

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA  
ELECTRÓNICO PARA EL ANÁLISIS  
DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE  
AIRE COMPRIMIDO UTILIZANDO  
TECNOLOGÍA IoT EN EL MARCO  
DE LA INDUSTRIA 4.0**

**APLICACIÓN ACADÉMICA EN ESCUELA DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:  
ING. CARLOS LEVI CARTAGENA LOBOS**

**DOCENTE CO-INVESTIGADOR:  
ING. RICARDO EDGARDO QUINTANILLA PADILLA**

**TÉCNICO EN SISTEMAS INFORMÁTICOS Y  
TÉCNICO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA  
CENTRO REGIONAL SANTA ANA**

**ENERO 2021**



**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA  
ELECTRÓNICO PARA EL ANÁLISIS  
DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE  
AIRE COMPRIMIDO UTILIZANDO  
TECNOLOGÍA IoT EN EL MARCO  
DE LA INDUSTRIA 4.0**

**APLICACIÓN ACADÉMICA EN ESCUELA DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:  
ING. CARLOS LEVI CARTAGENA LOBOS**

**DOCENTE CO-INVESTIGADOR:  
ING. RICARDO EDGARDO QUINTANILLA PADILLA**

**TÉCNICO EN SISTEMAS INFORMÁTICOS Y  
TÉCNICO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA  
CENTRO REGIONAL SANTA ANA**

**ENERO 2021**

### **Rectora**

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

### **Vicerrector Académico**

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

### **Vicerrectora Técnica Administrativa**

Inga. Frineé Violeta Castillo

### **Director de Investigación y Proyección Social**

Ing. Mario W. Montes Arias

### **Dirección de Investigación y Proyección Social**

Ing. David Emmanuel Ágrede Trujillo

Inga. Ingrid Janeth Ulloa de Posada

Sra. Edith Aracely Cardoza de González

### **Director Centro Regional de Santa Ana**

Ing. Manuel Antonio Chicas Villeda

621.530 285 467 8

C322d Cartagena Lobos, Carlos Levi, 1984 -

slv Propuesta de diseño de sistema electrónico para el análisis de redes de distribución de aire comprimido utilizando Tecnología IoT en el marco de la Industria 4.0 [recurso electrónico] : aplicación académica en Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica / Carlos Levi Cartagena Lobos, Ricardo Edgardo Quintanilla Padilla. -- 1ª ed. -- Santa Tecla, La Libertad, El Salv. : ITCA Editores, 2021.

1 recurso electrónico (56 p. : il. col. ; 28 cm.)

Datos electrónicos (1 archivo : pdf, 8.6 Mb). --  
<https://www.itca.edu.sv/produccion-academica/>  
ISBN : 978-99961-39-74-1 (E-Book, pdf)

1. Aire comprimido – Equipo. 2. Internet de las Cosas. 3. Electrónica – Aparatos e instrumentos. I. Quintanilla Padilla, Ricardo Edgardo, 1976-, coaut. II. Título.

BIN/jnh

### **Autor**

Ing. Carlos Levi Cartagena Lobos

### **Co Autor**

Ing. Ricardo Edgardo Quintanilla Padilla

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2021

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica, el sector empresarial y la sociedad, como un aporte al desarrollo del país. Para referirse al contenido debe citar el nombre del autor y el título del documento. El contenido de este Informe es responsabilidad de los autores.



Atribución-No Comercial  
Compartir Igual  
4.0 Internacional

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons. No se permite el uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, cuya distribución debe hacerse mediante una licencia igual que la sujeta a la obra original.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio Web: [www.itca.edu.sv](http://www.itca.edu.sv)

TEL: (503)2132-7423

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	4
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2.1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	5
2.2.	ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA .....	6
2.3.	JUSTIFICACIÓN .....	9
3.	OBJETIVOS.....	10
3.1.	OBJETIVO GENERAL .....	10
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
4.	HIPÓTESIS .....	10
5.	MARCO TEÓRICO .....	10
5.1.	AIRE COMPRIMIDO.....	10
5.2.	RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO .....	11
5.3.	PARÁMETROS PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	12
5.4.	COMPONENTE PRINCIPALES DE UNA RED DE AIRE .....	12
5.5.	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.....	13
5.6.	PÉRDIDA DE PRESIÓN EN UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO .....	15
5.7.	PÉRDIDA POR FUGAS .....	17
5.8.	PRESIÓN DE TRABAJO .....	19
5.9.	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	20
5.10.	EQUIPO DE APOYO PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS.....	21
6.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	23
7.	RESULTADOS.....	25
7.1.	DISEÑO DEL MODELO PARA IMPLEMENTAR IOT EN UNA INSTALACIÓN CON SISTEMAS NEUMÁTICOS .....	25
7.2.	DISEÑO DEL HARDWARE PARA LA LECTURA DE SENSORES DE PRESIÓN Y CAUDAL .....	26
7.3.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y REGULACIÓN DE VOLTAJES .....	26
7.4.	INTERFAZ DE SENSORES .....	26
7.5.	INTERFAZ DE TRANSMISIÓN DE DATOS .....	26
7.6.	UNIDAD DE PROCESAMIENTO CON MICROCONTROLADOR .....	26
7.7.	DISEÑO DE LA BASE DE DATOS PARA LA GESTIÓN Y FLUJO DE LA INFORMACIÓN .....	30
7.8.	MODELO Y CONFIGURACIÓN DE RED DE ÁREA PERSONAL (PAN) .....	31
8.	CONCLUSIONES .....	32
9.	RECOMENDACIONES.....	32
10.	GLOSARIO .....	32
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
12.	ANEXOS .....	34
12.1.	SENSOR DE PRESIÓN SPAN-P10R-M5-PN-PNVBA-L1.....	34
12.2.	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE SENSORES DE PRESIÓN Y CAUDAL .....	53
12.3.	PCB DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LOS SENSORES DE PRESIÓN Y CAUDAL.....	54
12.4.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS PARA LINEARIZAR LECTURAS DE SENSOR NO LINEAL .....	56

## 1. INTRODUCCIÓN

El aire comprimido tiene un uso intensivo a nivel industrial y para producirlo se requiere de grandes cantidades de energía eléctrica, causando un impacto directo en los costos de producción. Considerando esta premisa se debe de reducir al mínimo los desperdicios de aire desde el proceso de producción en el área de compresores hasta el actuador que lo utiliza. La principal causa de pérdidas en una red de aire comprimido se da por fugas en los puntos de conexión de las mangueras o mangueras con cortes. Según estudios de FESTO los desperdicios de aire comprimido pueden rondar entre el 25 y el 30 por ciento.

Dada la importancia de controlar las fugas en las redes de aire comprimido, surge la necesidad de contar con un sistema que permita detectar de manera temprana la existencia de fugas en una red, tomando en cuenta los modelos de producción modernos orientados hacia la Industria 4.0.

Para contribuir con una solución que sirva de herramienta de detección de fugas y de diagnóstico para el estudio de la eficiencia energética en los procesos de producción con aire comprimido, se ejecutó el proyecto de investigación aplicada: "Diseño y Construcción de Hardware para el Análisis de Redes de Distribución de Aire comprimido, Utilizando Tecnología IoT en Marco de la Industria 4.0.", con el objetivo de diseñar y construir hardware dedicado para la medición de presión y caudal empleando tecnologías que se puedan adaptar al modelo de producción de la industria 4.0.

El modelo de medición planteado se basa en el Internet de las Cosas, en donde nodos de medición rastrean las lecturas de presión y caudal en puntos estratégicos de una red de distribución de aire comprimido y las lecturas obtenidas las canalizan hacia un nodo central que se usa como puerta de enlace para transferir los datos hacia un servidor, con el propósito de almacenar y analizar grandes cantidades de datos para identificar el comportamiento anormal en una red de aire comprimido.

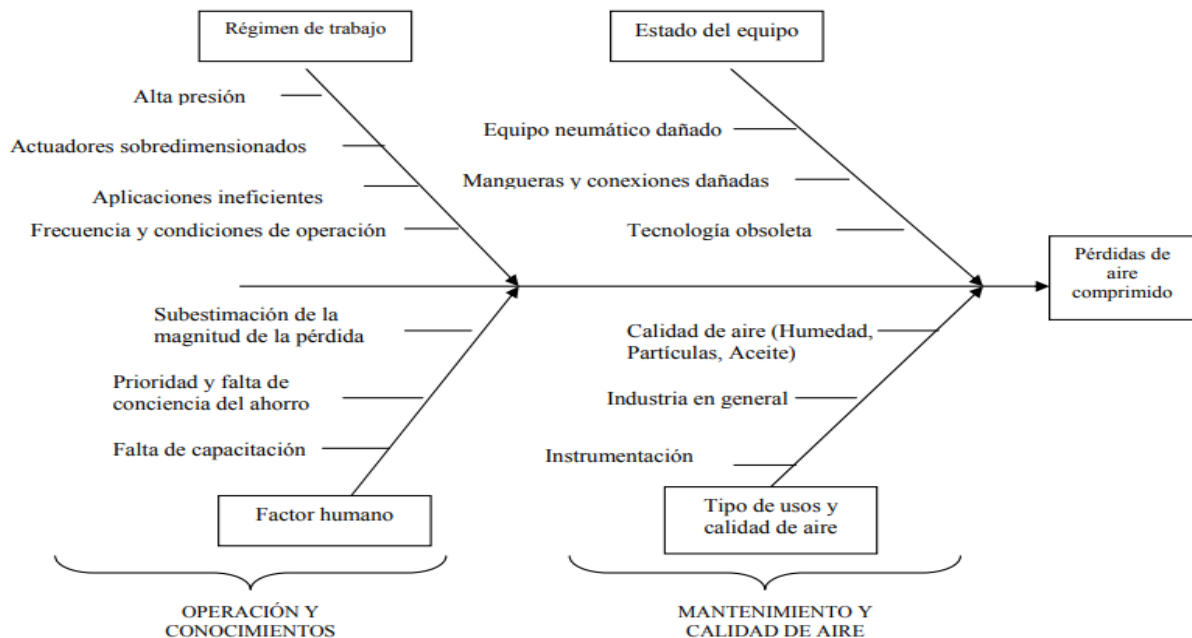
Los elementos principales que componen los nodos de medición son los sensores SPAN-P10R-M5-PN-PNVBA-L1 y el SFAB-50U-HQ6-2SA-M12, ambos de la marca FESTO, la unidad de procesamiento integrada por una tarjeta Teensy 5.0 y el módulo de comunicación RF Xbee. Todos montados en una tarjeta PCB diseñada exclusivamente para el proyecto.

Los detalles del diseño del hardware para el monitoreo de redes de aire comprimido usando el Internet de las Cosas, los podrá encontrar en el desarrollo del contenido del informe.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la industria, el uso de aire comprimido es esencial para muchos procesos de fabricación, pero para producirlo se requiere del consumo de una gran cantidad de energía eléctrica, por lo que las fugas de aire por diversas causas fig. (1), deben reducirse al mínimo.



**Fig1.** Causas más frecuentes de las pérdidas de aire comprimido.

Fuente [1]

FESTO ha realizado estudios de consumo de aire a pie de máquina en diferentes empresas mexicanas [2] y el resultado es que existe un desperdicio promedio del 25 – 30 % del aire comprimido general producido. Por tanto, medir y controlar la energía consumida en los sistemas neumáticos adquiere relevancia para el sector industrial; ya que con la información obtenida se puede mejorar la eficiencia energética de la red neumática.

En la actualidad los sistemas de producción modernos se basan en el enfoque de la Industria 4.0, en donde se hace uso de diferentes recursos tecnológicos que tienen como base el Internet. El Internet de las Cosas, IoT, forma parte de la columna vertebral de los procesos de producción industrial orientados hacia la Industria 4.0, teniendo esto como preámbulo surge la interrogante. ¿Cómo diseñar hardware para medir las pérdidas en redes de distribución de aire comprimido aplicando tecnologías IoT que tenga aplicación práctica en un modelo de producción orientado hacia la Industria 4.0?

## 2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA

En el año 2012 investigadores de la universidad de Novi Sadde la facultad de Ciencias Técnicas realizaron un estudio de cuantificación de fugas de aire comprimido mediante ultrasonido y termografía infrarroja [3] y obtuvieron los siguientes resultados:

### Medición del flujo

En los experimentos realizados el flujo fue medido usando el equipo portátil de FESTO Air Box. Con Air Box se puede realizar la medición de presión, temperatura y flujo, y permite al usuario realizar pruebas de calidad del aire para establecer la humedad y el contenido de aceite. El aire comprimido pasa por una superficie que se calienta continuamente. El aire que fluye absorbe energía calorífica de la superficie cálida. Un sensor térmico cuantifica la variación de temperatura, que representa un flujo de aire específico.

La frecuencia de medición fue de 100 Hz, con precisión  $\pm 3\%$  y reproducibilidad  $\pm 0.3\%$  para sensor de bajo flujo; y  $\pm 3\%$  precisión y reproducibilidad de  $\pm 0.8\%$  para sensor de alto flujo.

Los resultados obtenidos indican que el flujo de aire comprimido crece con el aumento del diámetro del orificio y el sistema depresión. Con el propósito de experimentar y medir, el rango de flujo se mantuvo dentro del rango bajo (10–200 l / min). Los resultados obtenidos por medición del flujo en los puntos de salida de aire en la manguera neumática flexible perforada se dan en la Tabla 1.

### Medida del nivel de ruido

La intensidad del sonido que sale de la manguera neumática flexible fue medida por un detector de ultrasonido, Ultraprobe 100 [5,6], que detecta con precisión fugas y daños mecánicos. La respuesta de frecuencia es 36–44 kHz y el tiempo de respuesta 300 ms.

Debido a la elasticidad del material, los orificios perforados eran de forma irregular, con paredes rugosas. Por lo tanto, la intensidad del ultrasonido generado por el flujo de aire fue varias veces mayor de lo que hubiera sido si los orificios fueran de forma redonda y paredes lisas. Con el aumento de presión, el flujo de aire también aumenta, y la señal medida por el detector de ultrasonido se vuelve más fuerte. El nivel de ruido se midió en el punto más alto de fuga.

Las ondas sonoras pueden necesitar ser manipuladas a una dirección o ángulo para



mejorar la defectibilidad [7]. Debido a las formas variables de los orificios, en lugar de ser perpendiculares al orificio, el punto más ruidoso es con frecuencia en un ángulo de 30° [4].

Los resultados de la medición del nivel de ruido generado por fugas de aire comprimido de la manguera neumática flexible son los que se muestran en la Tabla 2. Las fugas de aire comprimido se expresan como niveles de sonido (dB), a diversas presiones. Debido a la aparente imprecisión del instrumento de medición aplicado, los valores obtenidos solo deben usarse con fines de orientación en la práctica.

A medida que los orificios de la manguera aumentan de tamaño, el nivel de sonido cambia a un ritmo más lento con el cambio de presión. Los cambios más destacados en el nivel de sonido se producen en orificios de 0,5 mm de diámetro, mientras que en los diámetros de orificio de 1.3 mm y más grande, el nivel de sonido se vuelve constante. Así, no se recomienda usar mediciones de nivel de sonido para diferenciar entre tamaños de orificios superiores a 1,5 mm.

Los resultados obtenidos coinciden con los resultados informados en [4], donde los experimentos se realizaron para diámetros de orificio de 0.2 a 1.0 mm. La aplicación de este método se recomienda solo para orificios más pequeños (0.5; 0.7 y 1.0 mm, y parcialmente 1.3 mm) donde es posible usar el nivel de ruido para distinguir claramente entre los tamaños de orificio y evaluar la pérdida de aire relacionada.

### **Medida de la temperatura**

La medición de la diferencia de temperatura en la ubicación de la fuga de aire comprimido se realizó mediante una cámara termográfica Fluke Ti20 con rango espectral 7.5–14  $\mu\text{m}$ , sensibilidad térmica 200 mk, precisión  $\pm 2$  C o 2% (lo que sea mayor) y repetibilidad  $\pm 1\%$  o  $\pm 1$  C ( $\pm 2$  F). El campo de visión es rectangular y cubre 20° horizontal y 15° verticales [8]. Debido a la incapacidad de medir directamente la temperatura de aire comprimido, se centró en la medición de diferencia de temperatura (DT), usando la ecuación (1), emitido por un objeto, en este caso, la manguera flexible ( $T_{\text{material}}$ ) y la temperatura en el mismo orificio a través del cual se libera aire comprimido ( $T_{\text{orifice}}$ ). Las mediciones se realizaron a orificios de varios diámetros, a diversas presiones y temperatura ambiente constante. Basado en el valor medio de las temperaturas medidas en zonas particulares (ver Fig. 2), la diferencia de temperatura se calculó de acuerdo con la ecuación. (2)

$$\Delta T = T_{material} - T_{orifice} \quad (1)$$

$$T_{material} = (T_1 + T_2 + T_3)/3 \quad (2)$$

Donde T1 es la temperatura de la manguera flexible antes del orificio (°C), T2 es la temperatura de la manguera flexible después del orificio (°C), y T3 es la temperatura de la manguera flexible debajo el orificio (°C). La figura 2 presenta el análisis del perfil de temperatura del orificio de 0,7 mm, a 4 bar. Hay un cambio repentino de temperatura en la ubicación del orificio. Análisis de todas las imágenes conduce a la conclusión de que el aumento de la presión en el sistema provoca la caída de la temperatura del aire comprimido que sale a través del orificio, que, a su vez, aumenta la  $\Delta T$ . Los resultados obtenidos por medición de diferencias de temperatura en las ubicaciones de los orificios en la manguera neumática flexible se muestran en la tabla 3.

