. 4 Asignación de pines del regulador PID.

PIN	VALOR
1	Alimentación: + 24 VDC
2	Tierra de la alimentación: 0 VDC
3	Alimentación del sensor: + 15 VDC
4	Tierra del sensor o tierra analógica
5	Entrada de punto de consigna diferencial
6	Entrada del valor real diferencial
7	Comparador
8	Indicador de sobremodulación
9	Zócalo de test: Punto de consigna
10	Zócalo de test: Valor real
11	Zócalo de test: Desviación del sistema
12	Zócalo de test: Ganancia proporcional
13	Zócalo de test: Ganancia integral
14	Zócalo de test: Ganancia diferencial
15	Potenciómetro rotativo: Componente P
16	Interruptor rotativo: Componente P
17	Indicador de conectado: Componente P

18	Potenciómetro rotativo: Componente I
19	Interruptor rotativo: Componente I
20	Indicador de conectado: Componente I
21	Potenciómetro rotativo: Componente D
22	Interruptor rotativo: Componente D
23	Indicador de conectado: Componente D
24	Punto sumador
25	Potenciómetro rotativo para el offset de la variable de corrección.
26	Interruptor selector de rango
27	Salida de la variable de corrección

Fuente. El autor

### 3.10.3 Configurando los coeficientes

Los coeficientes  $K_P$ ,  $K_I$  y  $K_D$  del controlador son los productos de los valores colocados en el potenciómetro rotatorio y el switch rotatorio (Controllo e Misura, 2020).

La figura 3.15 muestra el Switch rotatorio para la configuración de los valores de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ .

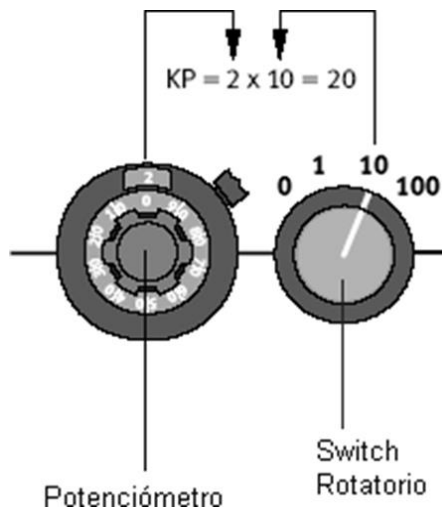


Figura 3. 15 Configuración de los coeficientes  $K_D$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ .

Fuente. (FESTO, 2020)

### 3.10.4 Datos Técnicos

La tabla 3.5 muestra los datos técnicos del regulador PID.

Tabla 3. 5 datos técnicos del regulador PID.

PARÁMETRO	VALOR
Alimentación	+ 24 V +/- 10 %
Indicador de sobremodulación	-10 VDC > Ue > + 10 VDC
Margen de tensión de entrada	- 13 VDC + 13 VDC
Coeficiente Proporcional KP	0...1000
Coeficiente Integral KI	0...1000 1/s
Coeficiente Diferencial KD	0...1000 ms
Limitación de tensión de salida	[0 +10 VDC] [- 10 +10 VDC]
Offset de la variable de corrección	5 VDC +/- 3.5 VDC con [0 +10 VDC] 0 VDC +/- 7 VDC con [- 10 +10 VDC]

Fuente. (FESTO, 2020)

### 3.11 Calibración del Easy Port

Para calibrar la interface de comunicación del módulo Easy Port D8A con el PC, se selecciona por medio de un interruptor ubicado en la parte posterior del módulo de 3 pines, el pin 1 sirve solamente para la interface RS232 cuando está un solo módulo conectado al PC, el pin 2 se utiliza cuando se va a utilizar la interface RS232 y fibra óptica y el pin 3 se utiliza cuando solamente se utiliza fibra óptica para la interface.

Únicamente un interruptor debe ser colocado para realizar la interface de comunicación. Se debe tomar en cuenta que la fuente de alimentación de 24 voltios debe tener una tolerancia del 10% tanto en sobre voltaje como en bajo voltaje, las cargas máximas tolerables para las salidas digitales son de 0.3A y para las salidas análogas 10 mA, así como su rango de funcionamiento para las salidas y entradas digitales que deben ser de 24 VDC voltios y de 0 a 10 VDC para las salidas y entradas análogas.

La temperatura ambiente de operación es de 0 a 55°C y la temperatura de almacenamiento es de 0 a 70°C, con un grado de protección IP 20.

#### 3.11.1 Calibración del Terminal Digital SysLink

Las entradas del terminal digital I/O pueden calibrarse según su aplicación, para la conexión de sensores cuya configuración es positiva ó PNP; ambos interruptores deben ir en la posición PNP.

La conexión de sensores de conexión negativa ó NPN, ambos interruptores en la posición de NPN.

La figura 3.16 muestra la configuración de la posición del interruptor del terminal digital en conexión PNP.

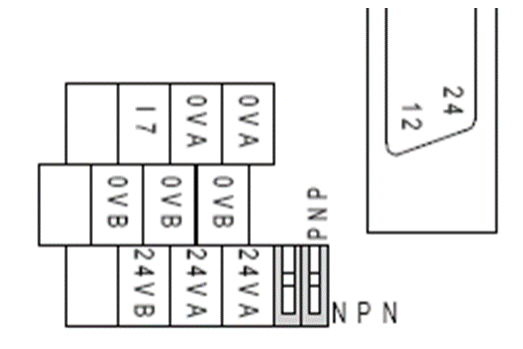


Figura 3. 16 Posiciones del interruptor del dispositivo PNP

Fuente. (FESTO, 2020)

### 3.11.2 Calibración del regulador PID

La calibración del regulador PID se realiza de acuerdo al funcionamiento del sistema de posición, el cual se debe sintonizar las tres constantes necesarias para el funcionamiento del mismo: constantes proporcional, integral y derivativa mediante los potenciómetros e interruptores rotativos provistos en el regulador PID, hasta lograr disminuir el error en estado estable del sistema para obtener la señal de salida correcta.

En el regulador PID el coeficiente proporcional KP tiene un rango de ganancia en el orden de 0 a 1000; el coeficiente integral en el rango de 0 a 1000 1/s y el coeficiente diferencial Kd, en el rango de 0 a 1000 ms.

### 3.11.3 Calibración del potenciómetro lineal

El rango de operación del potenciómetro lineal puede ir desde los + 13 VDC hasta los + 30 VDC la cual es convertida a 10 VDC por medio de un regulador, La señal de salida del potenciómetro va de 0 a 10 VDC, la cual es proporcional a la posición del patín. La resistencia total en el potenciómetro es de 5 Kohms. La calibración manual no interviene en este dispositivo.

### 3.12 Introducción al control del sistema mediante Fluid Sim

El control del sistema mediante Fluid Sim se realiza directamente interactuando con los elementos de la biblioteca de componentes utilizados en el circuito de la aplicación electroneumática; el software tiene la posibilidad de comunicarse con cualquier proceso, a través de un puerto virtual de entrada y un puerto



virtual de salida, los cuales sirven para comunicarse con sensores y actuadores. La figura 3.17 muestra la pantalla principal de *Fluid Sim* con los puertos virtuales de entrada y de salida.

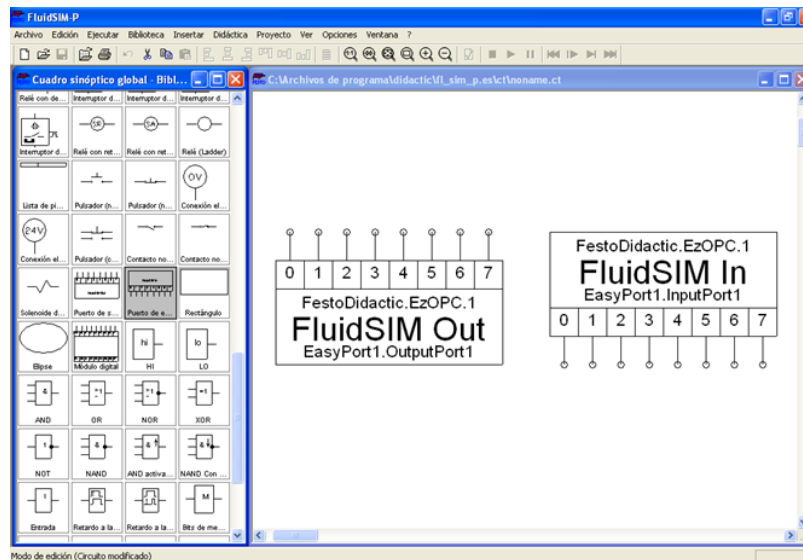


Figura 3. 17: Pantalla principal de FluidSim con los puertos de entrada y salida  
Fuente. (FESTO, 2020)

### 3.13 Programación en Fluid Sim

Una vez identificada la aplicación se procede a realizar un nuevo proyecto en *Fluid Sim*, ubicando los componentes en una nueva pantalla de trabajo. La figura 3.18 muestra la pantalla principal de *Fluid Sim*, en donde se puede colocar los elementos de la biblioteca de componentes.

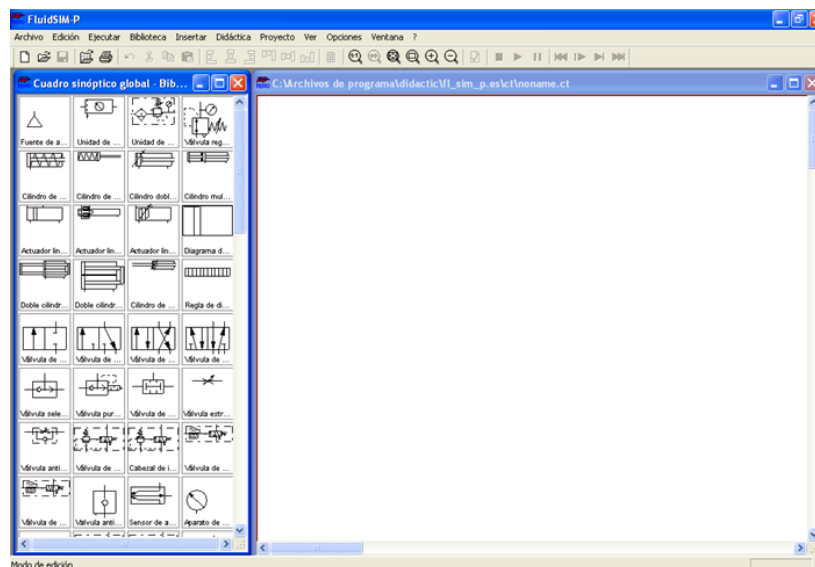


Figura 3. 18 Pantalla principal FluidSim  
Fuente. (FESTO, 2020)

Se coloca los componentes que sean necesarios para realizar una determinada aplicación, como válvulas distribuidoras, fuente de alimentación, relés, etc. Los puertos de entrada y de salida deben configurarse de acuerdo a la interface de comunicación que se va a utilizar, FluidSIM y el servidor OPC Server ó FluidSIM y DDE Server.

### 3.13.1 FluidSIM y OPC Server

Dirigir el puntero hacia *Opciones\_Conexión de OPC/DDE*, se abrirá una ventana de *Opciones de OPC/DDE* para las configuraciones de comunicación y seleccionar el *Modo OPC*, almacenar los resultados para que FluidSIM guarde en segundo plano todos los cambios de estado y que elabore según el orden de llegada.

Si esta opción está desactivada, podrían perderse los resultados que van llegando en el momento en que FluidSIM está ocupado. La figura 3.19 muestra el cuadro de diálogo de las opciones de conexión OPC/DDE.

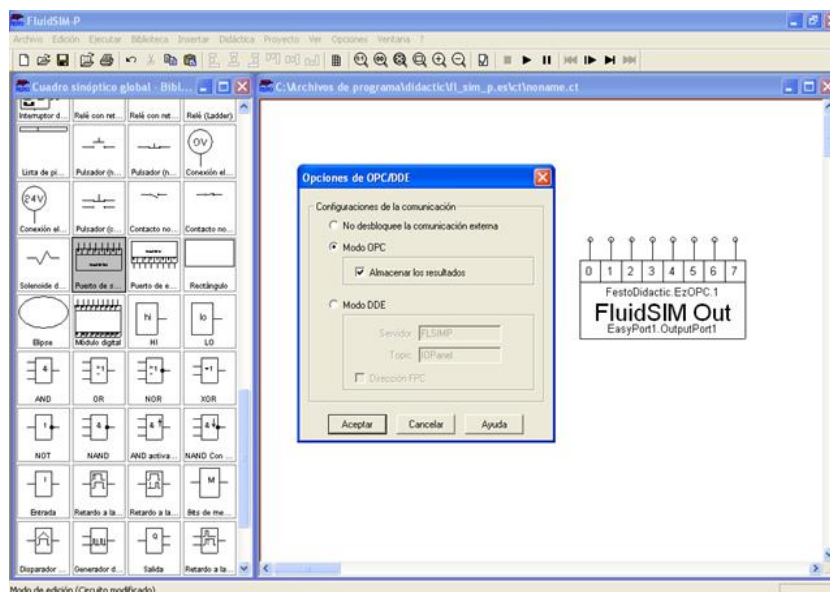


Figura 3. 19 Cuadro de diálogo de Opciones de Conexión OPC/DDE

Fuente. (FESTO, 2020)

Hacer doble click en el puerto de entrada FluidSim In, y seleccionar el ítem y el OPC Server que se va a utilizar. La figura 3.20 muestra la ventana de configuración puerto de entrada Fluid Sim, con OPC.