El análisis de los resultados de medición muestra que el cambio de temperatura en las ubicaciones de los orificios es función del orificio. A medida que aumenta el tamaño del orificio, independientemente de la presión, hay una caída visible de la temperatura en los puntos de salida de aire.

**Tabla 1.** Fuga de aire comprimido (l / min) a través de orificios en manguera neumática flexible, en función de la presión y el diámetro del orificio [3].

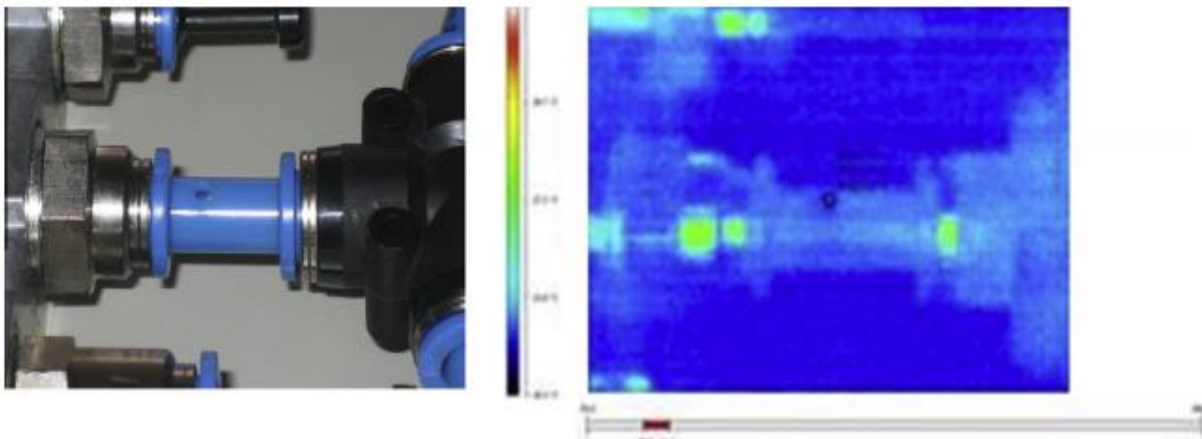
PRESIÓN (bar)	DIÁMETRO DEL ORIFICIO (mm)					
	0.5	0.7	1	1.3	1.5	2
4	2.1	4.3	8.4	18.7	39.9	58.6
5	2.6	5.3	10.7	23.3	37	71
6	3.2	6.5	12.3	29.0	45.1	84.0
7	3.7	7.9	14.3	34.8	51.9	98.7
8	4.2	8.8	15.6	40	56.2	101

**Tabla 2.** Nivel de ruido (dB) de fuga de aire comprimido de la manguera neumática flexible, como función de presión y diámetro del orificio [3].

PRESIÓN (bar)	DIÁMETRO DEL ORIFICIO (mm)					
	0.5	0.7	1	1.3	1.5	2
4	60	66	71	73	74	75
5	63	68	72	73	74	75
6	66	69	72	73	74	75
7	69	71	73	74	74	75
8	73	73	74	74	75	75

**Tabla 3.** Cambio de temperatura  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) en función de la presión y el diámetro del orificio en la manguera neumática flexible [3].

PRESIÓN (bar)	DIÁMETRO DEL ORIFICIO (mm)					
	0.5	0.7	1	1.3	1.5	2
4	0.5	1.4	2.2	2.9	3.6	4.3
5	0.6	1.5	2.7	3.4	4.1	4.7
6	0.8	1.6	3.0	3.7	4.4	4.9
7	0.9	1.7	3.2	4.1	5.1	5.4
8	1.0	1.9	3.3	4.6	5.5	5.9



**Fig.2.** Punto de medición: comparación de fotografía y termograma. Fuente [3]

### 2.3. JUSTIFICACIÓN

Además de la energía eléctrica, el aire comprimido es hoy en día el medio de energía más universal utilizado por una serie de industrias. A pesar de todas sus ventajas, el aire comprimido es un recurso energético costoso.

Por desconocimiento los encargados del mantenimiento pueden pasar por alto pequeñas fugas que tienen un efecto considerable en los costos de energía debido a su presencia constante en los equipos neumáticos.

Los responsables del mantenimiento deben contar con herramientas de análisis del estado de las redes de distribución de aire comprimido que les permita tomar decisiones con mayor rapidez al detectarse alguna fuga.

En este contexto para mejorar la eficiencia energética de estos sistemas se requiere de equipos para diagnosticar el funcionamiento de las redes de distribución de aire comprimido, con el fin de cuantificar los desperdicios de energía y tomar las acciones respectivas para reducirlos al mínimo.

Un trabajo de investigación aplicada para el diseño de hardware usando tecnologías enfocadas a la industria 4.0, para el diagnóstico de sistemas de aire comprimido, puede ser de interés para la industria; ya que les permitirá contar con equipo especializado para la obtención de datos sobre los diferentes parámetros relevantes que después de analizarlos se obtendrá información para tomar decisiones dirigidas a mejorar la eficiencia energética de las redes de aire comprimido y reviste de importancia económica, tecnológica y ecológica.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un sistema de hardware y software para diagnosticar redes de aire comprimido.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diseñar hardware modular con conectividad inalámbrica.
2. Aplicar la arquitectura de cuatro capas del IoT para el sistema de medición.
3. Desarrollar una aplicación para determinar los costos en tiempo real de la energía consumida en la generación de aire comprimido.

### **4. HIPÓTESIS**

¿Es posible desarrollar un sistema de hardware y software para cuantificar las pérdidas de caudal en las redes de aire comprimido utilizando IoT?.

### **5. MARCO TEÓRICO**

#### **5.1. AIRE COMPRIMIDO**

El aire es una mezcla de gases incoloros, insípidos e inodoros. La composición del aire seco es como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Gases que componen el aire

Componente	Porcentaje (Volumen)	Porcentaje (Peso)
Nitrógeno	78.08	75.51
Oxígeno	20.95	23.15
Argón	0.93	1.28
Dióxido de Carbono	0.03	0.046
Otros Gases	0.01	0.014

Los valores de las constantes físicas más importantes del aire son: Ver tabla 5

**Tabla 5:** Constantes físicas del aire

Peso molecular	28.96 gr / mol
Densidad a 15 °C y 1 bar (0.1 MPa)	1.208 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura ebullición a 1 bar (0.1 MPa)	78.8 K
Temperatura congelación a 1 bar (0.1 MPa)	57-61 K
Constante de gas	287 J / kg K
Presión crítica	3.77 MPa
Temperatura crítica	132.5 K

El aire comprimido es uno de los energéticos más utilizados en la industria. Es empleado como elemento transportador, activador de herramientas neumáticas y de diversos sistemas de control.

El aire comprimido se usa en forma intensiva en las empresas como alimentos, textil, vestido, manufactura, ensamble, química, automotriz, entre otros.

## **5.2. RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO**

El objetivo del sistema de distribución es transportar el aire comprimido desde el depósito de almacenamiento hasta la herramienta o cualquier otro equipo neumático, con una pérdida de carga limitada.

Al proyectar una red de distribución de aire comprimido es necesario, primero estudiar todas las aplicaciones del aire comprimido y pasarlas a un plano y analizar el máximo consumo de aire pico.

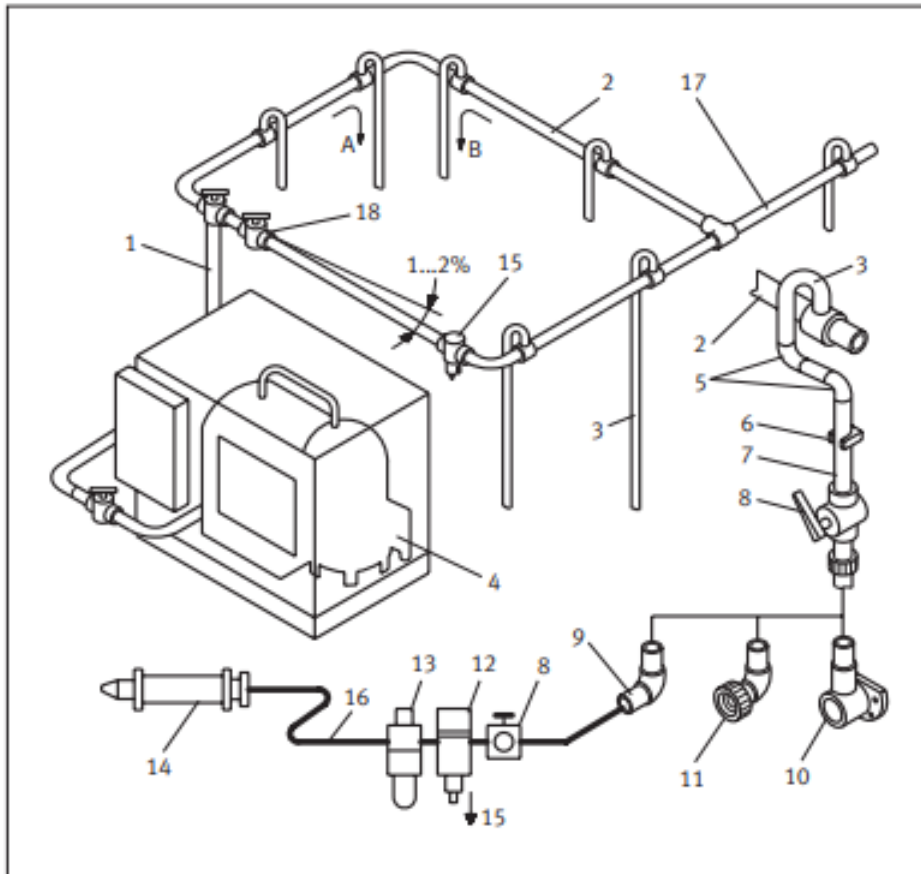
### 5.3. PARÁMETROS PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Los parámetros para una instalación de aire comprimido son:

- a) **Presión.** La presión a la cual se desea trabajar tanto para el caudal entregado por el compresor como para el de utilización en la red. Al hablar de presiones serán siempre presiones efectivas, que se cuentan a partir de la presión atmosférica.
- b) **Caudal.** El caudal de aire comprimido que debe circular por cada zona de trabajo o ramal de distribución y su magnitud dependerá del planteamiento particular a que pueda ser sometido cada proyecto.
- c) **Pérdida de presión.** Se refiere a la pérdida de energía que se va originando en el aire comprimido ante los diferentes obstáculos que encuentran en su desplazamiento hacia los puntos de utilización, como son: secador, filtros, tuberías, etc.

### 5.4. COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA RED DE AIRE

- 1. Tubería Principal. A través de esta tubería se transporta al aire comprimido desde el compresor hasta la zona de trabajo.
- 2. Tubería de Distribución. Es la que se encarga de llevar el aire comprimido desde la tubería principal hasta los diversos puestos de trabajo.
- 3. Tubería de unión. Une la tubería de distribución con cada uno de los puestos de trabajo. Los tubos de unión con frecuencia son tubos flexibles.
- 4. Derivación. Se trata de un tubo que sale de la tubería de distribución hasta un determinado lugar de la planta; no es circular y termina en un punto muerto.



**Fig. 3:** Distribución de aire

Referencia. Manual Aire Comprimido, Festo, Serie Blue Digeston Automation Pag. 61

### 5.5. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

El caudal depende de los siguientes factores:

1. Cantidad de herramientas y/o máquinas consumidoras y el consumo de aire de cada una.
2. Factor de simultaneidad ya que no siempre todas las unidades consumidoras funcionan al mismo tiempo, ver tabla 7
3. Pérdidas por desgaste de las herramientas y/o máquinas consumidoras
4. Tiempo promedio de operación durante un día de las herramientas y/o máquinas consumidoras, ver tabla 6

El tiempo promedio de operación se expresa en porcentaje. Este criterio tiene en cuenta que la mayoría de las herramientas y/o máquinas consumidoras no está en funcionamiento constantemente.

**Tabla 6:** Tiempo promedio de operación

Referencia. Manual Aire Comprimido, Festo, Serie Blue Digeston Automation Pag. 56

Herramientas y/o máquinas consumidoras	Tiempo Promedio de Operación
Taladradora	30%
Lijadora	40%
Martillo cincelador	30%
Moldeadora	20%
Pistola Neumática	10%
Máquina para alimentar piezas	80%

Las máquinas que no funcionan de modo continuo suelen conectarse en diversos momentos, con lo que no todas funcionan al mismo tiempo.

**Tabla7:**Factor de simultaneidad

Referencia. Manual Aire Comprimido, Festo, Serie Blue Digeston Automation Pag. 65

Cantidad de unidades consumidoras	Factor simultaneidad	Cantidad de unidades consumidoras	Factor simultaneidad
1	1	9	0.73
2	0.94	10	0.71
3	0.89	11	0.69
4	0.86	12	0.68
5	0.83	13	0.67
6	0.80	14	0.66
7	0.77	15	0.65
8	0.75	100	0.20

Este valor  $V_m$  se tiene que corregir una vez más de la siguiente manera:

$${}^0V = \left[ {}^0V_m + \left[ {}^0V_m \cdot \frac{A_r}{100} \right] + \left[ {}^0V_m \cdot \frac{A_r}{100} \cdot \frac{F_u}{100} \right] \right] \cdot 2$$

Donde:

$A_r$  = Crecimiento a futuro (promedio 35%)

$F_u$  = Consideración de fugas (promedio 10%)



La duplicación del caudal  $V$  tiene la finalidad de compensar picos de consumo (que superan el consumo medio).

Considerando que las redes de aire comprimido se pueden utilizar durante mucho tiempo es recomendable prever el montaje posterior de unidades consumidoras adicionales, por lo que la red debe disponer de las reservas correspondientes. Este criterio está incluido en la fórmula anterior (Factor Ar).

### 5.6. PÉRDIDA DE PRESIÓN EN UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO

Cuánto más largos son los tubos, mayor es la pérdida de presión en el punto de toma para las unidades consumidoras. Esto se explica por la rugosidad de la pared interior de los tubos y por la velocidad del caudal. En el nomograma de la figura 4 se puede leer la pérdida de presión en función del diámetro y de la longitud de los tubos.

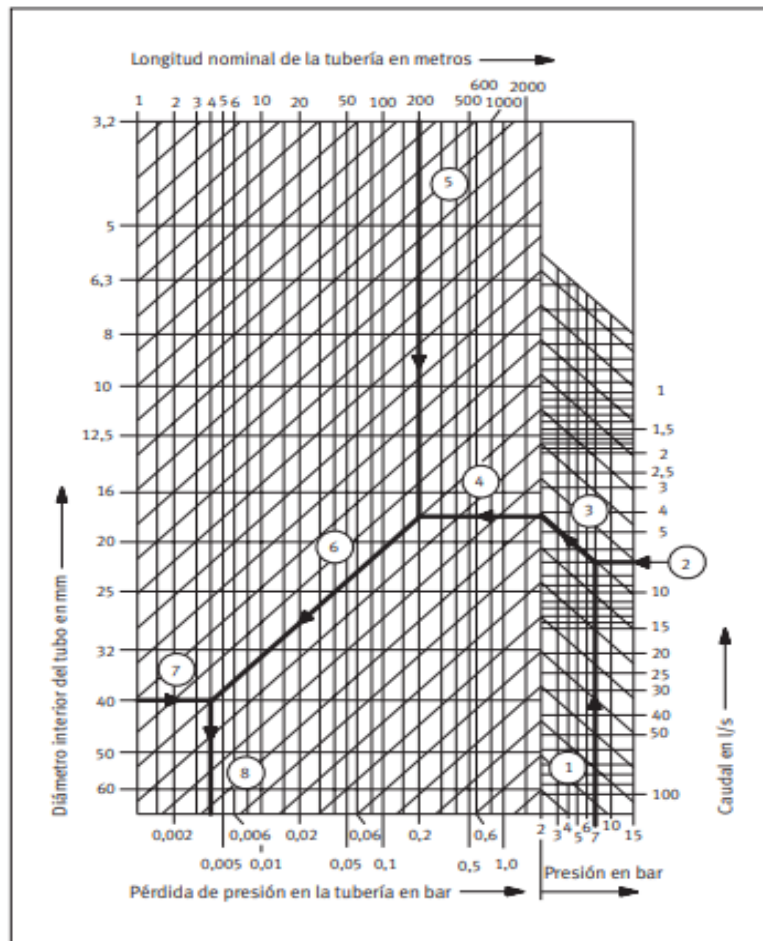


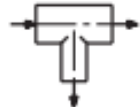
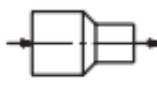


Fig. 4. Nomograma de caída de presión

Referencia. Manual Aire Comprimido, Festo, Serie Blue Digeston Automation Pag. 69

Los accesorios como: válvulas, codos ofrecen una resistencia mucho mayor al caudal. Para tener en cuenta estos componentes, se calcula con una longitud equivalente de la tubería y el resultado se suma a la longitud real de los tubos antes de calcular o determinar gráficamente el diámetro interior necesario de los tubos. En la figura 5 incluyen longitudes equivalentes.