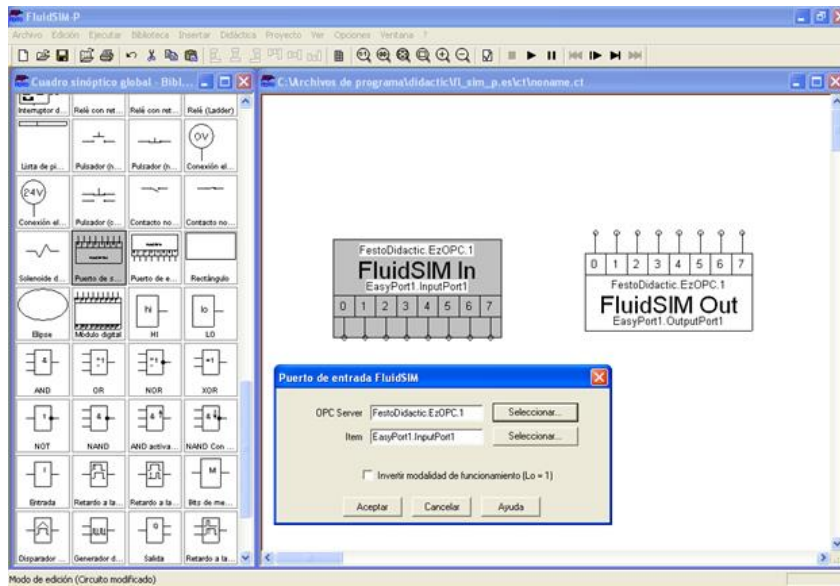


Figura 3. 20 Configuración del puerto de entrada Fluid Sim con OPC.

Fuente. (FESTO, 2020)

De la misma forma para el puerto de salida *Fluid Sim Out* seleccionar el ítem y el OPC Server que se va a utilizar, como se muestra en la figura 3.21.

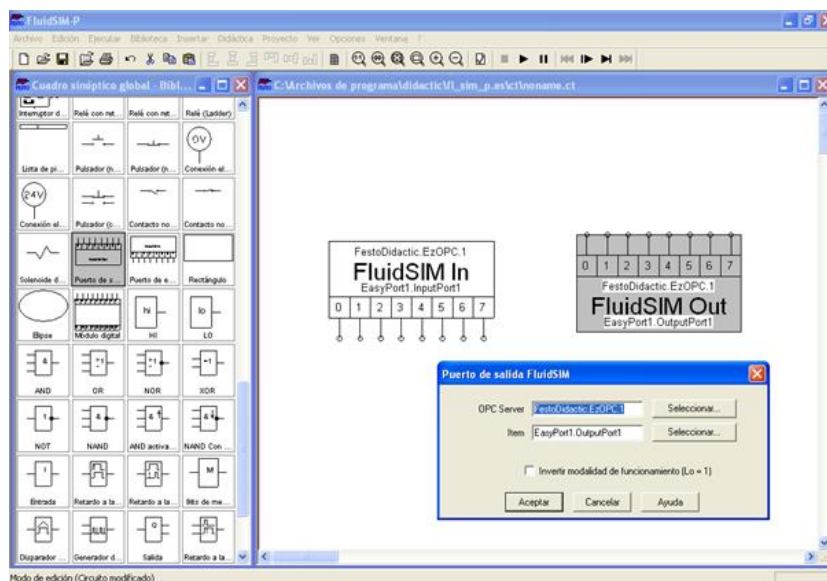


Figura 3. 21 Configuración del puerto de salida Fluid Sim con OPC.

Fuente. (FESTO, 2020)

## **CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL ENTORNO 4.0**

### **4.1 Escalas para análisis de tecnología 4.0**

Para conocer el nivel de tecnología se estableció cuatro escalas con las siguientes características.

Bajo. - Se aplica tecnología de dominio público, tradicional, convencional, tiene poco valor agregado, es prácticamente materia prima con un mínimo proceso, sin estándares de fabricación.

Escaso. - Presenta algunas modificaciones en cuanto a características de uso o diseño, pero estas son mínimas o poco significativas respecto a productos similares o tradicionales.

Medio. - Sus características de diseño y uso son el promedio en el mercado.

Medio Alto. - Muestra atributos de diseño y características de uso que presentan mejoras significativas sobre un promedio de productos similares en el mercado, puede ser sujeto a pagos de regalías por uso de patente o por marca y se puede competir en el mercado internacional.

Alto. - Productos líderes en el mercado nacional e internacid qqqa $\llcorner$

En el análisis de Foro Económico Mundial del 2019 en el Ecuador los productos, procesados están destinados al mercado local, el nivel de producto medio alto considera la distribución nacional o pueden ser exportados, el nivel de producto escaso y nivel bajo, estos son productos por lo general tradicionales o industrias que no se ha modernizado y tan solo el 2,5% de productos tiene un nivel alto, es decir puede ser exportado y competir en el mercado internacional.

Uno de los principales beneficios de la revolución lloT es un estado de fabricación más óptimo y predecible, pero también se puede utilizar para impulsar mejores resultados de seguridad y sistemas de fabricación más seguras.

### **4.1.1 Análisis en base a encuesta del Foro Económico Mundial del 2019**

Como tecnología de automatización probada, la neumática ya ofrece muchas ventajas de seguridad. Con la adición de sensores apropiados, análisis y opciones de conectividad anticipadas en las aplicaciones IIoT, la tecnología neumática agrega aún más mejoras de seguridad que protegen a las personas y las máquinas de daños

El papel de los fabricantes de componentes es trabajar con los usuarios finales para proporcionar dispositivos inteligentes que brinden información procesable y pertinente a la aplicación que permita una mayor seguridad a través de resultados basados en la información.

La innovación tecnológica es una condición indispensable para incrementar la productividad, pero demanda de ciertos prerrequisitos de origen interno y del entorno como:

- Convencimiento y decisión empresarial
- Capacidad para dirigir, desarrollar y asimilar los procesos de innovación
- Clima económico y expectativas favorables
- Oferta de servicios de innovación al alcance y medida de las pymes.
- Políticas y mecanismos de promoción e impulso al desarrollo tecnológico.

### **4.2 Limitaciones y barreras de la automatización 4.0**

- Alto coste inicial en equipos, sistemas de transporte, software, etc.
- La formación ofertada en tecnologías 4.0 es baja todavía en el mercado.
- Desconocimiento sobre las iniciativas Industria 4.0 y los casos de éxito.
- La estructura tradicional de recursos en las empresas industriales donde predomina un gran número de operarios de producción, frente a un bajo número de ingenieros y directivos, lo que dificulta los cambios tecnológicos.