Denominación	Accesorio	Longitudes equivalentes en metros									
		Diámetro interior d del tubo en milímetros									
		9	12	14	18	23	40	50	80	100	
Válvula esférica		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	
Codo		0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	
Pieza en T		0,7	0,85	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0	10	
Reductor de 2d a d		0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,9	1,0	2,0	2,5	

**Fig. 5.** Longitudes de equivalentes

Referencia. Manual Aire Comprimido, Festo, Serie Blue Digeston Automation Pag. 70

Ello significa que la longitud definitiva de los tubos que debe incluirse en el cálculo es la siguiente:

$$L_{Total} = L_L + \sum_{i=1}^n L_{equivalente}$$

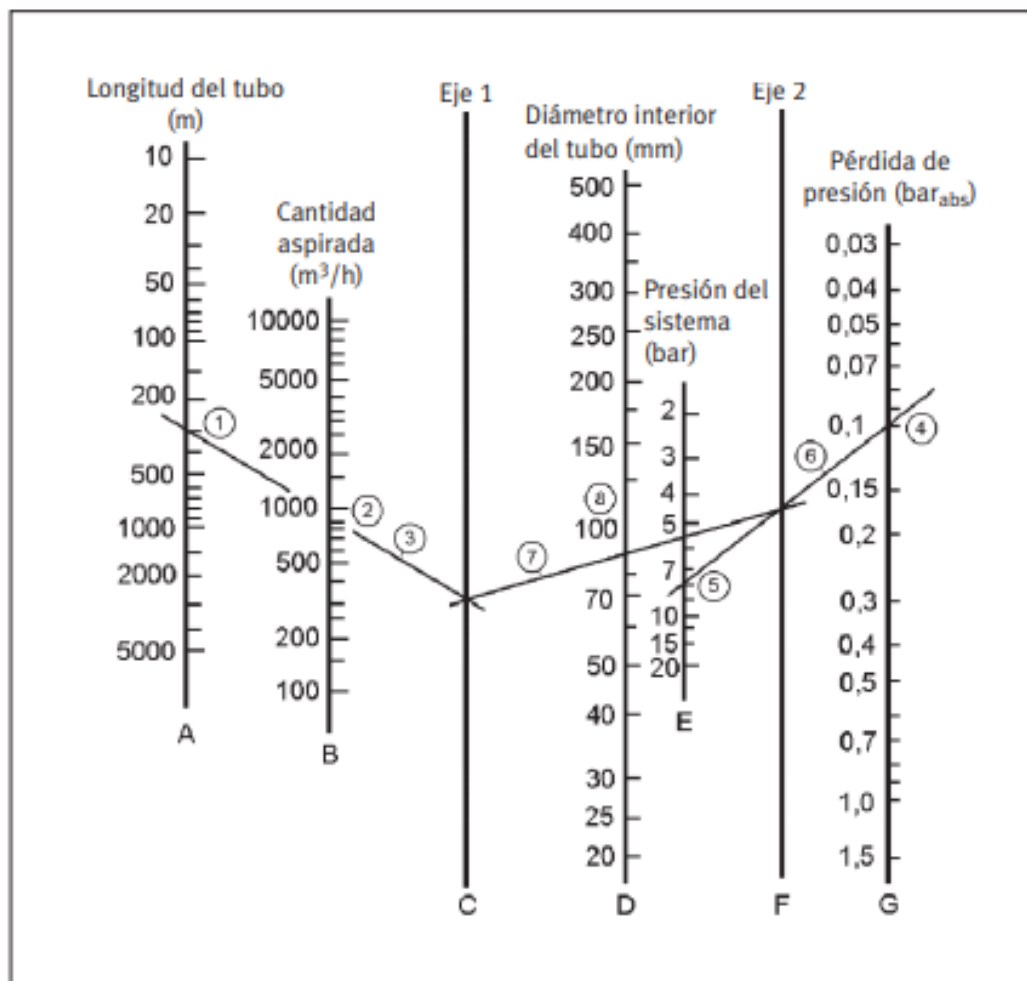
Donde:

**N** es la cantidad de accesorios

**L<sub>L</sub>** es la longitud real de la tubería

Para ello puede utilizarse el nomograma de la Figura 6 incluyendo los puntos 1 hasta 7. El punto de intersección con la escala D en 8 indica el diámetro interior del tubo. Conociendo

el dato de la longitud estimada en punto 1 y el consumo estimado en planta en punto 2 se cruza una línea por estos dos puntos y se hace llegar hasta el eje 1. Después con los datos de la caída máxima de presión permitida en punto 4 y la presión de trabajo en punto 5 se unen y se tiene un cruce con el eje 2. Ahora para encontrar el diámetro interior de la tubería se unen los puntos encontrados entre el eje 1 y el eje 2 y en el cruce con el eje D se ubica el dato de diámetro interior de la tubería sugerida.



**Fig. 6** Nomograma de caída de presión

Referencia. Manual Aire Comprimido, Festo, Serie Blue Digeston Automation Pag. 69

### 5.7. PÉRDIDA POR FUGAS

Al ser el aire inodoro e invisible se hace muy difícil detectar las fugas de los sistemas de aire comprimido, por lo que las pérdidas en este apartado suelen ser muy grandes si no se procura el mantenimiento adecuado.

Cuando una fuga es grande, el ruido que causa la hace fácil de detectar, además de que la caída de presión que provoca hace evidente que hay un problema en el sistema y por lo tanto que se inicie la búsqueda.

Por otro lado, las fugas pequeñas suelen pasar inadvertidas al ser más difíciles de detectar en el comportamiento del sistema y en su ubicación física. Pero la suma de todas estas pequeñas fugas sí tiene un impacto en la red total de la empresa, lo que genera una pérdida importante que puede ser fácilmente controlada.

Origen de las fugas. La instalación incorrecta de las tuberías como mala alineación, ajuste inadecuado de las juntas, ausencia de ciclos de dilatación y de juntas anti vibración, uso de un sellante inadecuado o mal aplicado y otras. El deterioro por uso normal como oxidación o vibración y el daño por uso anormal como golpes, cargas indebidas y la falta de mantenimiento.

La cantidad de aire que se pierde por las fugas es proporcional al tamaño del orificio y la presión de operación del sistema; La energía asociada es dramáticamente alta. En la tabla 8 se muestran en función del diámetro del orificio y en función de la presión, como varían los flujos perdidos por las fugas y la energía eléctrica asociados a la generación del aire comprimido que se pierde.

**Tabla:8** Perdidas de energía por fugas en función del diámetro y la presión  
Referencia [10]

	Diámetro del orificio			
Pulgadas	1/64"	1/16"	1/8"	1/2"
Milímetros	0,40	1,59	3,18	12,70

Presión PSI	Descarga CFM			
80	0,3	5,3	21,3	341,6
100	0,4	6,5	26,0	413,3
120	0,5	7,6	30,4	485,9

Presión PSI	Consumo de energía eléctrica KW			
80	0,07	1,07	4,26	68,32
100	0,08	1,29	5,19	82,67
120	0,10	1,52	6,08	97,19

Las pérdidas por escapes en instalaciones muy antiguas o descuidadas llegan a significar entre un 25% y un 30% de la capacidad del compresor, mientras los valores admisibles se encuentran por debajo de un 5% y en casos muy extremos 10% de pérdidas por fugas [11].

Es importante anotar que el costo de mantener las pérdidas por fugas dentro de estos valores siempre es mucho menor que lo que se perdería en una red descuidada.

## 5.8. PRESIÓN DE TRABAJO

Esta es la presión mínima a la que debe trabajar el sistema para asegurar la presión mínima requerida en todos los usuarios del sistema de aire comprimido.

Para determinar esta presión de trabajo se debe encontrar cuál es el equipo con las condiciones más críticas de trabajo, ya sea, el que trabaja a mayor presión o el que presenta mayor caída de carga en la tubería que lo alimenta, a esta línea de tubería se le conoce como ruta crítica

Una vez que se conoce cuál es el equipo más crítico, se debe sumar la presión de trabajo de ese equipo, las pérdidas en filtros y las pérdidas de presión en el secador; también se debe considerar la pérdida permisible por fricción en tuberías.

De esta manera se obtiene la presión mínima de trabajo del sistema como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_{min} = (P_{trab} + P_{atm} + P_{filtros} + P_{secador})(1 + CP)$$

Donde:

$P_{min}$ : Presión mínima requerida por el sistema [bar].

$P_{trab}$ : Presión máxima de trabajo de los equipos [bar].

$P_{atm}$ : Presión atmosférica [bar].

$P_{filtros}$ : Caída de presión debida a filtros (si los hubiera) [bar].

$P_{secador}$ : Caída de presión debido al secador (si lo hubiera) [bar].

$CP$ : Caída de presión permitida en el sistema. [%].

## 5.9. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

### MEDICIÓN DE PRESIÓN

La presión se define, como la componente normal de una fuerza, sobre un área determinada.

$$P = \frac{Fn}{S}$$

Donde:

***Fn*** Componente normal de la fuerza.

***S*** Superficie donde es aplicada la fuerza.

Los elementos de medición de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

#### ELEMENTO MECÁNICO

El tubo de Bourdon es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón.

#### ELEMENTO ELECTROMECAÁNICO

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

Los elementos electromecánicos de presión se clasifican en los siguientes tipos:

- Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas.
- Resistivos.
- Magnéticos.
- Capacitivos.
- Extensiométricos.
- Piezoeléctricos.

## MEDICIÓN DE CAUDAL

### MEDIDORES VOLUMÉTRICOS

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento) o indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

Hay que señalar que la medida del caudal volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido.

La fórmula de caudal obtenida con los elementos de presión diferencial se basa en la aplicación del teorema de Bernoulli (altura cinética + altura de presión + altura potencial = constante) a una tubería horizontal.

Ecuación de Bernoulli:

$$g\rho_1 Z_1 + P_1 + \frac{\rho_1 w_1^2}{2} = g\rho_2 Z_2 + P_2 + \frac{\rho_2 w_2^2}{2}$$

### 5.10. EQUIPO DE APOYO PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS

Para la detección puntual en los elementos neumáticos de las fugas es necesario apoyarse con elementos como sensor ultrasónico y jabones espumantes.

#### Sensor Ultrasónico

El sensor ultrasónico manual que detecta el ruido que provocan las fugas de aire comprimido en los equipos neumáticos, utiliza un sensor como se ve en la figura 7 y con la ayuda de unos micrófonos el técnico puede ir revisando las conexiones y equipos neumáticos de manera puntual.

Ventajas:

- Simplifica el uso cuando se utiliza en máquinas con poco espacio.
- Es fácil de operar.
- Práctico.
- Aplicación limpia.

Desventajas:

- Equipo costoso.
- Requiere de experiencia para su uso.
- No es conveniente su uso en ambientes con ruido.
- Poca precisión en la detección.



**Fig.7** Sensor de ultrasonido para detectar fugas en lugares silenciosos

### **Elemento espumoso**

Se utilizan líquidos o spray que se rocían sobre las partes sospechosas del equipo neumático y se observa si se produce burbujeo provocado por eventuales fugas de aire comprimido.

Ver figura 8. Actualmente por cuestiones ambientales muchos del spray están siendo retirados del mercado.

### **Ventajas:**

- Es un producto económico.
- Fácil de usar.
- Apropiado en ambientes ruidosos.
- Posibilidad de una rápida detección.



**Desventajas:**

- No es apropiado para ambientes de la industria alimenticia.
- Se dificulta su uso en máquinas con poco espacio.
- No profesional.



**Fig. 8.** Elemento espumoso para detectar fuga

## 6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se ejecutó en dos fases, utilizando el diseño experimental llevando a cabo las siguientes actividades.

- Diseño y construcción de prototipo para el sistema de medición. El prototipo estará compuesto por hardware y software para la captura, procesamiento y visualización de datos; se integrarán sensores de presión, caudal y corriente eléctrica. Los sensores a utilizar tienen conectores rápidos para facilitar su instalación. El sistema contará con un nodo central para la captura de datos y nodos de sensores distribuidos, conformando una red inalámbrica de sensores, usando las antenas RF Xbee.

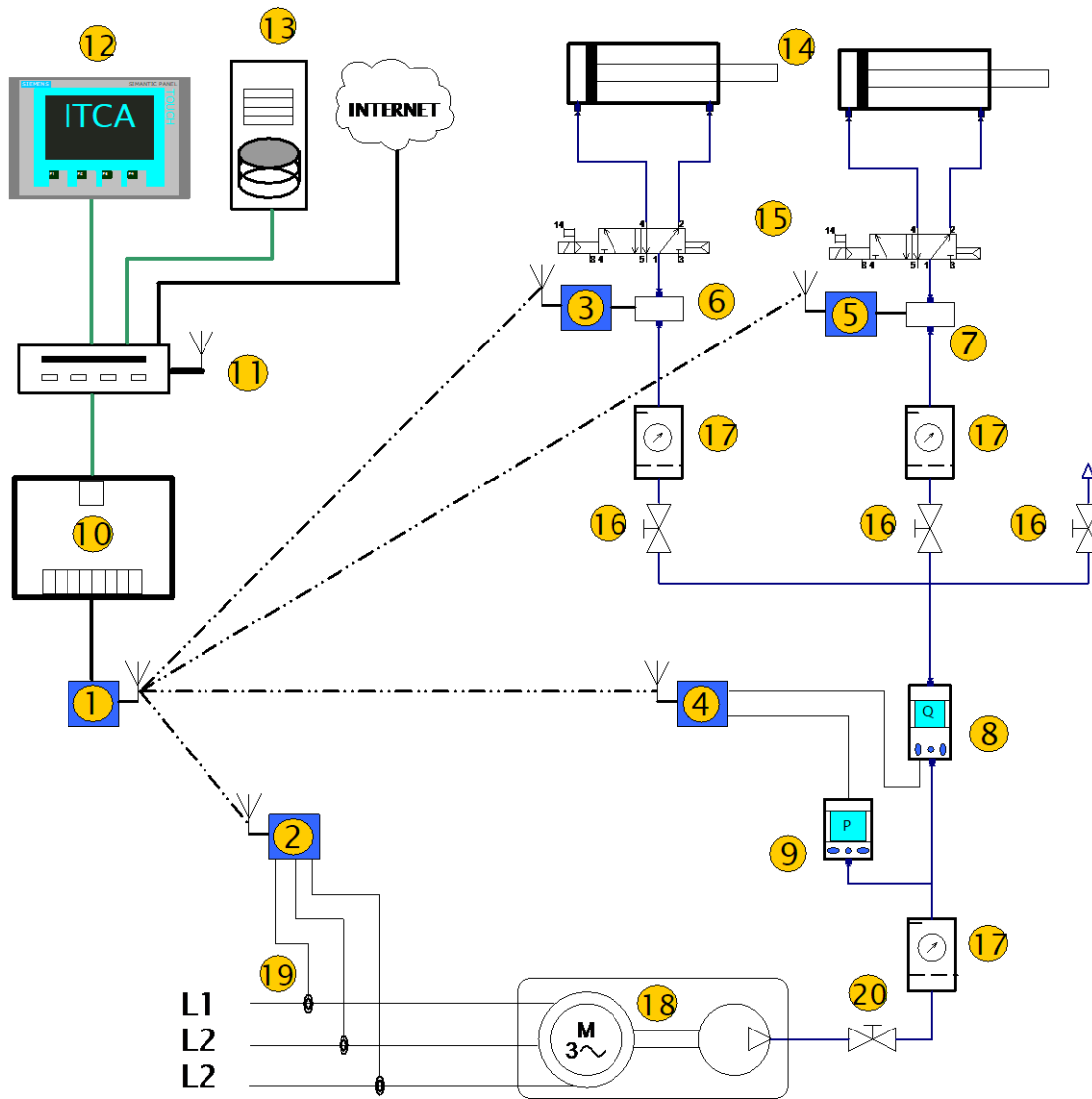
- Testeo del equipo en los laboratorios de ITCA: Para garantizar que el equipo funciona correctamente se debe hacer un testeo usando los módulos de neumática que se tienen en ITCA, experimentando con diferentes escenarios que permitan una pre validación del equipo.

### Matriz Metodológica

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS
1. Diseñar hardware modular con conectividad inalámbrica.	A1.Diseño de circuitos esquemáticos para acondicionar señales. A2.Diseño de PCB de la tarjeta acondicionadora de señales. A3.Montaje de componentes en PCB. A4.Programación de firmwares. A5. Configuración de red inalámbrica.	R1.Circuito esquemático para acondicionar las señales de los sensores R2.PCB para acondicionar las señales de los sensores R3.Tarjeta electrónica para transmisión de datos mediante red inalámbrica con el protocolo Zigbee
2.Aplicar la arquitectura de cuatro capas del IoT para el sistema de medición	A1.Construcción de prototipo. A2Prueba de prototipo en los laboratorios de ITCA. A3.Correcciones y ajustes finales al prototipo.	R1.Maleta para uso industrial con el sistema de medición integrado tecnologías para IoT. R2.Datos capturados por el sistema de medición R3. Gráficos de caudal, presión y energía.
3.Desarrollar una aplicación para determinar los costos en tiempo real de la energía consumida en la generación de aire comprimido	A1.Diseño de la arquitectura de software para la captura, almacenamiento y visualización de datos. A2.Creación de software para captura, almacenamiento y visualización de datos. A3.Análisis y Diseño del módulo de comunicación entre el hardware y software para la captación de variables físicas. A4. Diseño de reportes y gráficos a mostrar.	R1.Base de datos R2.Software para monitorear la presión y el consumo de aire comprimido en tiempo real. R3. Clase para interpretar señales de los sensores. R4.Software para cuantificar las pérdidas de aire comprimido y los costos asociados por el uso de energía eléctrica.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. DISEÑO DEL MODELO PARA IMPLEMENTAR IOT EN UNA INSTALACIÓN CON SISTEMAS NEUMÁTICOS



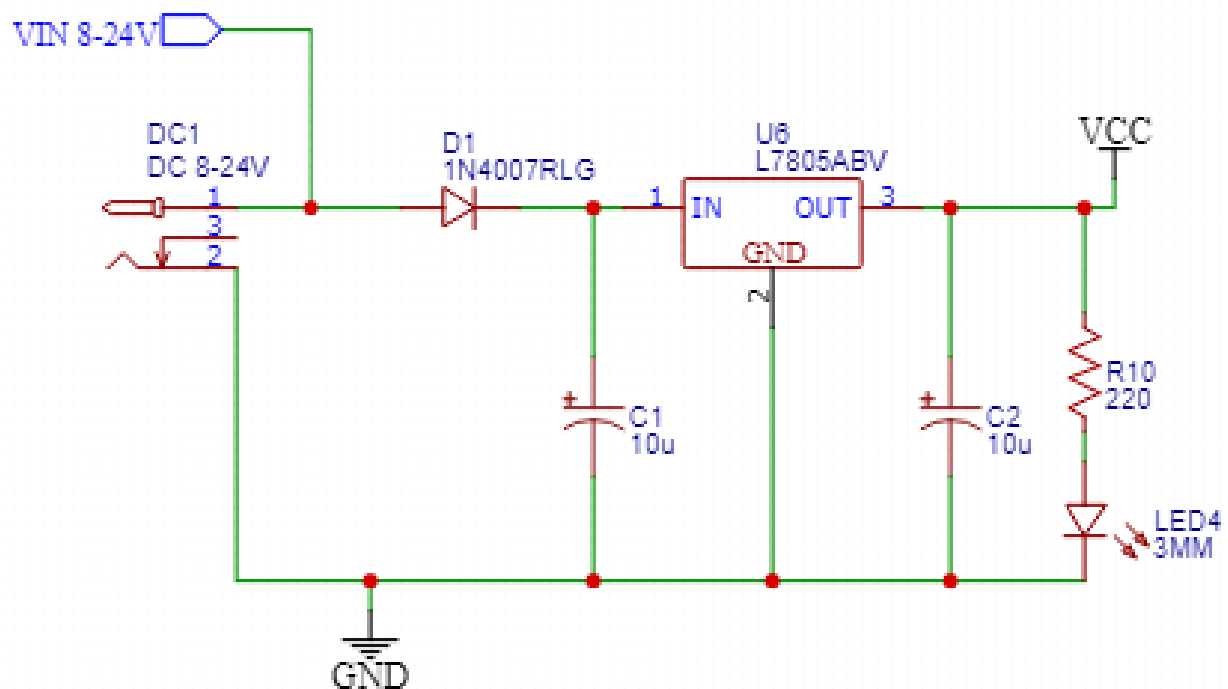
- |                                       |                       |  |
|---------------------------------------|-----------------------|--|
| 1. Nodo coordinador                   | 8. Sensor de caudal 3 | 15. Válvulas direccionales                     |
| 2. Nodo de sensores de corriente      | 9. Sensor de presión  | 16. Válvula de cierre para circuitos derivados |
| 3. Nodo de sensor de caudal 1         | 10. Gateway           | 17. Unidad de mantenimiento                    |
| 4. Nodo de sensor de caudal y presión | 11. Router            | 18. Fuente de aire comprimido                  |
| 5. Nodo de sensor de caudal 2         | 12. Monitor remoto    | 19. Sensores de corriente                      |
| 6. Sensor de caudal 1                 | 13. Servidor          | 20. Válvula de cierre principal                |
| 7. Sensor de caudal 2                 | 14. Actuadores        |  |

## 7.2. DISEÑO DEL HARDWARE PARA LA LECTURA DE SENSORES DE PRESIÓN Y CAUDAL

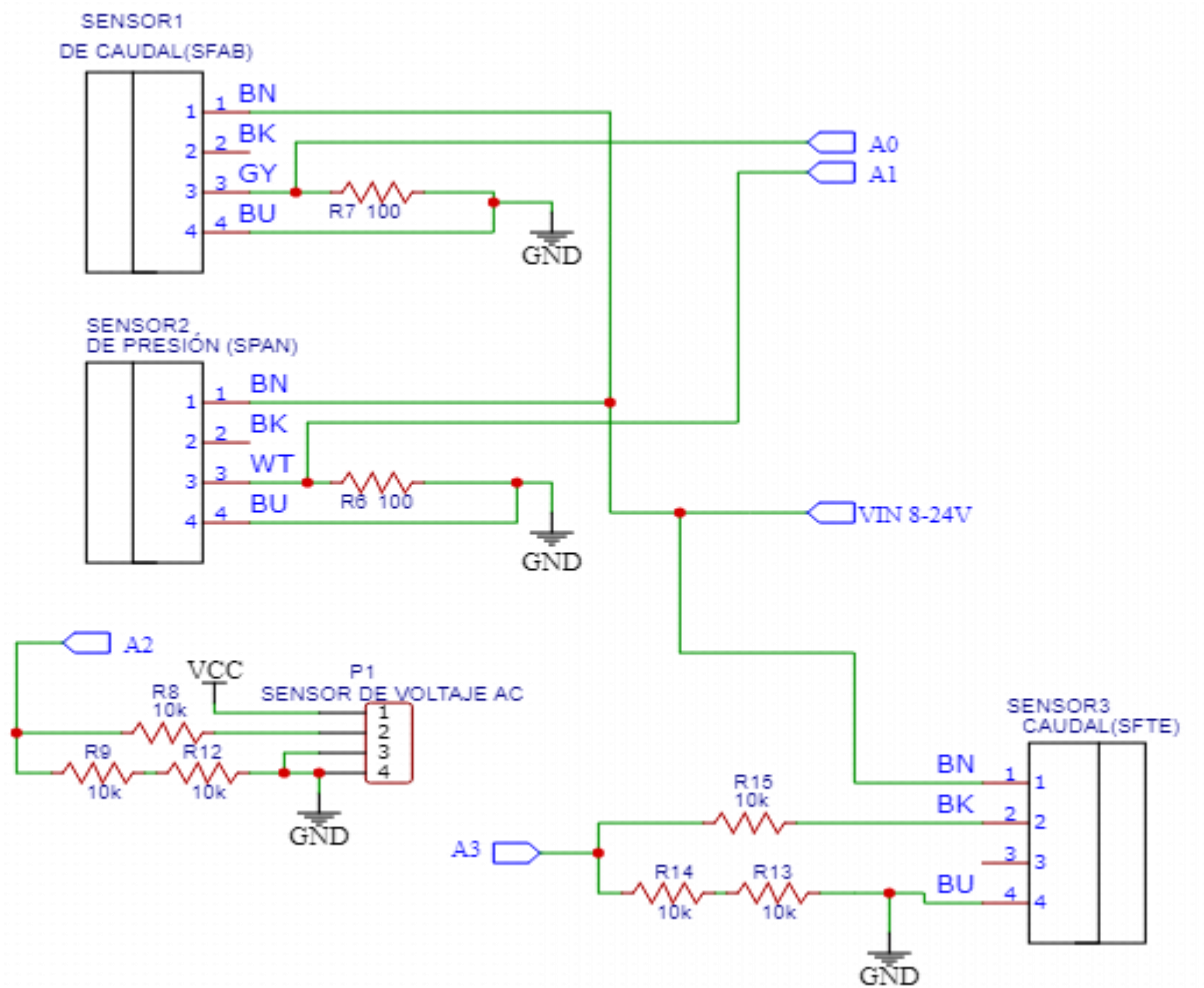
El hardware diseñado para la adquisición de datos consta de las siguientes partes:

- Fuente de alimentación y regulación de voltajes.
- Interfaz de sensores.
- Interfaz de transmisión de datos.
- Unidad de procesamiento con microcontrolador.

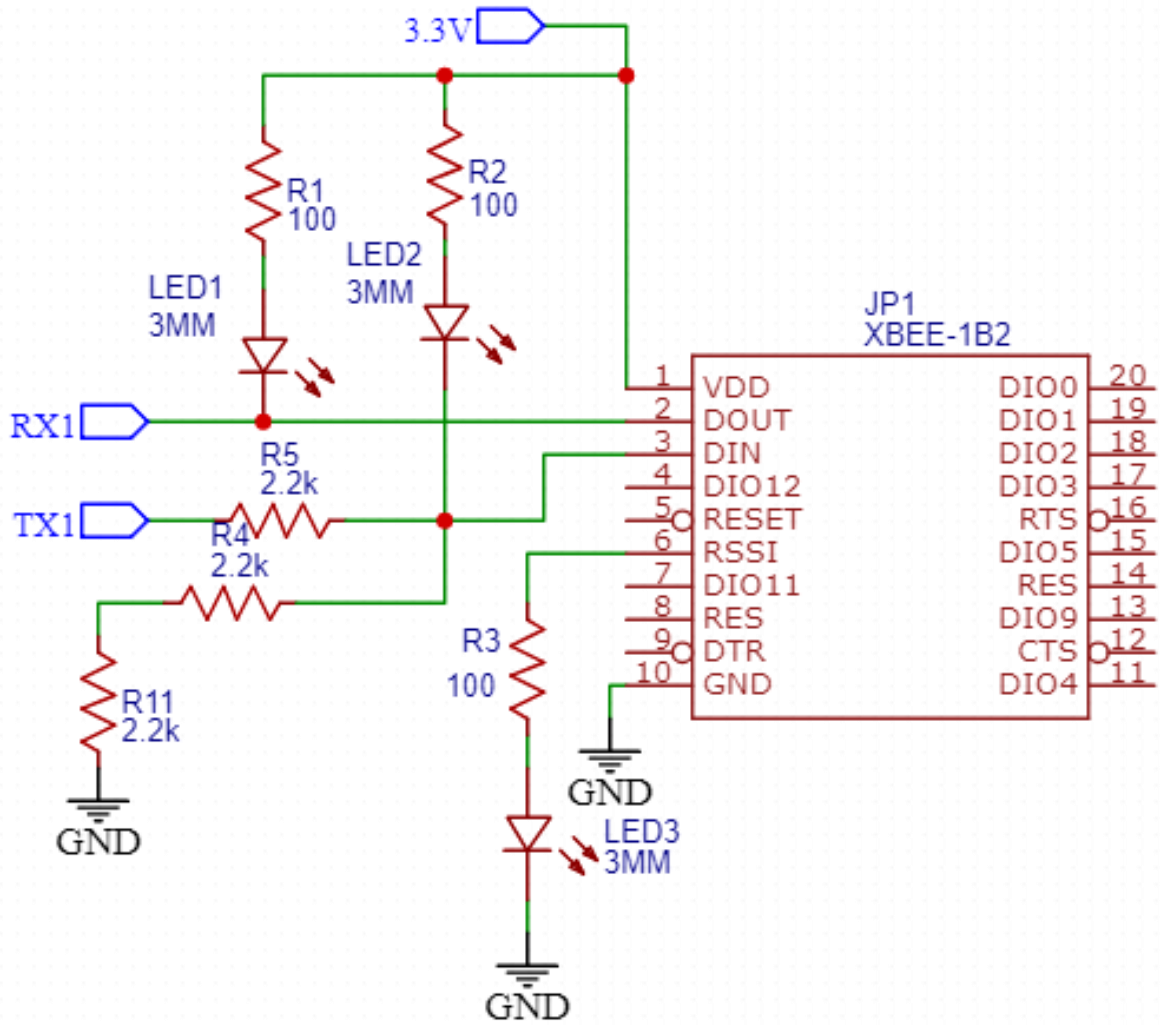
## 7.3. FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y REGULACIÓN DE VOLTAJES