- La transformación del negocio. Una vez implantadas las nuevas tecnologías que permiten tomar nuevas decisiones, hay que dar el salto para tomarlas, lo cual aporta elementos de incertidumbre que hay que superar.
- Restructuración completa de la producción por familias de piezas. Es necesario realizar una serie de tareas de preparación previas de clasificación y codificación a la implantación del MES.

### **4.3 Limitaciones y barreras de la robótica avanzada y colaborativa**

- Relativamente alto coste inicial.
- Baja carga útil por el momento debido a condiciones físicas y cinemáticas.
- Necesidad de una nueva filosofía industrial.
- Rechazo inicial por eliminación de puestos de trabajo poco cualificados y “dirty Jobs”.
- Definición de las tecnologías a usar y cómo usarlas.
- Disponibilidad de los habilitadores digitales.
- Falta de recursos cualificados y con experiencia para acometer la transformación, especialmente en las empresas de menor tamaño.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de neumática proporcional contemplan operaciones donde las válvulas proporcionales regulan el vacío, la presión y la fuerza del actuador neumático.

Las válvulas proporcionales, que cambian las salidas en proporción a su valor de entrada. Controlan el flujo, la posición del actuador, la velocidad, el toque y pueden sincronizar la acción de muchos cilindros diferentes.

La neumática proporcional tiene en la electroválvula la operación proporcional y básicamente funcionan como servoválvulas, agregando retroalimentación electrónica. En la literatura técnica se las denomina válvulas inteligentes.

Las válvulas neumáticas inteligentes son sistemas ciberfísicos reconfigurables.

El paradigma de la industria 4.0 implica promover e integrar la tecnología industrial moderna, donde muchos dispositivos se conectan a diferentes tipos de redes que son capaces de captar información y enviarla a otras máquinas y servidores, y en base a esa información pueden interactuar con otras máquinas o aparatos.

Los sistemas neumáticos digitalizados pueden manejar no solo distintos tipos de electroválvulas, sino también cilindros, sensores, transductores, motores eléctricos y el satisfactorio funcionamiento de todo el sistema.

Un sistema ciberfísico puede estar formado por sensores con conectividad, por dispositivos vinculados a internet de las cosas (IoT) capaces de generar datos y enviarlos, a máquinas o a robots industriales para realizar diferentes tareas.

La evaluación del escenario de Industria 4.0 en el Ecuador en base a escalas de alto, medio y bajo grado de automatización de productos, se tiene que sólo 2,5% de productos tiene un nivel alto, es decir puede ser exportado y competir en el mercado internacional. Un porcentaje bajo de automatización en el país

Las limitaciones en el entorno 4.0 en el país, está marcado; por el rechazo a cambio de paradigma industrial, se desconoce las características de tecnologías innovadoras, conocimiento o capacitación bajo y costos elevados de equipamiento para automatización

Los circuitos electroneumáticos simulados en FluidSim de FESTO permitirá adquirir destrezas y conocimiento de diseño y operación de neumática proporciona básica e intermedia.



## RECOMENDACIONES

- Los voltajes máximos indicados para el suministro de poder y para las entradas y salidas del módulo Easy Port D8A, no deben excederse bajo ninguna circunstancia, los voltajes deben superar los 30 VDC. Sólo deben hacerse las conexiones eléctricas e interrumpidas con dispositivos apagados.
- El dispositivo Easy Port D8A sólo puede usarse en sistemas que devuelven automáticamente a un estado seguro cuando la fuente de voltaje se apaga.
- Verificar que la conexión de sensores de conexión positiva PNP y conexión negativa NPN, concuerde con la configuración de los interruptores del terminal digital Sys Link.
- Utilizar los cables de datos paralelos y cruzados tanto digitales como análogos de acuerdo a la aplicación que se desee, una mala elección podría causar cortocircuitos o mal funcionamiento de dispositivos conectados al proceso.
- En caso de que el led indicador de corto circuito (Short) del Easy Port D8 A no se apague después de cinco segundos, se debe desconectarlo de la fuente de alimentación de 24 VDC y verificar conexiones.
- En caso de utilizar el cable de datos digital Sys Link con los terminales abiertos se debe verificar la asignación de pines del cable, para evitar malas conexiones.
- En caso de que la comunicación Fluid Sim-Ez OPC no sea exitosa se recomienda cerrar los paquetes computacionales, reiniciar el equipo y las aplicaciones que se estuvieron realizando, así también si se diera el caso de la comunicación entre In Touch-OPC Link

## BIBLIOGRAFÍA

- Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia. (2017). *Oportunidad de la Industria 4.0*. Retrieved from Estado del arte de Automatización y Robótica:  
file:///C:/Users/USER/Downloads/EA\_Automatizacion\_y\_robotica\_rev.pdf
- Circuitor. (2015). *Soluciones*. Retrieved from <http://circuitor.es/es/formacion/energias-renovables-autoconsumo/autoconsumo-diferido-con-acumulacion-acoplamiento-dc>
- Controllo e Misura. (2020). *Sistema electroneumático en un contexto 4.0*. Retrieved from Escrito por Vittoria Ascari:  
<https://controlloemisura.com/en/2020/05/20/electro-pneumatic-system-in-a-4-0-context/>
- Ecuatoriana Industrial. (2020). *Automatización Neumática*. Retrieved from <http://www.ecuatorianaindustrial.com/index.php/productos/neumatica?start=108#.Xzsg4ej0nDc>
- Emerson . (2020). *Válvulas proporcionales para sistemas neumáticos*. Retrieved from <https://www.asco.com/en-gb/Pages/pneumatic-valves-proportional.aspx#>
- FESTO. (2020). *Neumática Digitalizada*. Retrieved from <https://www.festo.com/vtem/es/cms/10169.htm>
- Forish, M. (2020). *Valve Magazine*. Retrieved from Válvulas neumáticas: nueva tecnología para una transformación digital:  
<http://www.valvemagazine.com/magazine/sections/features/10727-pneumatic-valves-new-technology-for-a-digital-transformation.html>

- Industria 4.0. (2020). *Qué son los Sistemas Ciber-Físicos en la Industria 4.0*. Retrieved from <https://www.podcastindustria40.com/sistemas-ciber-fisicos/>
- INFAIMON. (2019). *5 ventajas de los sistemas de visión espectral en la industria alimentaria*. Retrieved from <https://blog.infaimon.com/vision-espectral-industria-alimentaria/>
- Ingeniería Mecafenix. (2017). *Electroneumática Básica*. Retrieved from <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/electroneumatica-basica/>
- Metal Work Pneumatic. (2020). *Pneumatic automation for Industry 4.0*. Retrieved from [https://www.metalwork.it/media/Doc/Pneumatics\\_i4\\_0.pdf](https://www.metalwork.it/media/Doc/Pneumatics_i4_0.pdf)
- MundoCompresor. (2016). *Diferentes tipos de compresores*. Retrieved from [https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores#compresor\\_de\\_lobulos](https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores#compresor_de_lobulos)
- Omron. (2017). *Aplicación práctica de la visión artificial*. Retrieved from <http://www.adimenlehiakorra.eus/documents/29934/43025/Aplicaci%C3%B3n+pr%C3%A1ctica+de+la+visi%C3%B3n+artificial+en+el+control+de+procesos+industriales.pdf/92a1a455-ffe2-4290-be95-f9ba33c02241>
- Philco, O. (2019). *Electroneumática*. Retrieved from *Válvulas Proporcionales*: <https://ing-orlandophilco.jimdofree.com/electro-neum%C3%A1tica/>
- Preditec. (2016). *Mantenimiento Predictivo*. Retrieved from <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/termografia/>
- Tekniker. (2019). *SISTEMAS CIBER-FÍSICOS*. Retrieved from <https://www.tekniker.es/es/sistemas-ciber-fisicos>