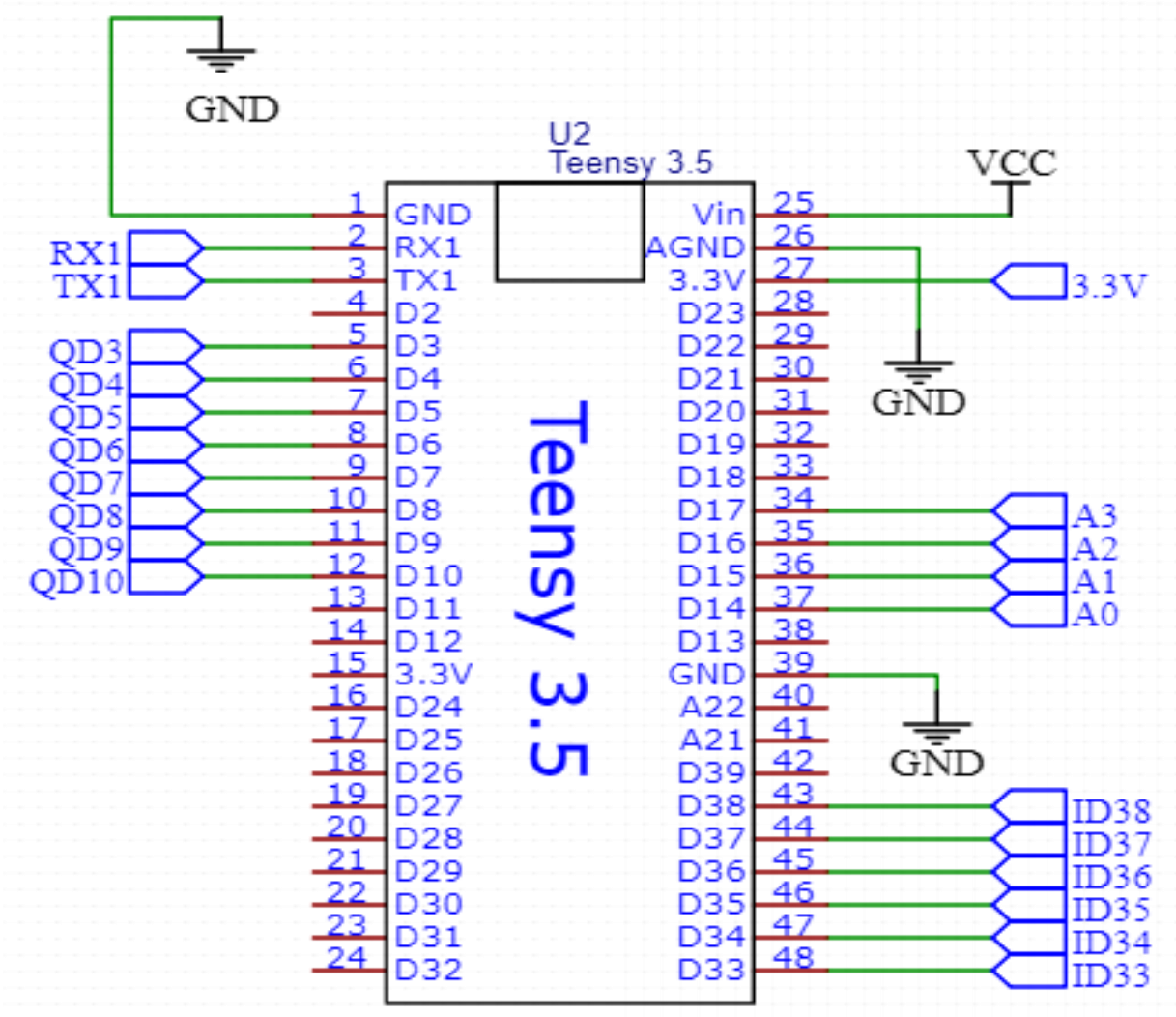
## 7.4. INTERFAZ DE SENSORES



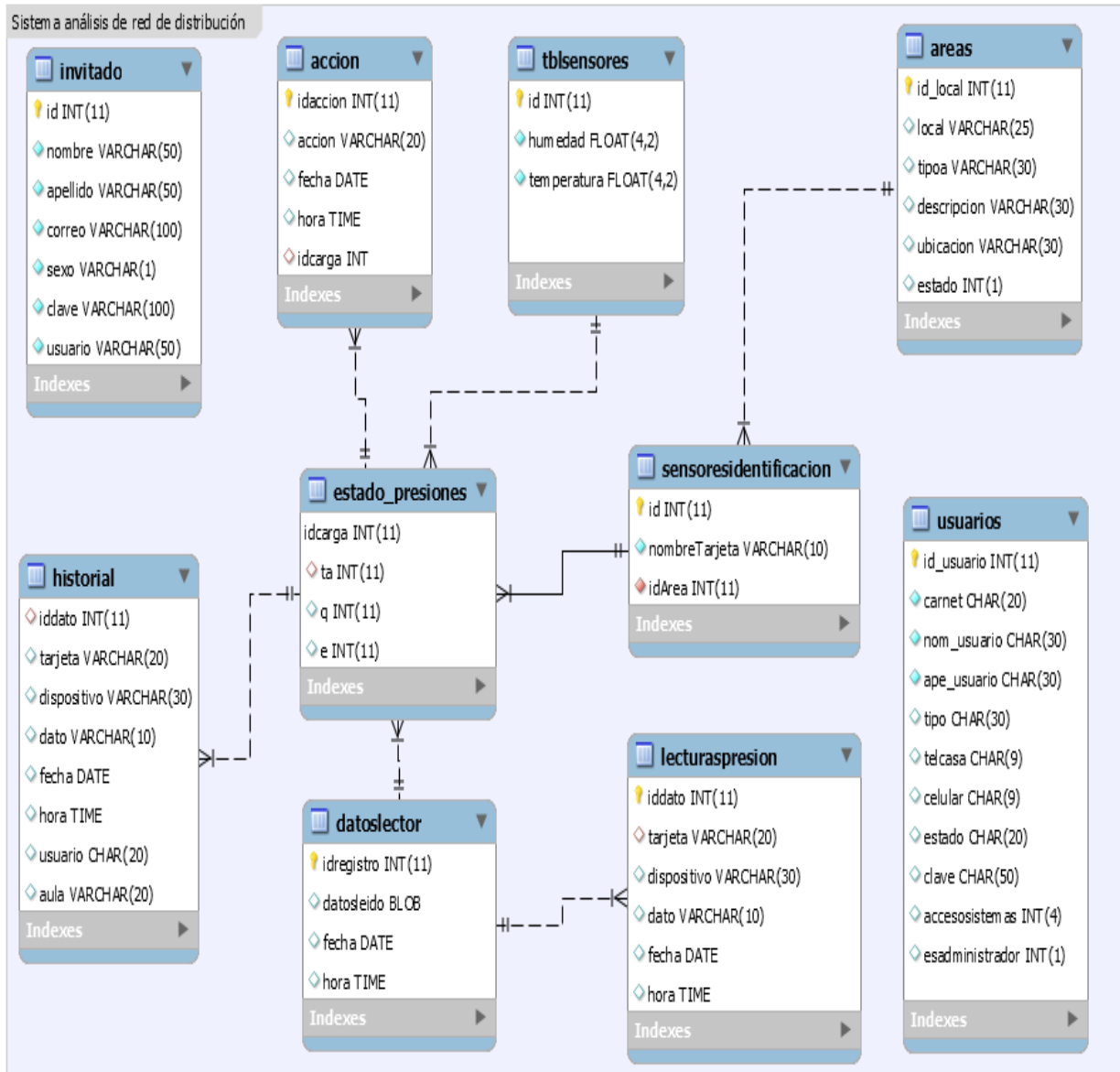
## 7.5. INTERFAZ DE TRANSMISIÓN DE DATOS



## 7.6. UNIDAD DE PROCESAMIENTO CON MICROCONTROLADOR

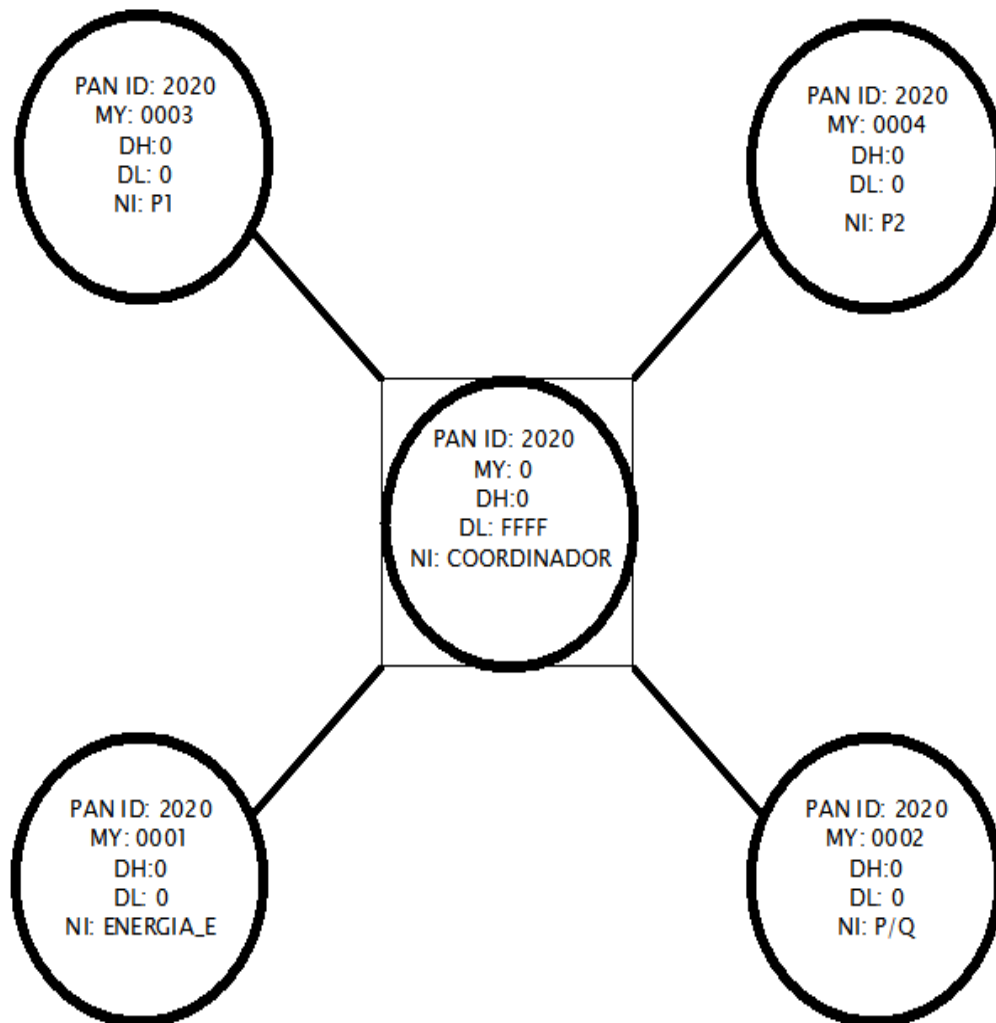


## 7.7. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS PARA LA GESTIÓN Y FLUJO DE LA INFORMACIÓN





## 7.8. MODELO Y CONFIGURACIÓN DE RED DE ÁREA PERSONAL (PAN)



## 8. CONCLUSIONES

1. Para que un sistema de medición se pueda acoplar al modelo de producción de la Industria 4.0, deben integrarse al menos cuatro elementos fundamentales como son los sensores, la red de comunicación, el almacenamiento de la información y la visualización gráfica de los datos.
2. En el proceso de medición para evaluar diferentes escenarios se deben tomar lecturas en una red con carga y repetir el proceso en vacío, es decir cuando todas las unidades que consumen aire comprimido están desconectadas.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Aplicar las normas IPC en el diseño de PCB, para futuras ampliaciones o mejoras en la tarjeta de adquisición de datos para los sensores de presión y caudal con el propósito de alcanzar altos niveles de calidad en el producto terminado.
2. En futuras mejoras al diseño del hardware incluir en la tarjeta dos convertidores de lazo de corriente (4mA -20mA) a un nivel de voltaje de 0 a 3V para facilitar el procesamiento de los datos con el microcontrolador del Teensy 3.5.

## 10. GLOSARIO

**NEUMÁTICA.** La palabra neumática proviene del griego “pneuma” que significa respiración, viento y desde el punto de vista filosófico significa alma. Se refiere al estudio del aire, como fuente de energía, aplicado a los sistemas de movimiento y control. Los sistemas de aire comprimido se utilizan para controlar el movimiento de actuadores y su aplicación se manifiesta en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc.

**FUGAS.** Las fugas. Son escapes o pérdidas no deseadas de flujo de aire comprimido. Causan una reducción de la presión del sistema originando una operación deficiente de la planta; Obligan a los compresores a generar y a los secadores a secar mayor cantidad de aire y a trabajar a mayor presión, originando mayor consumo de energía eléctrica, de repuestos y de servicio técnico, acortando a la vez, la vida útil de los equipos.

**CFM.** Piescúbicos por minuto (en inglés cubicfeet per minute, siglas CFPM o CFM) es una unidad de medida anglosajona (no incluida en el Sistema Internacional de Unidades), que mide el caudal o flujo de un gas o líquido, indicando el volumen, en pies cúbicos, que pasa por una sección determinada, en la unidad de tiempo.

**NORMAS IPC.** Las normas del IPC son una herramienta guía de las mejores prácticas de diseño, fabricación, ensamble, inspección de circuitos impresos o PCB (Printed Circuit Board), cables, conectores, insumos de soldadura, pruebas y muchos elementos más. Al aplicarlas ayudan a alcanzar altos niveles de calidad

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Héctor Corona, Ahorro de Energía en los Sistemas Neumáticos Industriales. Tecnológico de Monterrey, México, 2007.

[2] Héctor Corona, Reportes internos de estudios de consumo de aire comprimido para clientes. Festo Pneumatic, México, 2003-2007

[3] Dudić Slobodan, Milenkovic (Ignjatovic), Ivana Šešlija, Draga Blagojevic, Vladislav Stojiljković Miodrag, Leakage Quantification of Compressed air using Ultrasound and Infrared Thermography Elsevier, Servia, 2012.

[4] SDT Ultrasound Solution, Compressed Air-Leak Surveyor Handbook, third ed., SDT North America Ltd., Cobourg, 2009.

[5] UE Systems Inc., Ultraprobe 100 – User Manual, Elmsford, 2005.

[6] UE Systems Inc., Compressed Air, Ultrasonic Leak Detection Guide, Elmsford, 2005.

[7] S. Kleven, M. Blair, Limitations on the detection of casting discontinuities using ultrasonic and radiography, Mater. Eval. 10 (2003).

[8] Fluke, Ti20 Thermal Imager – Users Manual, Everett; 2006.

[9] Festo, Manual Aire Comprimido, Serie Blue Digest on Automation, 2002

[10] Narváez A. Francisco, Eficiencia Energética en Sistemas de aire Comprimido, Bogotá D.C., 2018.

[11] Jiménez Solís Emmanuel, Evaluación y Mejora del Sistema de Aire Comprimido de la Planta de Fibrocemento Plycem, Costa Rica, 2014

## 12. ANEXOS

### 12.1. SENSOR DE PRESIÓN SPAN-P10R-M5-PN-PNVBA-L1

#### Sensores de presión SPAN

FESTO



Programa básico de Festo  
Resuelve el 80% de sus tareas de automatización

El programa básico de Festo es una selección previa de las funciones y los productos más importantes, y forma parte de nuestra gama de productos completa.

En todo el mundo: Rápida disponibilidad, también a largo plazo

Convincente: Siempre con la calidad de Festo

Rápida: Selección sencilla

En el programa básico encontrará la mejor relación calidad-precio para su automatización.

¡Busque la  
estrella!

## Características

### Información resumida

#### Interfaz de comunicación



#### Forma constructiva práctica

- Diseño compacto 30 x 30 mm
- Grado de protección IP40
- Reducción del peso con QS4

#### Medición de presión universal

- Presión y vacío
- 14 márgenes de medición de presión
- Todas las unidades de presión habituales
- Informe de ensayo opcional



#### Manejo sencillo

- Visualización clara
- Cambio configurable de la pantalla completa a color rojo
- Guía de menú intuitiva

#### Instalación rápida

- Conector L1 para una rápida puesta en funcionamiento
- Los adaptadores eléctricos M8 permiten una flexibilidad máxima
- Diversas posibilidades de montaje
- Conector rápido QS4

#### Salidas eléctricas conmutables

- Diferentes funciones de conmutación
- Salidas de conmutación (PNP/NPN, NO/NC)
- Salidas analógicas (0 ... 10 V, 1 ... 5 V, 4 ... 20 mA)

#### Descripción del producto

El sensor de presión SPAN está diseñado para la supervisión de aire comprimido y gases no corrosivos. Gracias a su diseño compacto, este sensor puede utilizarse en muchos campos. El procedimiento de medición se basa en una célula piezorresistiva para la medición de la presión relativa. En función de la variante de sensor y de los parámetros seleccionados, el valor de la presión se transmite al controlador conectado como señal de conmutación, señal analógica o a través de IO-Link.

#### Ámbito de aplicación

- Supervisión de la red (presión disponible)
- Supervisión del regulador (presión en el margen nominal)
- Vacío (pieza aspirada)
- Comprobación de hermeticidad (caída de presión en el tiempo)
- Detección de objetos (presión dinámica presente)

#### Funciones

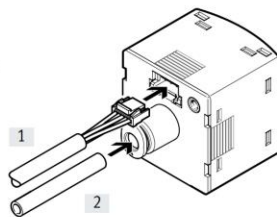
- Supervisión y ajuste de un umbral de presión, un margen de presión o una supervisión de la diferencia de presión con función Teach-In o a través de la entrada de datos
- Función ECO mediante el ajuste de la desconexión de la pantalla
- Código de seguridad opcional y configurable (4 dígitos)
- Filtro paso bajo ajustable para el alisado de la señal de presión
- Escalado de la salida analógica para aumentar la dinámica de señales
- Compensación de offset opcional
- Memoria de valores mín./máx. para supervisar el aire comprimido
- Todos los ajustes que se han realizado en un sensor (maestro) se pueden transferir (replicar) a sensores con la misma construcción (dispositivos)

#### Variantes con IO-Link

- Comunicación serie a través de IO-Link 1.1 integrada
- Transmisión cíclica de dos estados de conmutación y del valor de medición de presión
- Es posible la parametrización remota del sensor utilizando un maestro IO-Link
- Cambio sencillo del sensor con parametrización automática (hot-swap)
- Posibilidad de identificación de sensores, diagnosis y Teach-in a través de IO-Link

#### Conexión en 2 pasos

- [1] Introducir el conector L1
- [2] Introducir el tubo flexible



## Características

### Posibilidades de montaje

Montaje en panel frontal



Montaje en serie con escuadra de fijación



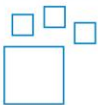
Montaje roscado con adaptador M8



Montaje mural



### Referencias de pedido: opciones del producto



Producto configurable  
Este producto y todas sus opciones de producto pueden solicitarse a través del software de configuración.

Encontrará el software de configuración en el DVD, en Productos, o  
→ [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

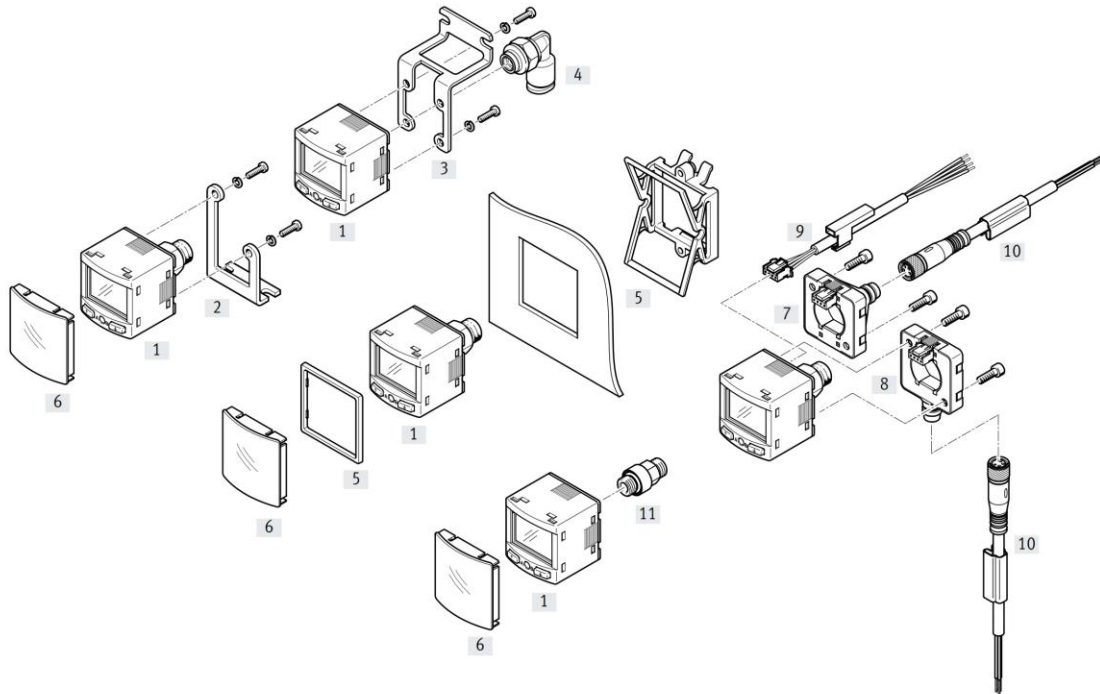
N.º art.	Tipo
8003300	SPAN

## Sensores de presión SPAN

### Cuadro general del producto

	<b>Variante básica</b> SPAN-B-...-PN-...	<b>Variante estándar Conmutador</b> SPAN-...-PN-PN-...	<b>Variante estándar IO-Link/salida analógica</b> SPAN-...-PNLK-PNVBA-...
Margen de presión	V1R, B2R, B11R	V1R, P10, B2R, B11R	Todos posibles véase margen de medición de presión de códigos del producto
Salida de conmutación	1	2	2
Salida analógica	–	–	Sí
IO-Link	–	–	Sí
Unidades representables	6	9	9
Monitorización automática de la diferencia	–	Sí	Sí
Conexión de presión	G18M/ R18M	Latón niquelado, corta sin rosca interior M5	Acero inoxidable, larga con rosca interior M5
	N18M-	–	Acero inoxidable, larga con rosca interior M5
	G18F-	Polímero	Acero inoxidable
	M5F	Aluminio	Acero inoxidable
	QS4-	Polímero/acero inoxidable	Polímero/latón
Rosca de fijación para accesorios	Polímero	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Informe de ensayo	–	Sí	Sí