Tresde. (2020). *Aplicaciones del escaneo 3D*. Retrieved from <https://tresde.pe/aplicaciones-del-escaneo-3d/>

## Anexo 1: Caso monitoreo en circuito neumático

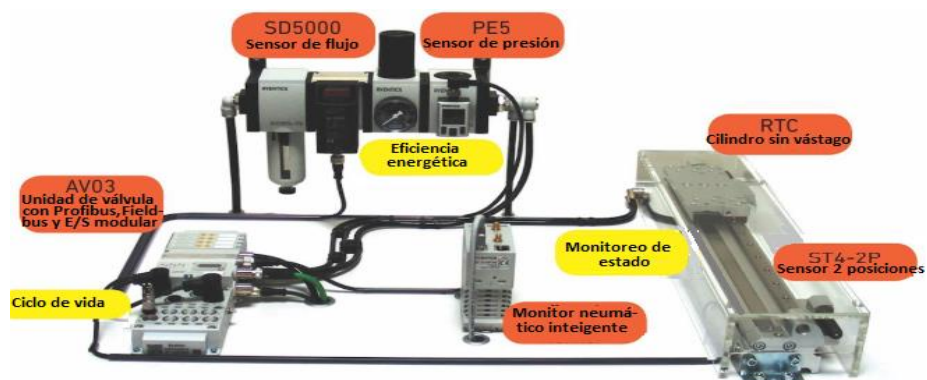
En un caso puntual de sistemas neumáticos, es posible supervisar el desempeño de los siguientes equipos:

Compresores: el monitoreo incluye factores como la temperatura del aire, la presión y la humedad (puntos de rocío potenciales) y los niveles de contaminación.

Filtros, reguladores y lubricadores (FRL): El monitoreo de una unidad de mantenimiento, los sensores permitirán verificar la contaminación, la temperatura del aire, la presión y la humedad.

Colectores de Válvula (s): En el monitoreo los elementos como las válvulas, sean en bloque incluyen la regulación, control, y diagnóstico del tiempo de respuesta y la velocidad del ciclo de los actuadores lineales o giratorios conectados a un bloque de válvulas en conjunto con accesorios como los colectores o manifolds.

Cilindro: La velocidad del cilindro, la degradación del sello (juntas) y los tiempos de extensión/retracción son otros factores importantes a monitorear. Ejemplo: un cilindro lineal se extiende y empuja una caja de un transportador a un palet. A medida que ese cilindro se degrada, existe la posibilidad de que sea necesario reemplazarlo. El tiempo de carrera desde la posición inicial hasta la posición extendida puede establecerse para una frecuencia específica. Si las lecturas se desvían fuera de esa ventana de tiempo en algún momento, el sistema podría emitir una alerta y proporcionar datos procesables para toma de decisiones en respuesta.



El sistema también podría monitorear y diagnosticar cada uno de los sensores existentes en el Sistema.

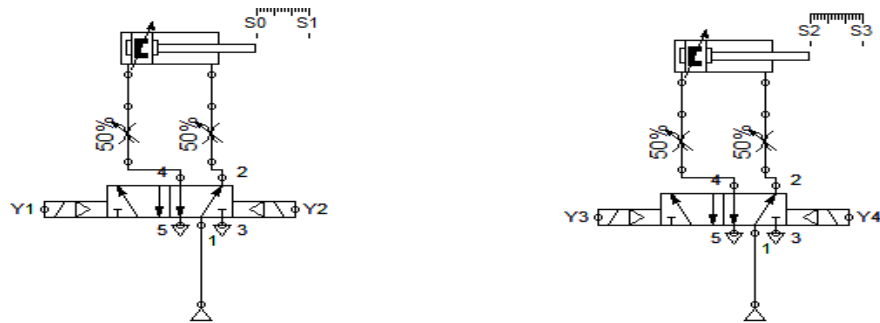
Una válvula neumática inteligente basada en un sistema ciberfísico tiene hardware fundamental que le permite cambiar la funcionalidad a través de una aplicación descargable. En otras palabras, si una aplicación de energía fluida requiere control proporcional, control direccional y parada suave, un ingeniero de diseño que utilice una válvula inteligente no necesitaría especificar varios componentes de hardware. En su lugar, simplemente especificaría un número de pieza único para el hardware de la válvula y luego descargaría una aplicación para cada requisito de rendimiento.

## Anexo 2 Guía de prácticas

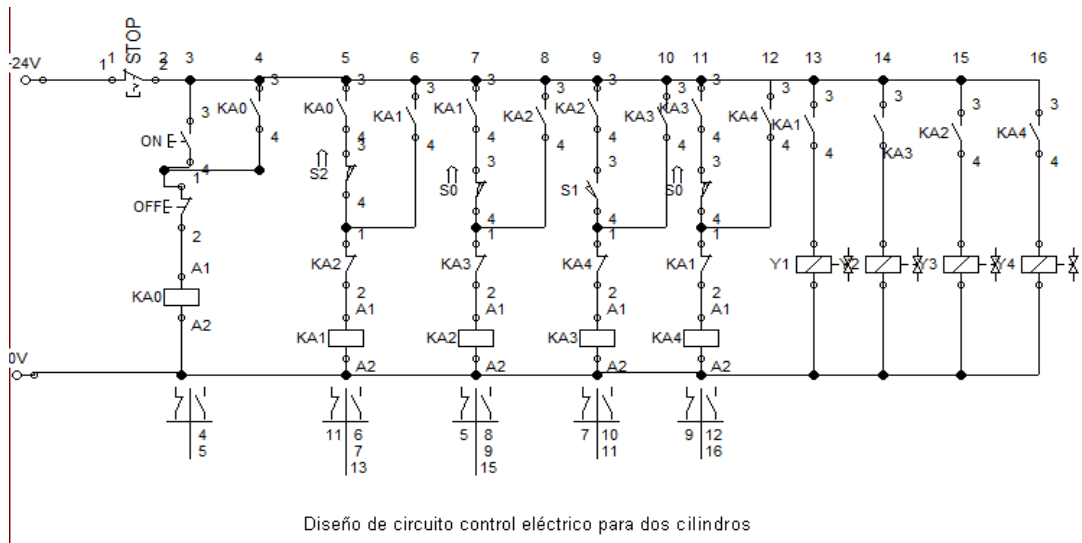
### Práctica 1: Mando Indirecto para dos cilindros doble efecto

#### Objetivos

- Identificar el funcionamiento de una conexión neumática utilizando finales de carrera eléctricos.
- Comprobar el funcionamiento de dos cilindros de doble efecto con confirmación de señales.



Diseño de circuito neumático para dos cilindros



Diseño de circuito control eléctrico para dos cilindros

Figura A. 1 Diseño de circuito electroneumático

El circuito de control eléctrico tiene cinco relés con sus respectivos contactos así dos relés activarán las bobinas de las válvulas neumáticas. Un rele está exclusivo para el arranque y posterior parada, existe en el primer ramal el pulsador On que una vez presionado activa el rele KA0. Con esto el ramal siguiente se energiza y el rele KA1 se activa y el vástago de ambos cilindros avanza y retornará de forma automática cuando conmute con los finales de carrera (S0, S1, S2, S3).

## Práctica 2: Levantamiento de objetos o paquetes

### Objetivos

- Identificar el funcionamiento de una conexión neumática utilizando sensores de proximidad.
- Comprobar el funcionamiento de dos cilindros de doble efecto con confirmación de señales.

Se transporta paquetes por deslizaderos. Cuando un paquete llega a la parte inferior del deslizadero, dos cilindros neumáticos lo trasladan al tope del próximo, como se muestra en la figura A2.

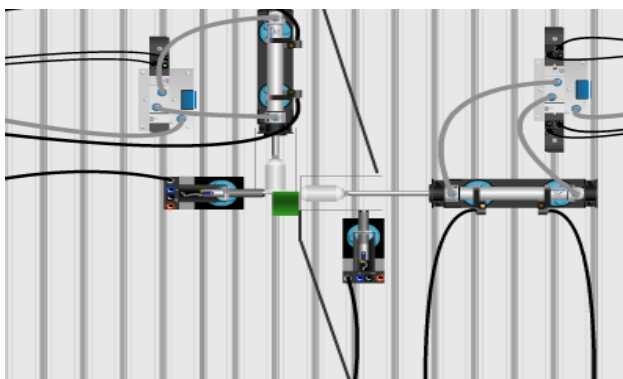


Figura A. 2

El cilindro para levantar, está controlado por una doble válvula solenoide 5-2 vías y el cilindro de empuje por una válvula solenoide de 5-2 vías.

Además, se utiliza dos sensores para indicar la posición superior o inferior del paquete, respectivamente.

- Un sensor para indicar las posiciones finales del cilindro elevador.
- Un sensor para indicar las posiciones finales del cilindro de empuje.
- Un pulsador para comandar al cilindro de empuje

El equipo utilizado en esta práctica se muestra en la tabla 1.



Cantidad	Denominación de componentes
1	Puerto de entrada FluidSIM
1	Puerto de salida FluidSIM
1	Interruptor (Franqueador)
2	Fuente de tensión (0V)
2	Fuente de tensión (24V)
5	Relé
6	Obturador
2	Cilindro doble efecto
2	Fuente de aire comprimido
2	Válvula de 4/n vías
1	Franqueador
1	Relé con deceleración de caída
4	Solenoides de válvula

### Procedimiento

- El diseño del circuito se lo desarrolla en FluidSim, se muestra en la figura A.3 el diagrama

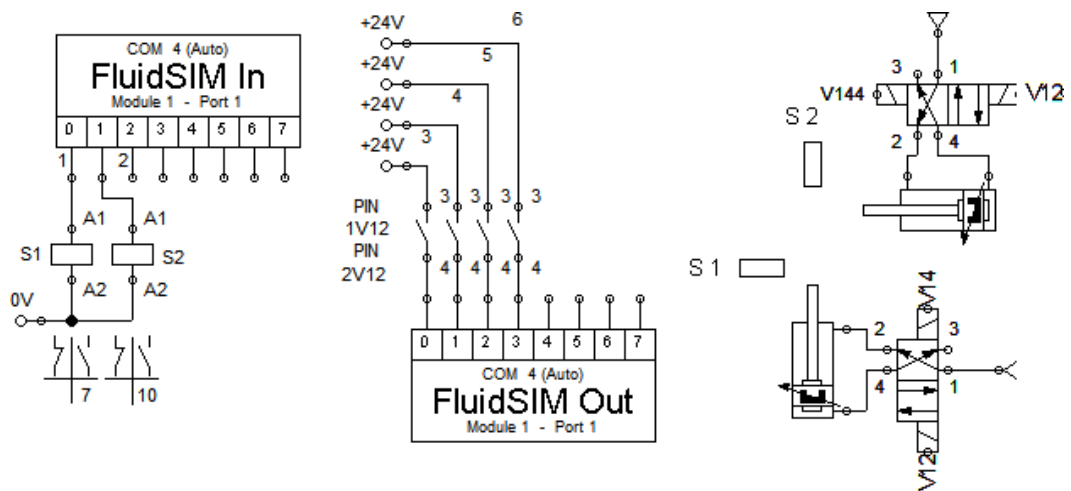


Figura A. 3 Circuito electro-neumático

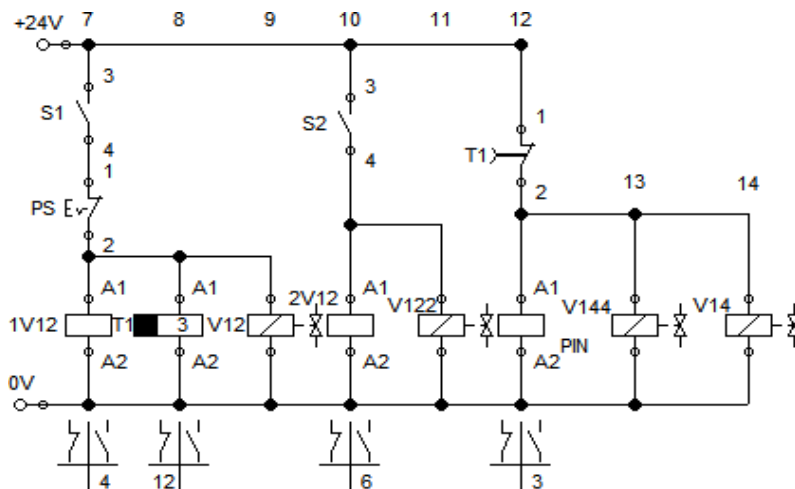


Figura A. 4 Circuito eléctrico

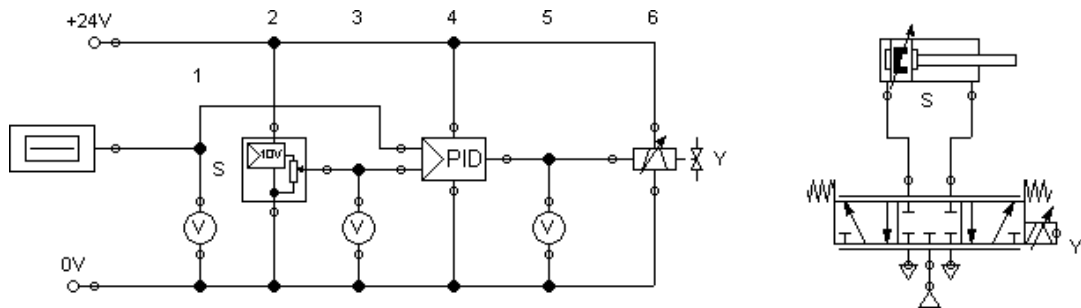
## Práctica 3: Simulación de un Control P.I.D posición