Cuadro general de periféricos



Accesorios		→ Página	Accesorios		→ Página
[1]	Sensores de presión SPAN-/SPAN-B-	7	[7]	Adaptador eléctrico SASC-P4-A-M8-S	17
[2]	Escuadra de fijación SAMH-PU-A	15	[8]	Adaptador eléctrico SASC-P4-A-M8-A	17
[3]	Montaje mural SAMH-PN-W	15	[9]	Cable de conexión NEBS-L1G4	19
[4]	Racor rápido roscado QSML-M5	19	[10]	Cable de conexión NEBU-M8	19
[5]	Kit de montaje en panel SAMH-PN-F	16	[11]	Adaptador (para -G18FPM- con adaptador eléctrico) SASA-PN-A-MG18	18
[6]	Cubierta de protección SACC-PN-G	16			



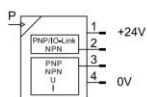
## Sensores de presión SPAN

### Códigos del producto

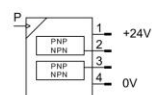
<b>001</b>	<b>Serie</b>		<b>008</b>	<b>Salida eléctrica 1</b>	
<b>SPAN</b>	Sensor de presión		<b>PN</b>	PNP/NPN	
			<b>PNLK</b>	PNP/NPN/IO-Link	
<b>002</b>	<b>Versión del producto</b>		<b>009</b>	<b>Salida eléctrica 2</b>	
	Estándar			Sin	
<b>B</b>	Base		<b>PN</b>	PNP o NPN	
			<b>PNVBA</b>	PNP o NPN o 0...10 V o 1...5 V o 4...20 mA	
<b>003</b>	<b>Margen de medición de presión</b>		<b>010</b>	<b>Conexión eléctrica</b>	
<b>B2</b>	-1 ... 1 bar		<b>L1</b>	Conector de forma constructiva L1	
<b>B02</b>	De -0,1 a 0,1 bar		<b>011</b>	<b>Accesorios de montaje</b>	
<b>B11</b>	-1 ... 10 bar			Sin	
<b>P025</b>	0 ... 0,25 bar		<b>A</b>	Escuadra de fijación	
<b>P05</b>	0 ... 0,5 bar		<b>W</b>	Montaje mural	
<b>P1</b>	0 ... 1 bar		<b>FP</b>	Kit de montaje en panel	
<b>P2</b>	0 ... 2 bar		<b>012</b>	<b>Adaptador eléctrico</b>	
<b>P6</b>	0 ... 6 "			Sin	
<b>P10</b>	0 ... 10 bar		<b>EA</b>	Adaptador eléctrico, acodado	
<b>P12</b>	0 ... 12 bar		<b>ES</b>	Adaptador eléctrico, recto	
<b>P16</b>	0 ... 16 bar		<b>013</b>	<b>Accesorios eléctricos</b>	
<b>V025</b>	0 ... -0,25 bar			Sin	
<b>V05</b>	0 ... -0,5 bar		<b>5S</b>	Zócalo recto, cable de 5 m	
<b>V1</b>	0 ... -1 bar		<b>2.5S</b>	Zócalo recto, cable de 2,5 m	
<b>004</b>	<b>Entrada de presión</b>		<b>5A</b>	Conector acodado, cable de 5 m	
<b>R</b>	Presión relativa		<b>2.5A</b>	Conector acodado, cable de 2,5 m	
<b>005</b>	<b>Conexión neumática</b>		<b>014</b>	<b>Dispositivos de protección</b>	
<b>G18</b>	G1/8			Sin	
<b>R18</b>	R1/8		<b>G</b>	Cubierta para válvula de pedal	
<b>N18</b>	1/8 NPT		<b>015</b>	<b>Certificado</b>	
<b>M5</b>	M5			Sin	
<b>Q4</b>	Racor de conexión de 4 mm		<b>T</b>	Informe de ensayo	
<b>006</b>	<b>Tipo de rosca</b>				
	Sin				
<b>F</b>	Interior				
<b>M</b>	Exterior				
<b>007</b>	<b>Material de la rosca</b>				
	Estándar				
<b>AL</b>	Aluminio				
<b>PM</b>	Polímero				

## Hoja de datos

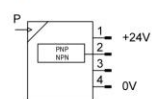
Variante con IO-Link y salidas analógicas ... -PNLK-PNVBA



Variante con 2 salidas de conmutación ... -PN-PN



Variante con 1 salida de conmutación ... -B-...-PN



- Diseño compacto 30x30
- 14 márgenes de medición de presión de -1 ... +16 bar a elegir
- Tensión 12/24 V DC
- Margen de temperatura 0 ... +50 °C
- Grado de protección IP40



### Especificaciones técnicas generales

Certificación	RCM c UL us - Listed (OL) <sup>1)</sup>
Organismo que expide el certificado	UL E322346
Marcado CE (véase la declaración de conformidad)	Según la Directiva sobre CEM de la UE En conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)
Marcado KC	KC-CEM
Conformidad PWIS	VDMA24364-B1/B2-L
Nota sobre los materiales	En conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)

1) No válido para SPAN-B

Señal de entrada, elemento de medición	-B02	-B2	-B11	-V025	-V05	-V1	-P025	-P05	-P1	-P2	-P6	-P10	-P12	P16	
Magnitud medida	Presión relativa														
Procedimiento de medición	Sensor de presión piezorresistivo														
Valor inicial del margen de medición de presión	[MPa]	-0,01	-0,1	-0,1	0										
	[bar]	-0,1	-1	-1	0										
	[psi]	-1,45	-14,5	-14,5	0										
Valor final del margen de medición de presión	[MPa]	0,01	0,1	1	-0,025	-0,05	-0,1	0,025	0,05	0,1	0,2	0,6	1	1,2	
	[bar]	0,1	1	10	-0,25	-0,5	-1	0,25	0,5	1	2	6	10	12	
	[psi]	1,45	14,5	145	-3,62	-7,25	-14,5	3,62	7,25	14,5	29	87	145	174	
Presión máx. de sobrecarga	[MPa]	0,1	0,5	1,5	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	0,6	1,5	1,5	2,0	
	[bar]	1	5	15	1	2	5	1	2	5	6	15	15	20	
	[psi]	14,5	72,5	217,5	14,5	29	72,5	14,5	29	72,5	87	217,5	217,5	290	
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4-4] Gases inertes														
Nota sobre el medio de funcionamiento/mando	Es posible el funcionamiento con presencia de aceite														
Temperatura del medio	[°C]	0 ... +50													
Temperatura ambiente	[°C]	0 ... +50													
Salida, datos generales	-B02	-B2	-B11	-V025	-V05	-V1	-P025	-P05	-P1	-P2	-P6	-P10	-P12	P16	
Precisión FS	[%]	±1,5													±2
Precisión de repetición	[%]	±0,3													
Coefficiente de temperatura	[% FS/K]	±0,05 <sup>1)</sup>													

1) Para SPAN-B ±0,1 [%FS/K]

## Sensores de presión SPAN

### Hoja de datos

Salida de conmutación			
SPAN-...	-PNLK-PNVBA	-PN-PN	-B-...-PN
Salida de conmutación	Conmutable entre 2 x PNP o 2 x NPN		Conmutable entre 1 x PNP/NPN
Función de conmutación	Comparador de márgenes		
	Comparador de valores umbral		
	Monitorización automática de la diferencia		-
Función del elemento de conmutación	Conmutable entre normalmente cerrado y normalmente abierto		
Corriente de salida máx. [mA]	100		80
Resistencia a cortocircuitos	Sí		

Salida analógica			
SPAN-...	-PNLK-PNVBA	-PN-PN	-B-...-PN
Salida analógica	[V]	0 ... 10	-
	[V]	1 ... 5	-
	[mA]	4 ... 20	-
Resistencia de carga máx. en salida de corriente	[Ω]	500	-
Resistencia de carga mín. en salida de tensión	[kΩ]	20	-

Dispositivo IO-Link según IEC 61131-9	
SPAN-...	-PNLK
Protocolo	IO-Link
IO-Link	
Versión de protocolo	Dispositivo V 1.1
Perfil	Smart sensor profile
Clases de función	Canal de datos binarios (BDC)
	Variable de datos de proceso (PDV)
	Identificación
	Diagnóstico
	Teach channel
Communication mode	COM2 (38,4 kBaud)
Compatibilidad con el modo SIO	Sí
Port class	A
Ancho de banda de datos de proceso OUT	0 bytes
Ancho de banda de datos de proceso IN	2 bytes
Contenido de datos de proceso IN	PDV (valor de medición de presión) de 14 bits
	BDC (supervisión de la presión) de 2 bits
Duración mínima del ciclo	3 ms
Memoria de datos necesaria	0,5 Kbytes

Electrónica		SPAN-...	SPAN-B-...
Margen de tensión de funcionamiento DC [V]		15 ... 30	10,8 ... 30
Protección contra inversión de polaridad		Para todas las conexiones eléctricas	
Conexión eléctrica		Conector rectangular de 4 pines	

Asignación de conectores			
	Pin	Color del hilo	Asignación
	1	Marrón	Tensión de funcionamiento +24 V DC
	2	Negro	Salida de conmutación A / IO-Link
	3	Bianco	Salida de conmutación B / salida analógica / no conectado
	4	Azul	0 V DC

## Hoja de datos

<b>Mecánica</b>		-G18M	-R18M	-N18M	-G18F	-M5F	-Q4
SPAN							
Tipo de fijación	Con rosca Montaje en panel frontal Con soporte para pared/superficies						-
Conexión neumática	Rosca interior M5 (no para SPAN-B-...)			Rosca interior G1/8	Rosca interior M5	Para tubo flexible con diámetro exterior de 4 mm	
	Rosca exterior G1/8	Rosca exterior R1/8	Rosca exterior 1/8NPT	-	-	-	
Peso del producto	[g]	46			34		25
	SPAN-B-... [g]	31			21		
Posición de montaje	Indistinta						
Información sobre el material del cuerpo	PA reforzado						

Materiales en contacto con los fluidos		SPAN					SPAN-B					
Conexión neumática		-Q4	-M5F	-G18M	-R18M	-N18M	-G18F	-Q4	-M5F	-G18M	-R18M	-G18F
Aleación forjada de aluminio anodizado									*			
Acero inoxidable de alta aleación		*	*	*	*	*	*					
Latón, niquelado										*	*	
PA reforzado		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
FPM		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NBR		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

<b>Indicación/manejo</b>		-PNLK	-PN-PN	-B-...PN
SPAN				
Tipo de display	LCD retroiluminado			
Unidades representables <sup>1)</sup>	MPa			
	kPa			
	bar			
	mbar			-
	psi			
	inchH <sub>2</sub> O			-
	inchHg			
	kgf/cm <sup>2</sup>			-
Posibilidades de ajuste	mmHg			
	Teach-In			
	IO-Link		-	-
Seguridad frente a manipulaciones	Pantalla y pulsadores			
	IO-Link		-	-
	Código PIN			
Margen de ajuste para valores umbral	[%]	0 ... 100		
Margen de ajuste de histéresis	[%]	0 ... 90		

1) En función del margen de medición de presión

<b>Inmisiones y emisiones</b>	
Grado de protección	IP40
Clase de resistencia a la corrosión CRC <sup>1)</sup>	2

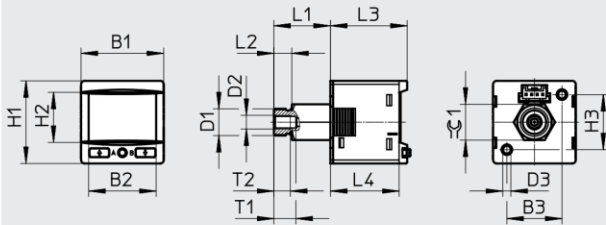
1) Clase de resistencia a la corrosión 2 según la norma Festo 940070  
Componentes con exposición moderada a la corrosión. Piezas exteriores visibles, con características principalmente decorativas en la superficie, que se encuentran en contacto directo con atmósferas o medios usuales en entornos industriales, tales como refrigerantes y lubricantes.

## Sensores de presión SPAN

### Hoja de datos

#### Dimensiones

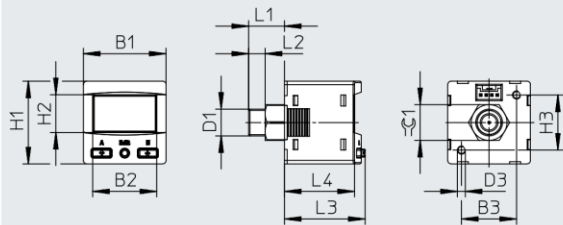
Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)



Código del producto	B1	B2	B3	D1	D2	D3	H1	H2	H3	L1	L2	L3	L4	T1	T2	⌀1
SPAN- ...-G18M-...	30	24,5	20	G1/8	M5	M3	30	18,2	20	20,5	6,5	~27,9	~25,3	8	6	13
SPAN- ...-R18M-...				R1/8						22	8					
SPAN- ...-N18M-...				1/8 NPT						23,5	9,5					

#### Dimensiones

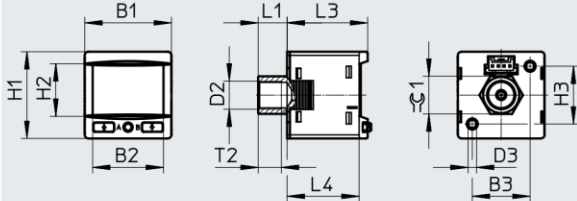
Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)



Código del producto	B1	B2	B3	D1	D2	D3	H1	H2	H3	L1	L2	L3	L4	⌀1
SPAN-B- ...-G18M-...	30	23,2	20	G1/8	-	M3	30	13,7	20	13	6	~29,3	~25,3	10
SPAN-B- ...-R18M-...				R1/8						14	8			

#### Dimensiones

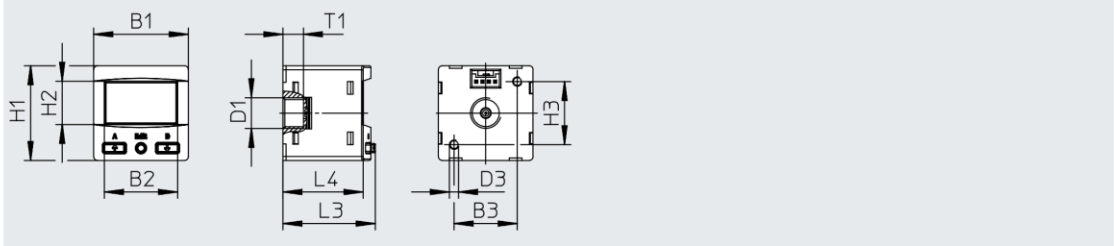
Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)



Código del producto	B1	B2	B3	D2	D3	H1	H2	H3	L1	L3	L4	T2	⌀1
SPAN- ...-G18F-...	30	24,5	20	G1/8	M3	30	18,2	20	10	~27,9	~25,3	8	13

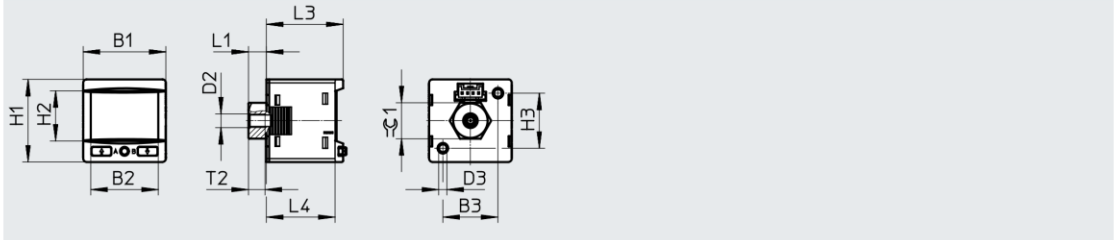
Hoja de datos

Dimensiones Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)



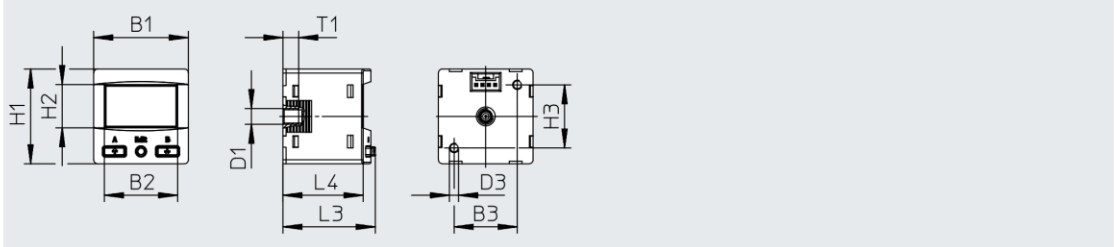
Código del producto	B1	B2	B3	D1	D3	H1	H2	H3	L3	L4	T1
SPAN-B...-G18FPM...	30	23,2	20	G1/8	M3	30	13,7	20	-29,3	-25,3	6,5