### 1. Objetivos

- Simular un control PID de posición en Fluid Sim.
- Identificar los dispositivos que intervienen en este tipo de control en lazo cerrado
- Explicar el tipo de señales que emiten los dispositivos actuadores. Determinar los valores de estabilización del sistema.

### Procedimiento

Se diseña el circuito de la figura A.5



Marca	Valor de la magnitud	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
S	Desplazamiento mm	5000	4000	3000	2000	1000					
Y	Tensión V	10	8	6	4	2					

Figura A. 5 Control PID con circuito neumático y su diagrama de estado

2. Arrastrar el cilindro configurable y la válvula proporcional al diagrama de estado para visualizar la señal de salida de la válvula proporcional y el cilindro.
3. Introduzca las marcas correspondientes en cada uno de los elementos actuadores y distribuidores.
4. Ejecutar la simulación y cambie gradualmente la desviación-y del generador de funciones entre 0 y 10 como se ve en la figura A 6



Figura A. 6 Ventana de configuración del generador de funciones en FluidSim

5. Cambiar la posición inicial y observe con qué precisión el cilindro alcanza su posición de destino cada vez.

6. Ajustar la carrera del cilindro a 5000 mm, ajuste la desviación-y del generador de funciones a 5 y la posición de partida del vástago a 0 y luego ejecute la simulación.

7. Seleccione el Regulador PID, para configurar las constantes de estabilización del sistema.

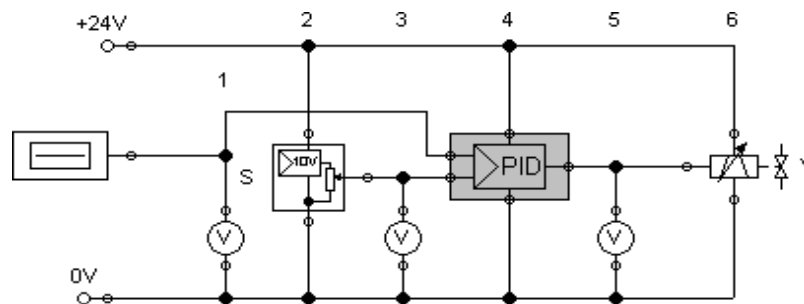


Figura A. 7 Selección del bloque de control PID

8. Introducir las constantes adecuadas para la sintonización del sistema en este caso las que se muestran en la figura A 8.

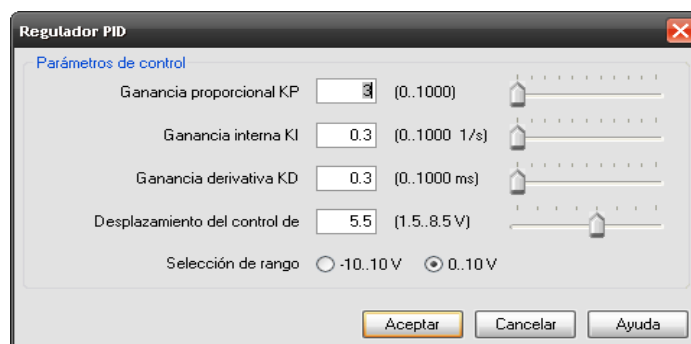


Figura A. 8 Configuración de parámetros PID

9. Analizar en el diagrama de estado las señales de salida y la estabilización del sistema, de las señales del cilindro y la válvula proporcional como se muestra en la figura A 9.

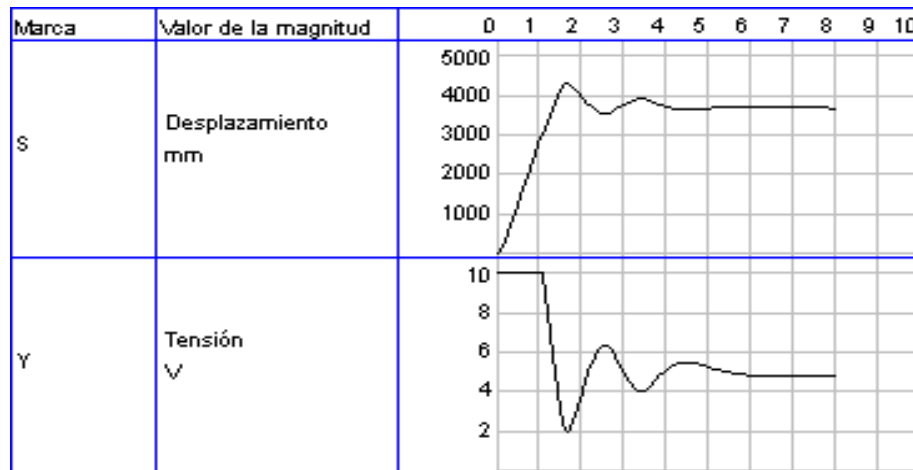


Figura A. 9 Diagrama estado movimiento del actuador

#### Práctica 4: Supervisión y control P.I.D de posición.

##### 1. Objetivos

- Diseñar la supervisión y control PID posición automático del módulo TP111,
- Realizar la adquisición de datos por medio del módulo Easy Port D8A.
- Adquirir la señal de la válvula proporcional y escalarla en función del potenciómetro Lineal para poder realizar el control de posición.
- Sintonizar el PID para lograr la mayor estabilidad posible del sistema.

##### 2. Trabajo Preparatorio

¿Cómo funciona una válvula proporcional y un potenciómetro lineal?

¿Cuáles son los valores de voltaje que maneja el módulo Easy Port D8A en sus entradas y salidas análogas?

¿Qué grado de protección IP posee el potenciómetro lineal?

¿Cuál es el objetivo de colocar un depósito de aire a la entrada de la válvula proporcional?

##### 3. Procedimiento

Utilizando el potenciómetro lineal arme el circuito de la figura A.9 en el Controlador PID.

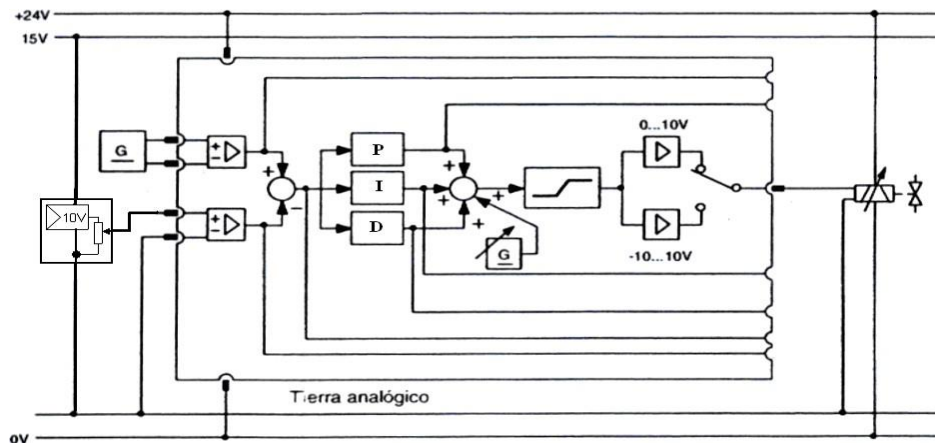


Figura A. 10

- a. Se diseña el circuito neumático como se muestra en la figura A 10.

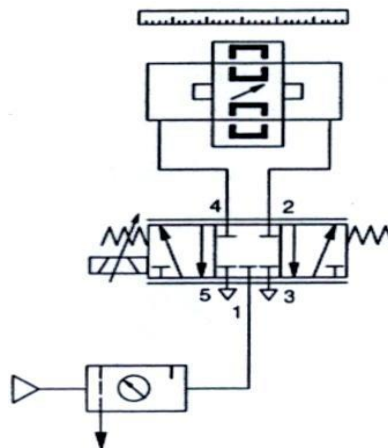


Figura A. 11

- c. Energizar el circuito eléctrica y neumáticamente y calibrar la entrada de presión a 4 bar y un Set-Point de 5 V.
- d. Para ajustar las constantes proporcional, integral o derivativa cada una de las variables mover el interruptor rotativo para el ajuste fijo 0, 1, 10, 100, luego mover el potenciómetro de ajuste fino para lograr sintonizar el sistema.
- e. Para encontrar el periodo  $P_{cr}$  y la constante crítica de proporcionalidad  $K_{cr}$  del sistema, colocar el interruptor rotativo de las constantes  $K_d$  y  $K_i$  en cero, y mover el interruptor de la constante  $K_p$  hasta que el sistema se encuentre oscilante.

- f. Medir con el osciloscopio la señal de salida del sistema sin carga y con carga para determinar el periodo, tal como se muestra en la figura A 11.

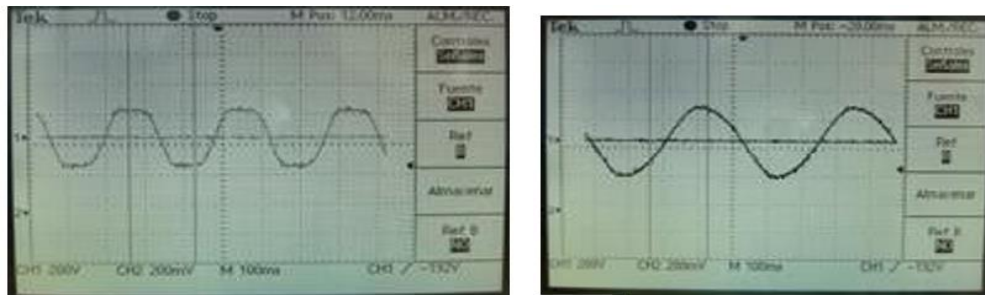


Figura A. 12 Variación del periodo de la señal de salida con carga y sin carga.

- g. Anotar el valor de la constante  $K_p$ , con la cual logró el sistema entrar en oscilaciones constantes, con carga y sin carga al igual que el valor de presión del sistema y el Set Point y justifique los resultados.
- h. Realizar la interface de comunicación con In Touch, verificando que se encuentre habilitado el servidor OPC Link y el Ez OPC del Easy Port D8A, para realizar la supervisión del sistema.
- i. Calcular los valores de las constantes  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  según el método de Ziegler-Nichols para realizar la sintonización del sistema.

Tipo	$K_P$	$T_i$	$T_d$
Con carga	2,76	0,25	0,06
Sin carga	6	0,125	0,03

- j. Ingresar las constantes  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  en el Regulador PID, y verificar que el sistema se estabiliza, con los valores calculados.
- k. En caso de que el sistema no logre estabilizarse, mover las constantes  $K_P$ ,  $K_I$  y  $K_D$ , hasta que el sistema se estabilice.
- l. Visualizar las curvas obtenidas en In Touch y el máximo sobre impulso y el error en estado estable, cuando el sistema empiece a estabilizarse.
- m. Variar el Set Point del sistema y verificar que el sistema se encuentre estable, y proporcionar una perturbación manualmente al actuador lineal para verificar que el sistema sigue estable.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Obregón Santana, Julio Jefferson** con C.C: 0926540634 autor del Trabajo de Titulación: **Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional. Guía de circuitos electroneumáticos**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánica** 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, 18 de septiembre del 2020

*Julio Obregón*

**Obregón Santana, Julio Jefferson**

C.C: 0926540634



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional. Guía de circuitos electroneumáticos		
<b>AUTOR(ES)</b>	Obregón Santana, Julio Jefferson		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Luis Orlando Philco Asqui		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Eléctrico-Mecánica		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	18 de septiembre del 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	94
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Industria 4.0, Neumática digital, Automatización.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Sistemas ciberfísico, Neumática proporcional, Válvula electroneumática, simulación		

Se presenta el trabajo de titulación que tiene como objetivo principal estudiar los elementos y plataformas tecnológicas del paradigma de la industria 4.0 y la convergencia de la tecnología de neumática proporcional. El aporte de este trabajo de titulación es identificar la evolución de la neumática convencional, proporcional y digitalizada en procesos automatizados, así también se plantea una guía de circuitos electroneumáticos para ser implementados en el laboratorio de Neumática de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD). La metodología que se va aplicar es descriptiva pues se documentan los elementos principales del entorno de industria 4.0. se emplea el método analítico para analizar datos del desempeño de un sistema de neumática digitalizada. También se empleará el método empírico por la simulación de circuitos electroneumáticos con FluidSim de FESTO, esto es parte de una guía de circuito con neumática proporcional y con control eléctrico.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593 0989803134	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:Jeff_pibe89@hotmail.com">Jeff_pibe89@hotmail.com</a>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez, Edwin Fernando	
	<b>Teléfono:</b> +593-9-67608298	
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>	

#### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	