Dimensiones Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)



Código del producto	B1	B2	B3	D2	D3	H1	H2	H3	L1	L3	L4	T2	$\leq G1$
SPAN-...-M5F...	30	24,5	20	M5	M3	30	18,2	20	6,5	-27,9	-25,3	6	13

Dimensiones Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)

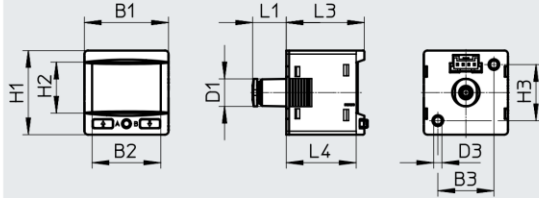


Código del producto	B1	B2	B3	D1	D3	H1	H2	H3	L3	L4	T1
SPAN-B...-M5FAL...	30	23,2	20	M5	M3	30	13,7	20	-29,3	-25,3	5

Hoja de datos

Dimensiones

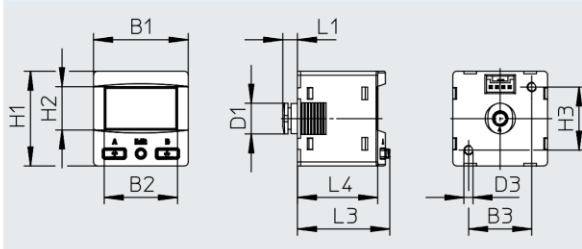
Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)



Código del producto	B1	B2	B3	D1 ∅	D3	H1	H2	H3	L1	L3	L4
SPAN-...-Q4-...	30	24,5	20	9,8	M3	30	18,2	20	12	~27,9	~25,3

Dimensiones

Descarga de datos CAD → [www.festo.com](http://www.festo.com)



Código del producto	B1	B2	B3	D1	D3	H1	H2	H3	L1	L3	L4
SPAN-B-...-Q4-PN-...	30	23,2	20	9,8	M3	30	13,7	20	4,6	~29,3	~25,3

## Hoja de datos

## ★ Programa básico

Referencias de pedido			Conexión neumática	N.º art.	Código del producto
Salida eléctrica					
Salida de conmutación	Salida analógica	Interfaz serie			
<b>Margen de medición de presión -1 ... +1 bar</b>					
Conmutable entre 2 x PNP/NPN	-	-	G1/8 exterior, M5 interior	★ 8035545	SPAN-B2R-G18M-PN-PN-L1
			R1/8 exterior, M5 interior	★ 8035548	SPAN-B2R-R18M-PN-PN-L1
			M5 interior	★ 8035551	SPAN-B2R-M5F-PN-PN-L1
<b>Margen de medición de presión 0 ... +10 bar</b>					
Conmutable entre 2 x PNP/NPN	-	-	G1/8 exterior, M5 interior	★ 8035544	SPAN-P10R-G18M-PN-PN-L1
			R1/8 exterior, M5 interior	★ 8035547	SPAN-P10R-R18M-PN-PN-L1
<b>Referencias de pedido</b>					
Salida eléctrica			Conexión neumática	N.º art.	Código del producto
Salida de conmutación	Salida analógica	Interfaz serie			
<b>Margen de medición de presión 0 ... -1 bar</b>					
Conmutable entre 2 x PNP/NPN	-	-	G1/8 exterior, M5 interior	8035546	SPAN-V1R-G18M-PN-PN-L1
			R1/8 exterior, M5 interior	8035549	SPAN-V1R-R18M-PN-PN-L1
			Racor de conexión de 4 mm	8035554	SPAN-V1R-Q4-PN-PN-L1
	0 ... 10 V, 1 ... 5 V 4 ... 20 mA Conmutable	IO-Link	G1/8 exterior, M5 interior	8035535	SPAN-V1R-G18M-PNLK-PNVBA-L1
			R1/8 exterior, M5 interior	8035538	SPAN-V1R-R18M-PNLK-PNVBA-L1
			Racor de conexión de 4 mm	8035543	SPAN-V1R-Q4-PNLK-PNVBA-L1
<b>Margen de medición de presión -1 ... +1 bar</b>					
Conmutable entre 2 x PNP/NPN	0 ... 10 V, 1 ... 5 V 4 ... 20 mA Conmutable	IO-Link	Racor de conexión de 4 mm	8035553	SPAN-B2R-Q4-PN-PN-L1
			G1/8 exterior, M5 interior	8035534	SPAN-B2R-G18M-PNLK-PNVBA-L1
			R1/8 exterior, M5 interior	8035537	SPAN-B2R-R18M-PNLK-PNVBA-L1
			M5 interior	8035540	SPAN-B2R-M5F-PNLK-PNVBA-L1
			Racor de conexión de 4 mm	8035542	SPAN-B2R-Q4-PNLK-PNVBA-L1
<b>Margen de medición de presión 0 ... +10 bar</b>					
Conmutable entre 2 x PNP/NPN	-	-	M5 interior	8035550	SPAN-P10R-M5F-PN-PN-L1
			Racor de conexión de 4 mm	8035552	SPAN-P10R-Q4-PN-PN-L1
			G1/8 interior	8134896	SPAN-P10R-G18F-PN-PN-L1
	0 ... 10 V, 1 ... 5 V 4 ... 20 mA Conmutable	IO-Link	G1/8 exterior, M5 interior	8035533	SPAN-P10R-G18M-PNLK-PNVBA-L1
			R1/8 exterior, M5 interior	8035536	SPAN-P10R-R18M-PNLK-PNVBA-L1
			G1/8 interior	8134897	SPAN-P10R-G18F-PNLK-PNVBA-L1
			M5 interior	8035539	SPAN-P10R-M5F-PNLK-PNVBA-L1
			Racor de conexión de 4 mm	8035541	SPAN-P10R-Q4-PNLK-PNVBA-L1
<b>Margen de medición de presión -1 ... +10 bar</b>					
Conmutable entre 2 x PNP/NPN	-	-	R1/8 exterior, M5 interior	8134891	SPAN-B11R-R18M-PN-PN-L1
			G1/8 exterior, M5 interior	8134892	SPAN-B11R-G18M-PN-PN-L1
			M5 interior	8134893	SPAN-B11R-M5F-PN-PN-L1
	0 ... 10 V, 1 ... 5 V 4 ... 20 mA Conmutable	IO-Link	Racor de conexión de 4 mm	8134894	SPAN-B11R-Q4-PN-PN-L1
			G1/8 exterior, M5 interior	609149	SPAN-B11R-G18M-PNLK-PNVBA-L1
			R1/8 exterior, M5 interior	609554	SPAN-B11R-R18M-PNLK-PNVBA-L1
			M5 interior	610282	SPAN-B11R-M5F-PNLK-PNVBA-L1
			Racor de conexión de 4 mm	8134895	SPAN-B11R-Q4-PNLK-PNVBA-L1



## Sensores de presión SPAN

### Hoja de datos de SPAN-B

Referencias de pedido						
Salida eléctrica	Accesorios	Conexión neumática	N.º art.	Código del producto		
Salida de conmutación	Cable de conexión					
<b>Margen de medición de presión 0 ... -1 bar</b>						
Conmutable entre 1 x PNP/NPN	-	G1/8 exterior	8114752	SPAN-B-V1R-G18M-PN-L1		
		R1/8 exterior	8114755	SPAN-B-V1R-R18M-PN-L1		
		M5 interior	8114758	SPAN-B-V1R-M5FAL-PN-L1		
		Diámetro exterior del tubo flexible de 4 mm	8114761	SPAN-B-V1R-Q4-PN-L1		
		G1/8 interior	8114764	SPAN-B-V1R-G18FPM-PN-L1		
		G1/8 exterior	8114767	SPAN-B-V1R-G18M-PN-L1+2.5S		
		R1/8 exterior	8114770	SPAN-B-V1R-R18M-PN-L1+2.5S		
	NEBS-L1G4-K-2,5-LE4	M5 interior	8114773	SPAN-B-V1R-M5FAL-PN-L1+2.5S		
		Diámetro exterior del tubo flexible de 4 mm	8114776	SPAN-B-V1R-Q4-PN-L1+2.5S		
		G1/8 interior	8114779	SPAN-B-V1R-G18FPM-PN-L1+2.5S		
		<b>Margen de medición de presión -1 ... +1 bar</b>				
		Conmutable entre 1 x PNP/NPN	-	G1/8 exterior	8114751	SPAN-B-B2R-G18M-PN-L1
				R1/8 exterior	8114754	SPAN-B-B2R-R18M-PN-L1
				M5 interior	8114757	SPAN-B-B2R-M5FAL-PN-L1
Diámetro exterior del tubo flexible de 4 mm	8114760			SPAN-B-B2R-Q4-PN-L1		
G1/8 interior	8114763			SPAN-B-B2R-G18FPM-PN-L1		
G1/8 exterior	8114766			SPAN-B-B2R-G18M-PN-L1+2.5S		
R1/8 exterior	8114769			SPAN-B-B2R-R18M-PN-L1+2.5S		
NEBS-L1G4-K-2,5-LE4	M5 interior		8114772	SPAN-B-B2R-M5FAL-PN-L1+2.5S		
	Diámetro exterior del tubo flexible de 4 mm		8114775	SPAN-B-B2R-Q4-PN-L1+2.5S		
	G1/8 interior		8114778	SPAN-B-B2R-G18FPM-PN-L1+2.5S		
	<b>Margen de medición de presión -1 ... +10 bar</b>					
	Conmutable entre 1 x PNP/NPN		-	G1/8 exterior	8114750	SPAN-B-B11R-G18M-PN-L1
				R1/8 exterior	8114753	SPAN-B-B11R-R18M-PN-L1
				M5 interior	8114756	SPAN-B-B11R-M5FAL-PN-L1
Diámetro exterior del tubo flexible de 4 mm		8114759		SPAN-B-B11R-Q4-PN-L1		
G1/8 interior		8114762		SPAN-B-B11R-G18FPM-PN-L1		
G1/8 exterior		8114765		SPAN-B-B11R-G18M-PN-L1+2.5S		
R1/8 exterior		8114768		SPAN-B-B11R-R18M-PN-L1+2.5S		
NEBS-L1G4-K-2,5-LE4		M5 interior	8114771	SPAN-B-B11R-M5FAL-PN-L1+2.5S		
		Diámetro exterior del tubo flexible de 4 mm	8114774	SPAN-B-B11R-Q4-PN-L1+2.5S		
		G1/8 interior	8114777	SPAN-B-B11R-G18FPM-PN-L1+2.5S		

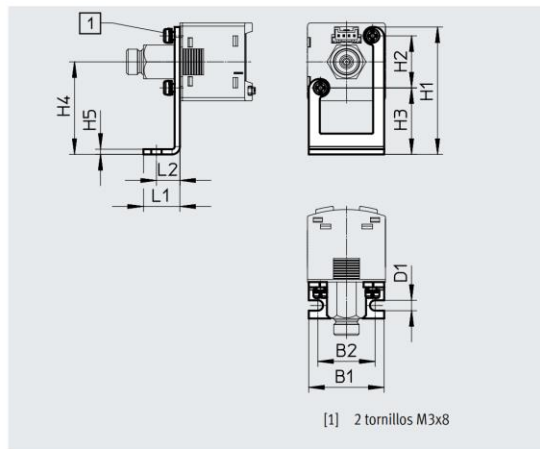
Accesorios: referencias de pedido

**Escuadra de fijación  
SAMH-PU-A**

Tipo de fijación: con taladro pasante y tornillo. Para la fijación de equipos (de pie o colgados) en superficies planas.

Material: acero inoxidable de alta aleación

Nota sobre el material: en conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)



Referencias de pedido													
Código del producto	B1	B2	D1 ∅	H1	H2	H3	H4	H5	L1	L2	CRC <sup>1)</sup>	N.º art.	Código del producto
SAMH-PU-A	29	22	4	49	20	25,6	35,6	2	14	9	2	8003354	SAMH-PU-A

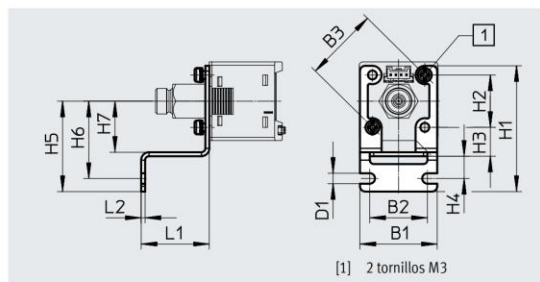
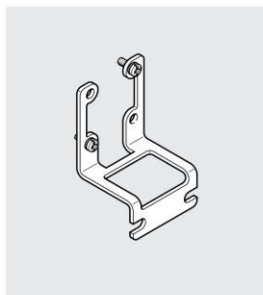
1) Clase de resistencia a la corrosión 2 según la norma Festo 940070  
Componentes con exposición moderada a la corrosión. Piezas exteriores visibles, con características principalmente decorativas en la superficie, que se encuentran en contacto directo con atmósferas o medios usuales en entornos industriales, tales como refrigerantes y lubricantes.

**Montaje mural  
SAMH-PN-W**

Tipo de fijación: con taladro pasante y tornillo. Para la fijación de equipos en superficies verticales.

Material: acero inoxidable de alta aleación

Nota sobre el material: en conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)



Dimensiones y referencias de pedido																	
Código del producto	B1	B2	B3	D1 ∅	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	L1	L2	CRC <sup>1)</sup>	N.º art.	Código del producto	
SAMH-PN-W	±0,15	22	±0,3	4	48	±0,1	11	8,5	34,5	29,5	19,5	26	±0,05	1,5	2	★ 8035563	SAMH-PN-W

1) Clase de resistencia a la corrosión 2 según la norma Festo 940070  
Componentes con exposición moderada a la corrosión. Piezas exteriores visibles, con características principalmente decorativas en la superficie, que se encuentran en contacto directo con atmósferas o medios usuales en entornos industriales, tales como refrigerantes y lubricantes.

## Sensores de presión SPAN

### Accesorios: referencias de pedido

#### Cubierta de protección

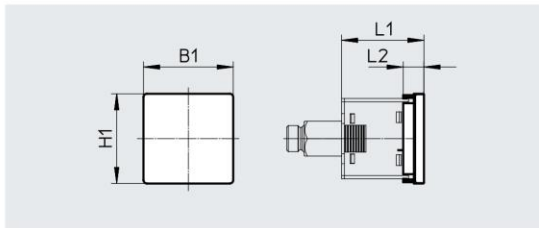
##### SACC-PN-G

Para la protección del display y de los elementos de mando

Material: PA

Nota sobre los materiales:

En conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)



Dimensiones y referencias de pedido													
Código del producto	B1	H1	L1	L2	N.º art.	Código del producto							
SACC-PN-G	33,5	33,5	-31	7,7	★ 8035560	SACC-PN-G							

#### Kit de montaje en panel

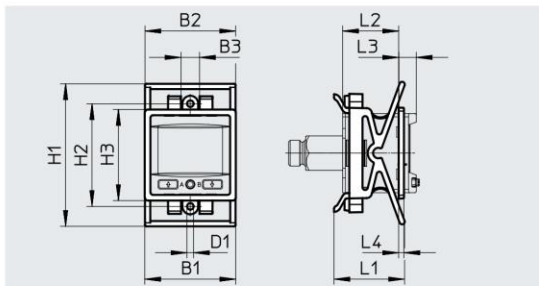
##### SAMH-PN-F

Conjunto para montaje en panel frontal

Materiales: PA, POM

Nota sobre los materiales:

En conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)



Dimensiones y referencias de pedido														
Código del producto	B1	B2	B3	D1 ∅	H1		H2	H3	L1	L2	L3	L4	N.º art.	Código del producto
					mín.	máx.								
SAMH-PN-F	34,5	34,3	7	2,5	54	57,5	38,9	34,5	26,8	-21,2	-6,7	2	★ 8035561	SAMH-PN-F

Accesorios: referencias de pedido

**Adaptador eléctrico SASC-P4-A-M8-A**

Para salida hacia abajo<sup>1)</sup>

Material del cuerpo: PA reforzado

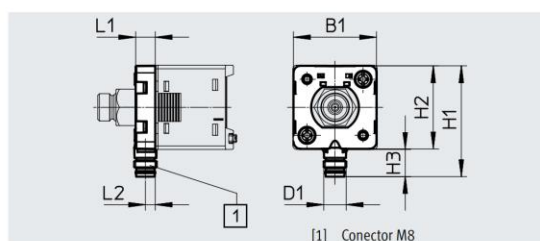
Cuerpo clavija: latón

Niquelado

Nota sobre los materiales:

En conformidad con la Directiva

2002/95/CE (RoHS)



Dimensiones y referencias de pedido											
Código del producto	B1	D1	H1	H2	H3	L1	L2	CRC <sup>2)</sup>	N.º art.	Código del producto	
SASC-P4-A-M8-A	29,6	M8x1	39,5	29,6	9,7	7	3,5	2	8000326	SASC-P4-A-M8-A	

1) Solo con cable de conexión NEBU-M8-...

2) Clase de resistencia a la corrosión CRC 2 según la norma Festo FN 940070

Exposición moderada a la corrosión. Aplicación en interiores en los que puede producirse condensación. Piezas exteriores visibles cuya superficie debe cumplir requisitos esencialmente decorativos y que están en contacto directo con las atmósferas habituales en entornos industriales.

Asignación de conectores

Conector de 4 pines M8x1

Forma redonda	Pin	Color de hilo	Asignación
	1	Marrón	Tensión de funcionamiento +24 V DC
	2	Blanco	Salida de conmutación B / salida analógica / no conectado
	3	Azul	0 V DC
	4	Negro	Salida de conmutación A / IO-Link

**Adaptador eléctrico SASC-P4-A-M8-S**

Para salida hacia atrás<sup>1)</sup>

Material del cuerpo: PA reforzado

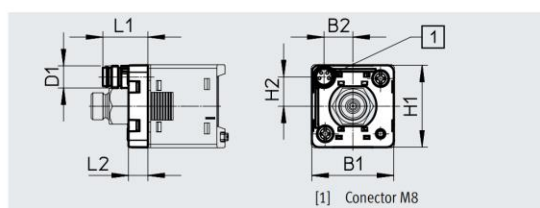
Cuerpo clavija: latón

Niquelado

Nota sobre los materiales:

En conformidad con la Directiva

2002/95/CE (RoHS)



Dimensiones y referencias de pedido											
Código del producto	B1	B2	D1	H1	H2	L1	L2	CRC <sup>2)</sup>	N.º art.	Código del producto	
SASC-P4-A-M8-S	29,6	10,4	M8x1	29,6	10,6	16,3	7	2	8000327	SASC-P4-A-M8-S	

1) Solo con cable de conexión NEBU-M8-...

2) Clase de resistencia a la corrosión CRC 2 según la norma Festo FN 940070

Exposición moderada a la corrosión. Aplicación en interiores en los que puede producirse condensación. Piezas exteriores visibles cuya superficie debe cumplir requisitos esencialmente decorativos y que están en contacto directo con las atmósferas habituales en entornos industriales.

Asignación de conectores

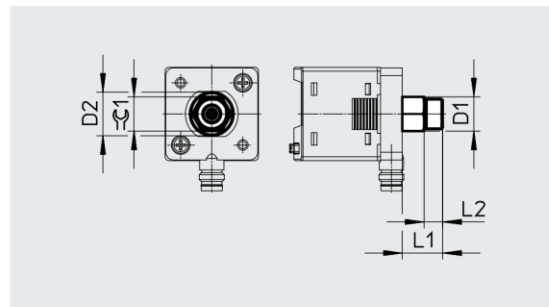
Conector de 4 pines, M8x1

Forma redonda	Pin	Color de hilo	Asignación
	1	Marrón	Tensión de funcionamiento +24 V DC
	2	Blanco	Salida de conmutación B / salida analógica / no conectado
	3	Azul	0 V DC
	4	Negro	Salida de conmutación A / IO-Link

Accesorios: referencias de pedido

**Adaptador**  
**SASA-PN-A-MG18**

Material: latón niquelado  
Nota sobre el material: en conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)












**Dimensiones y referencias de pedido**

Código del producto	D1	D2 ∅	L1	L2	CRC <sup>1)</sup>	±G1	N.º art.	Código del producto
SASA-PN-A-MG18	G1/8	14	13	6	1	11	8133310	SASA-PN-A-MG18

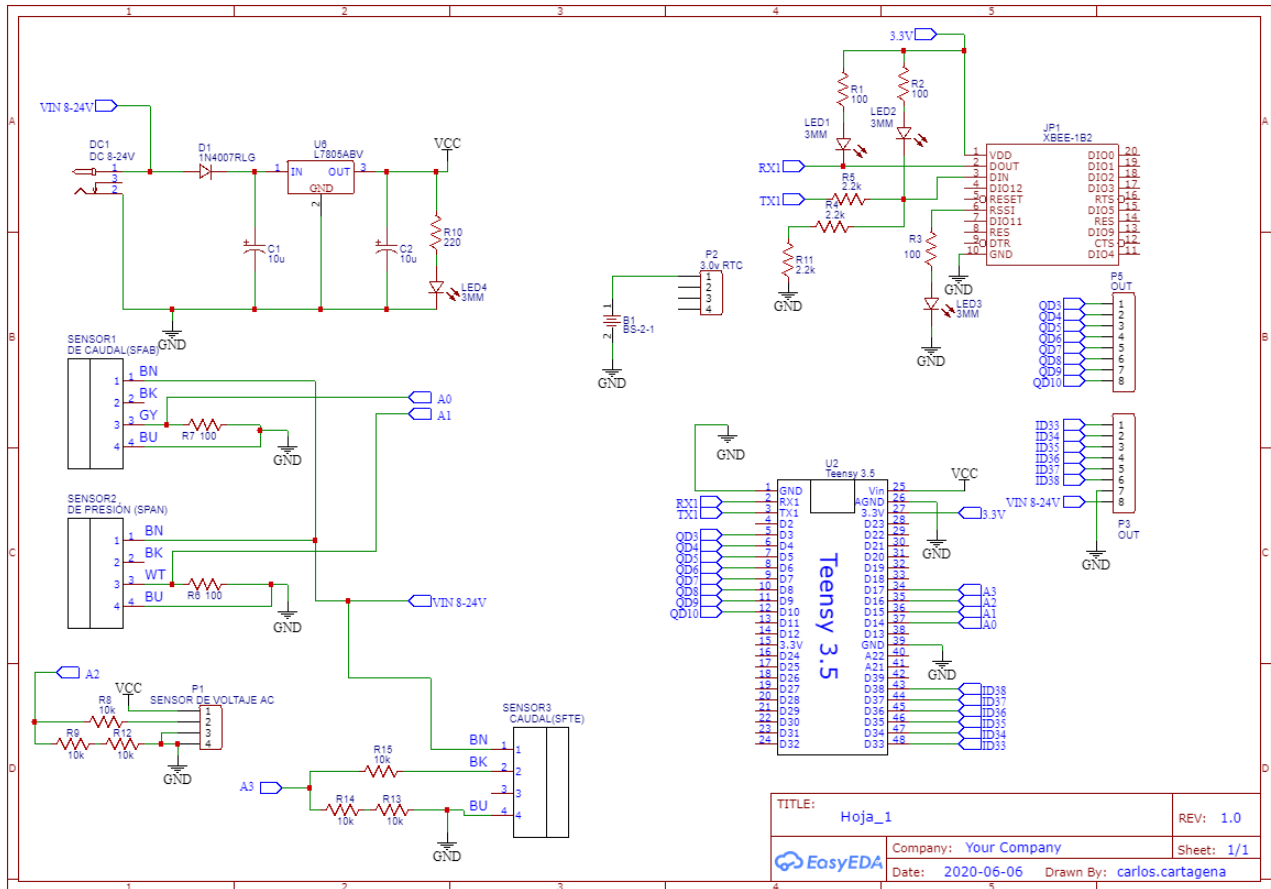
1) Clase de resistencia a la corrosión CRC 1 según la norma Festo FN 940070

Baja exposición a la corrosión. Aplicación en interiores secos o como protección para el almacenamiento y el transporte. También es válido para piezas situadas bajo cubiertas, en zonas internas no visibles o para piezas cubiertas en la aplicación concreta (p. ej., pasadores de accionamiento).

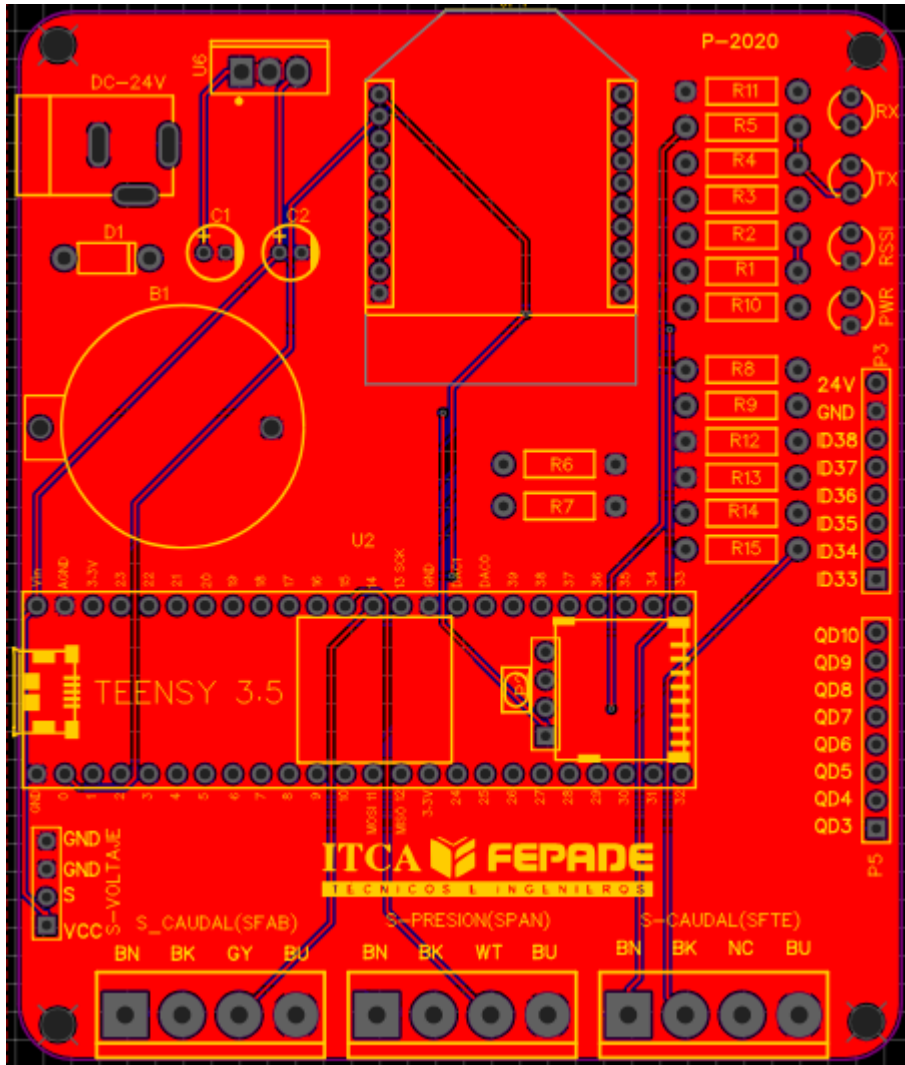
## Accesorios: referencias de pedido

Referencias de pedido: cables de conexión				
	Número de hilos	Longitud del cable [m]	N.º art.	Código del producto
<b>Zócalo de forma rectangular L1</b>				Hojas de datos → Internet: nebs
	4	2,5	572576	NEBS-L1G4-K-2,5-LE4
		5	572577	NEBS-L1G4-K-5-LE4
<b>M8x1, zócalo recto</b>				Hojas de datos → Internet: nebu
	4	2,5	541342	NEBU-M8G4-K-2,5-LE4
		5	541343	NEBU-M8G4-K-5-LE4
<b>M8x1, conector acodado</b>				
	4	2,5	541344	NEBU-M8W4-K-2,5-LE4
		5	541345	NEBU-M8W4-K-5-LE4
<b>Referencias de pedido: racores rápidos roscados</b>				
	Conexión neumática 1 Con rosca	Conexión neumática 2 Para diámetro exterior del tubo flexible / con rosca	N.º art.	Hojas de datos → Internet: qsj Código del producto
<b>Conexión recta</b>				
	M5	4 mm	★ 153304	QSM-M5-4
		6 mm	★ 153306	QSM-M5-6
	G1/8	4 mm	★ 186264	QSM-G1/8-4
		6 mm	★ 186265	QSM-G1/8-6
<b>Conexión de 90°</b>				
	M5	4 mm	★ 153333	QSML-5-4
		6 mm	★ 153335	QSML-5-6
	G1/8	4 mm	★ 186268	QSML-G1/8-4
		6 mm	★ 186269	QSML-G1/8-6
<b>Conexión de 90°</b>				
				Hojas de datos → Internet: npfc
	G1/8	G1/8	8030209	NPFC-L-2G18-F
	R1/8	R1/8	8030223	NPFC-L-2R18-M
	M5	M5	8030215	NPFC-L-2M5-MF
<b>Conexión recta</b>				
	G1/8	G1/8	8133311	NPFC-D-2G18-M-F1A

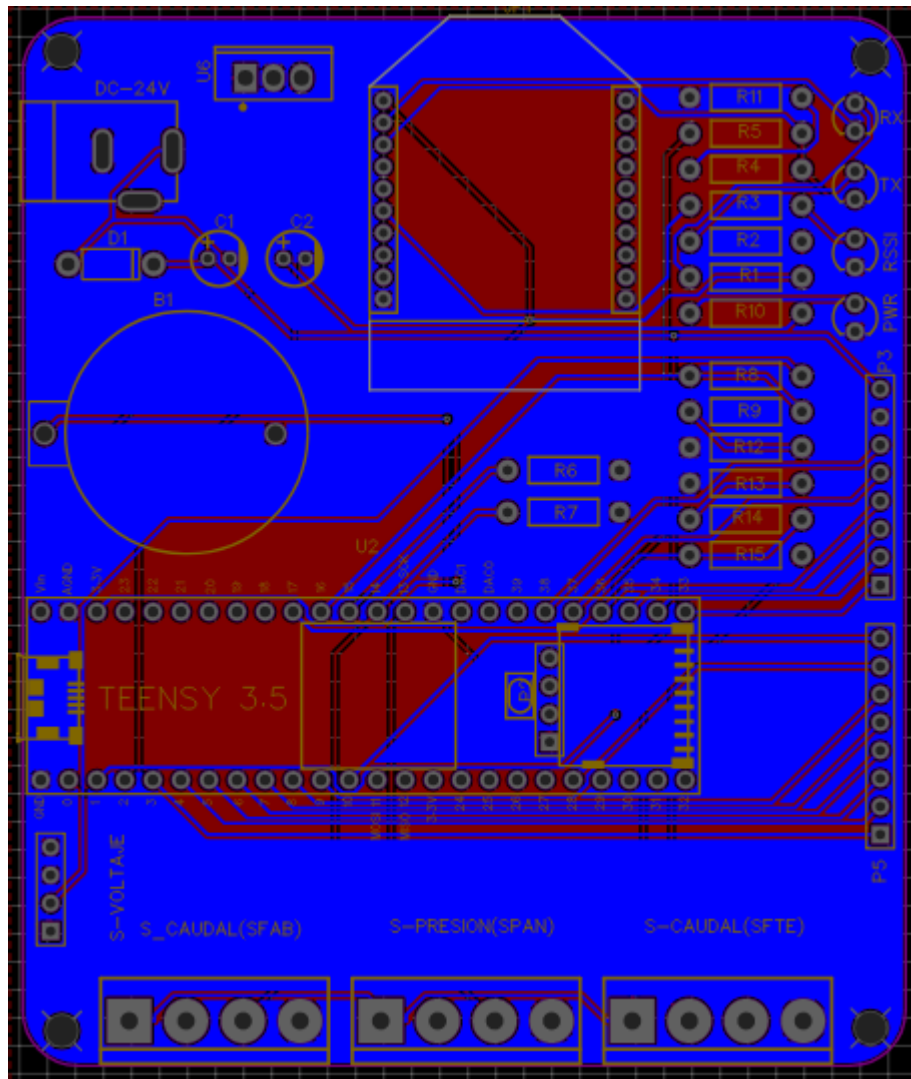
## 12.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LOS SENSORES DE PRESIÓN Y CAUDAL



### 12.3.PCB DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LOS SENSORES DE PRESIÓN Y CAUDAL







## 12.4 ANÁLISIS DE REGRESIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS PARA LINEARIZAR LAS LECTURAS DE UN SENSOR CON RESPUESTA NO LINEAL

$$D = \sum_{i=1}^N (y_i - y_{c_i})^2$$

$$D = \sum_{i=1}^N [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m)]^2$$

$$dD = \frac{\partial D}{\partial a_0} da_0 + \frac{\partial D}{\partial a_1} da_1 + \dots + \frac{\partial D}{\partial a_m} da_m$$

$$\frac{\partial D}{\partial a_0} = 0 = \frac{\partial}{\partial a_0} \left\{ \sum_{i=1}^N [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m)]^2 \right\}$$

$$\frac{\partial D}{\partial a_1} = 0 = \frac{\partial}{\partial a_1} \left\{ \sum_{i=1}^N [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m)]^2 \right\}$$

⋮

$$\frac{\partial D}{\partial a_m} = 0 = \frac{\partial}{\partial a_m} \left\{ \sum_{i=1}^N [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m)]^2 \right\}$$

$$a_0 = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - N \sum x_i^2}$$

$$a_1 = \frac{\sum x_i \sum y_i - N \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - N \sum x_i^2}$$



## SEDE CENTRAL Y CENTROS REGIONALES EL SALVADOR



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro centros regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

### **1. SEDE CENTRAL SANTA TECLA**

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.  
Tel.: (503) 2132-7400

### **2. CENTRO REGIONAL SANTA ANA**

Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia.  
Tel.: (503) 2440-4348

### **3. CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA**

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.  
Tel.: (503) 2334-0763 y 2334-0768

### **4. CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL**

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.  
Tel.: (503) 2669-2298

### **5. CENTRO REGIONAL LA UNIÓN**

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión  
Tel.: (503) 2668-4700